



## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : [ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

Centre National de la Recherche Scientifique  
Centre de Pédologie Biologique

Université Henri Poincaré, Nancy I  
U.F.R. – S.T.M.P.  
Groupe de Formation Doctorale  
des Sciences de la Terre

**THÈSE**

Présentée pour l'obtention du grade de  
Docteur de l'Université Henri Poincaré, Nancy I  
en Pédologie  
par Ouafae Maitat



**Spéciation de l'aluminium dans les sols forestiers acides et les eaux de surface  
soumis aux dépôts atmosphériques acides :  
significations pédogénétiques et implications toxicologiques**

Soutenue publiquement le 29 avril 1998 devant la commission d'examen :

**Membres du Jury :**

Président M. J. Berthelin, Directeur de recherches, CNRS, Nancy  
Rapporteur M. D. Righi, Directeur de recherches, CNRS, Poitiers  
Rapporteur M. B. Dupré, Directeur de recherches, CNRS, Toulouse  
Rapporteur M. E. Dambrine, Directeur de recherches, INRA, Nancy  
Examineur M. B. Fritz, Directeur de recherches, CNRS-CGS, Strasbourg  
Examineur M. K-H. Feger, Professeur, Université Freiburg, Allemagne  
Examineur M. J-P. Boudot Directeur de thèse, CNRS Nancy



## **Avant Propos**

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma gratitude à toutes les personnes qui m'ont témoigné leur amitié ou qui m'ont aidé à la réalisation de ce travail. Elles se reconnaîtront d'elles mêmes.

Mes remerciements s'adressent également aux membres du jury qui ont eu à juger ce mémoire.

Merci à mes parents pour leur inconditionnel soutien matériel et moral qui m'a permis de mener à bien ce travail ; à mon mari qui a toujours été présent malgré les kilomètres...



## TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION GENERALE .....	7
-----------------------------	---

### PARTIE 1 : PRESENTATION DE L'ÉTUDE

I – Choix du site d'étude .....	21
1 – Constat .....	21
2 – Situation géographique .....	22
II – Cadre général de l'étude .....	22
1 – Géologie .....	22
2 – Biologie .....	24
3 – Pédologie .....	24
4 – Climat général .....	26
III – Description des stations d'étude .....	27
A – Végétation .....	27
B – Sols .....	28

### PARTIE 2 : CONNAISSANCES GÉNÉRALES SUR LES SOLS ALUMINEUX

I – Caractéristiques et théories de la podzolisation .....	33
1 – La théorie des fulvates .....	34
2 – Théorie de la proto-imogolite .....	34
II – Connaissances générales sur la spéciation de l'aluminium .....	35
1 – $Al^{3+}$ et les espèces hydroxyaluminiques .....	36
2 – Complexes fluorés .....	36
3 – Complexes sulfatés .....	39
4 – Complexes Al-Si .....	39
5 – Complexes Al- $PO_4$ .....	40
6 – Complexes organiques .....	41
III – Connaissances générales sur la toxicité aluminique .....	43
A – La toxicité aluminique chez les végétaux .....	44
1 – Espèces toxiques et non toxiques de l'Al chez les végétaux .....	44
2 – Symptômes de la toxicité .....	46

3 – Mécanismes de la toxicité.....	46
a – Effets primaires de la toxicité aluminique .....	47
b – Effets secondaires de la toxicité aluminique .....	48
4 – Facteurs combattant la toxicité de l'Al .....	48
a – Mécanismes de résistance et de tolérance des végétaux à la toxicité aluminique .....	48
b – Facteurs chimiques combattant la toxicité de l'Al .....	49
c – Facteurs biologiques combattant la phytotoxicité aluminique.....	50
B – La toxicité aluminique chez les poissons .....	50
1 – Formes d'Al toxiques et non toxiques .....	50
2 – Symptômes et mécanismes de toxicité de l'Al .....	51
3 – Éléments combattant la toxicité de l'Al .....	52

## PARTIE 3 : MATÉRIEL ET MÉTHODES

I – Échantillonnage du sol et récolte des eaux : dispositifs expérimentaux <i>in situ</i> et au laboratoire .....	55
1 – Sols.....	55
2 – Précipitations .....	55
3 – Pluvioléssivats.....	55
4 – Solutions du sol .....	56
a – Eaux gravitaires .....	56
b – Eaux de rétention .....	56
5 – Eaux de sources .....	58
II – Programme des récoltes.....	58
III – Méthodes analytiques générales .....	58
1 – Sol.....	58
2 – Solutions .....	59
a – Analyse totale des échantillons .....	59
b – Spéciation de l'Al dans les eaux naturelles.....	60
$\alpha$ – Méthodes usuelles de spéciation de l'Al .....	60
$\beta$ – Protocole et validation de la procédure de spéciation adoptée (Boudot <i>et al.</i> , 1994b).....	68
$\beta$ .1 – Compartimentage analytique de l'Al .....	69
$\beta$ .2 – Calcul des espèces d'Al dans chaque compartiment analytique .....	73
IV – Détermination de la toxicité de l'aluminium.....	74
1 - Méthodes usuelles.....	74
2 – Méthode de détermination de la toxicité aluminique adoptée .....	76
a – Proposition d'un Indice de Toxicité Aluminique (ITA).....	76



b – Évaluation de la toxicité aluminique .....	78
--	----

## PARTIE 4 : RÉSULTATS

Chapitre 1 : Caractéristiques physico-chimiques des sols .....	80
I – Granulométrie .....	80
II – Complexe adsorbant.....	80
1 – Acidité libre et d'échange.....	80
2 – Capacité d'échange cationique CEC .....	81
III – Les éléments "libres" .....	82
IV – Fraction organique du sol .....	84
V – Analyse des argiles du sol brun acide.....	84
Chapitre 2 : Caractéristiques des précipitations au sol .....	89
Chapitre 3 : Paramètres chimiques des solutions gravitaires des sols et des eaux de surface : analyse des processus de transfert .....	92
I – BASSIN VERSANT PODZOLIQUE .....	92
A – Évolution saisonnière des eaux .....	92
1 – Pluiolessivats.....	92
2 – Solutions du sol .....	95
3 – Sources drainant le podzol.....	95
B – Chimie comparée des pluiolessivats, des eaux gravitaires et des eaux de surface.....	105
1 – Pluiolessivats.....	105
2 – Solutions du sol .....	105
a – horizons éluviaux .....	105
b – Horizons spodiques.....	110
3 – Sources drainant le podzol.....	110
C – Contrôle de la solubilité de l'Al dans le bassin versant podzolique.....	113
1 – Horizons A <sub>0</sub> et A <sub>2</sub> .....	113
2 – Horizon Bs.....	116
3 – Sources drainant le podzol.....	116
II – BASSIN VERSANT DU SOL BRUN ACIDE.....	117
A – Évolutions saisonnières .....	117
1 – Pluiolessivats.....	117



2 – Solutions du sol .....	117
3 – Source drainant le sol brun acide.....	123
<b>B – Chimie comparée des pluviolessivats, des eaux gravitaires et des eaux de surface.....</b>	<b>129</b>
1 - Pluviolessivats .....	131
2 – Solutions du sol .....	131
3 – Source drainant le sol brun acide.....	133
<b>C – Contrôle de la solubilité de l'Al dans le bassin versant de la Mortagne (sol brun acide) .....</b>	<b>134</b>
1 – Eaux gravitaires du sol .....	134
2 – Source drainant le sol brun acide.....	137
<b>III – Discussion sur la chimie des eaux et les processus de transfert dans les deux bassins versants étudiés .....</b>	<b>138</b>
<b>IV – Conclusions sur la chimie des eaux et les processus de transfert.....</b>	<b>143</b>
<b>Chapitre 4 : Estimation de la toxicité aluminique dans les sols et les eaux de surface.....</b>	<b>145</b>
<b>I – BASSIN VERSANT PODZOLIQUE.....</b>	<b>145</b>
A – Toxicité aluminique et carences minérales chez les végétaux .....	145
1 – Eaux gravitaires .....	145
2 – Eaux non gravitaires .....	145
B – Toxicité de l'Al et carences minérales dans les cours d'eau.....	148
drainant le bassin versant podzolique	
<b>II – BASSIN VERSANT DU SOL BRUN ACIDE.....</b>	<b>150</b>
A – Toxicité de l'Al et carences minérales dans le sol .....	150
1 – Eaux gravitaires .....	150
2 – Eaux non gravitaires .....	150
B – Toxicité de l'Al et carences minérales dans la source.....	150
drainant le sol brun acide	
<b>III – Discussion sur la toxicité aluminique .....</b>	<b>150</b>
<b>IV – Conclusions sur la toxicité aluminique .....</b>	<b>155</b>

<b>PARTIE 5 : CONCLUSIONS GÉNÉRALES ET PERSPECTIVES</b>
---

Conclusions générales et perspectives .....	158
---	-----



**INTRODUCTION  
GÉNÉRALE**



## *INTRODUCTION GENERALE*

Parmi les nombreux problèmes environnementaux dans lesquels est plongée notre civilisation, ceux qui sont relatifs au problème de la dégradation des biocénoses occupent une place particulièrement importante. Dans ce contexte, l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé des écosystèmes terrestres et aquatiques a été fortement mis en exergue ces dernières années, notamment depuis la manifestation du dépérissement forestier attribué aux pluies acides. Les travaux sur ce thème ont été très nombreux.

La pollution par voie atmosphérique dérive pour l'essentiel des activités liées à l'industrie et aux transports, et provient en particulier de la consommation des combustibles fossiles. Faisant suite à diverses réactions se produisant au sein de l'atmosphère, de nombreux gaz ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ...) se transforment en aérosols, se condensent sur la végétation et sont ramenés au sol par les précipitations.

Grâce à leur position à l'interface entre l'atmosphère et les eaux de surface ou souterraines, les sols sont particulièrement sensibles aux pollutions et contrôlent en grande partie l'état des milieux aquatiques.

Il est donc logique d'étudier les conséquences de la pollution sur les sols en tout premier lieu avant de s'intéresser aux problèmes résultant de la contamination de l'hydrosphère.

Un sol "sain", en bon état physico-chimique et biologique, joue un rôle épurateur vis-à-vis des constituants chimiques présents dans l'eau, grâce à sa structure poreuse et à ses propriétés d'adsorption. Inversement, les éléments présents dans le sol sont susceptibles de passer en solution et d'être transférés aux eaux de surface, et ainsi à chaque type de sol correspond une qualité particulière des eaux qui en sortent.

L'équilibre originel qui s'était établi entre le sol et les eaux qui y circulent a souvent été rompu depuis le début de l'ère industrielle.



Les apports atmosphériques acides d'origine anthropique ont en particulier fortement contribué à l'appauvrissement des sols en nutriments dans de nombreux pays industrialisés de l'hémisphère nord. Ces derniers ont enregistré des taux parfois très élevés de dépôts acides (Tableau 1), notamment en Suède, en Grande Bretagne, en Europe centrale, etc. Même si ces dépôts ont récemment baissé suite au renforcement de la législation sur les rejets dans l'atmosphère et suite à la fermeture des usines les plus vétustes des pays de l'Est, d'autres pays en voie de développement en Asie (Chine, Japon), en Amérique ou en Afrique sont en plein développement industriel et rejettent d'énormes quantités de polluants dans l'atmosphère (Galloway, 1989 ; Nambu *et al.*, 1994 ; Rodhle *et al.*, 1992, 1995).

A l'heure actuelle, les problèmes d'acidification touchent un grand nombre de milieux continentaux sur des surfaces considérables. Ceci suscite une grande inquiétude chez les scientifiques, qui les rangent désormais au côté de l'effet de serre et de la régression de la couche d'ozone dans la problématique des changements globaux ("global change").

De nombreux travaux ont été entrepris à travers le monde pour étudier et évaluer l'impact des activités humaines sur les écosystèmes continentaux à travers le transport des polluants sous forme d'acides minéraux forts dans l'atmosphère ( $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ ,  $HCl$ ) (Ulrich *et al.*, 1980 ; Galloway *et al.*, 1983 ; Van Breemen *et al.*, 1984 ; Johnson *et al.*, 1981 ; Nilsson et Bergkvist, 1983 ; David et Driscoll, 1984 ; Schulze, 1989 ; Cronan et Schofield, 1990 ; Probst *et al.*, 1990a ; Van Grinsven *et al.*, 1991 ; Baur et Feger, 1992 ; Hallbäcken, 1992 ; Matzner et Prenzel, 1992 ; Dambrine *et al.*, 1993 ; Boudot *et al.*, 1994a ; Landmann et Bonneau, 1995 ; De Vries *et al.*, 1995a).

Toutes ces études confirment le fait que l'acidité exogène introduite dans le sol au travers des dépôts acides s'ajoute à celle qui résulte du fonctionnement naturel des sols pour provoquer la mobilisation d'importantes quantités d'Al et parfois de métaux lourds, qui peuvent ensuite être transférés vers les eaux de surface (Tollan, 1977 ; Cronan et Schofield, 1979 ; Matzner et Ulrich, 1980 ; Driscoll et Likens, 1982 ; Van Breemen *et al.*, 1982, 1983, 1984).



Tableau 1 : flux des principaux polluants atmosphériques acides (kg/ha/an) sous couvert forestier dans les pays industrialisés de l'hémisphère nord.

Localité et végétation	Période d'étude	Apports sous couvert (kg/ha/an)						Références
		H <sup>+</sup>	S-SO <sub>4</sub>	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>	Cl	F	
<b><u>AMÉRIQUE</u></b>								
<b>U.S.A.</b>								
Hubbar Brook (New Hampshire), épicéa	1963-86	1	13-38	4-20	2-3			Likens <i>et al.</i> (1977), Johnson <i>et al.</i> (1989)
Mt. Moosilauke (New Hampshire), épicéa	1981-82	3,9	67-203	28-125	16-21			Lovett <i>et al.</i> (1982), Johnson <i>et al.</i> (1989)
Walker Branch (Tennessee), chêne	1981-83	1,6	26	7	3			Johnson et Lindberg (1989)
White face Mountain (New York), épicéa	1985-86	1,03	20-60	6-26	7-9			Miller (1913) (dans Johnson <i>et al.</i> 1989)
<b><u>EUROPE</u></b>								
<b>FINLANDE</b>								
			> 10	1-3				Järvinen et Vännit (1990), Zöttl (1990)
<b>SUÈDE</b>								
Kargalund (sud Suède)	1967-68							Nihlgard (1970)
épicéa		0,25	42	22	46			
hêtre		0,02	15	9	31			
Haleback (sud Suède), sapin, hêtre, bouleau, aulne		0,45	20	9	9			
Sud-ouest Suède, épicéa	1990-91			15-30				Nohrstedt <i>et al.</i> (1996)
Risfallet (centre Suède), pin		0,33	9	3	4			Lövlbad <i>et al.</i> (1992)
Gardsjön (ouest Suède)	1992-93		16			15		Ferm et Hultberg (1995)
<b>NORVÈGE</b>								
Sud Norvège, épicéa, pin, bouleau	1973-88	0,5-0,8	7-23	4-7	4-8	4-52		Abrahamsen (1989), SFT (1986)
Nord Norvège, bouleau	1978-88		9			23		Jenkins <i>et al.</i> (1995a)
<b>DANEMARK (nord)</b>								
Gribscov forest, épicéa		1,84	49	10	17			Freiesleben <i>et al.</i> (1986)
<b>POLOGNE</b>								
		10-11	> 100					Fischer <i>et al.</i> (1996)
<b>TCHÉCOSLOVAQUIE</b>								
Bohême, épicéa		1,6-6,3	20-109	8-13				Paces (1985)
Lysina (Slavkov forest), épicéa	1991-94	1,12	34	7	4		0,7	Kram <i>et al.</i> (1995)
<b>AUTRICHE</b>								
hêtre		0	16	15	17			Glatzel (1990)
épicéa		0,1-0,5	8-27	5-24	7-25			
SUISSE, Möhlin forest, épicéa		0,11	15	5	18	19	0,15	Egli (1995)
<b>PAYS BAS</b>								
pin, chêne, bouleau, aulne, peuplier	1981-84	0,32	114	14	46			Van Breemen <i>et al.</i> (1982, 1987)
		0,1-6,1	82-108	12-16	33-44			
pin, sapin, épicéa	1979-90		57-86	57-71				De Vries <i>et al.</i> (1995a)

hêtre, bouleau			40-46	45-49				
<b>ROYAUME UNI</b>								
Ecosse	1986-88	0,25	5			39		Jenkins <i>et al.</i> (1995a)
	1988-93		9-30	8-24	36-56			Campbell et Lee (1996), Jenkins <i>et al.</i> (1996)
Angleterre	1988-93		12-46	17-33	31-80			Campbell et Lee (1996), Jenkins <i>et al.</i> (1996)
Pays de Galles (Brianne, Plynlimon), épicéa	1986-88		18-36	7-14	16-33	30-53		Jenkins <i>et al.</i> (1995a), Reynold <i>et al.</i> (1995)
	1988-93		21-36	23-30	59-81			Campbell et Lee (1996), Jenkins <i>et al.</i> (1996)
Irlande	1988-93		11-15	10-15	22-40			Campbell et Lee (1996), Jenkins <i>et al.</i> (1996)
<b>BELGIQUE</b> , Ardennes (La Robinette), épicéa	1980-92	0,4-1,8	2-39	20-27	9-15			Hambuckers et Remacle, 1995
<b>ESPAGNE (nord)</b> , Prades, chêne	1991-94	0,17	43	31	7	18	2	Bellot <i>et al.</i> (1995)
<b>ALLEMAGNE</b>								
Solling, épicéa Hêtre	1969-94	2,7-5,2	54-120	10-20	9-21	28-54		Ulrich <i>et al.</i> (1980), Matzner (1989), Bredemeier <i>et al.</i> (1990), Koch et Matzner (1993), De Vries <i>et al.</i> 1995b
		1,1-2,8	39-66	8-21	9-25	24-41		
Fichtelgebirge (NE-Bavière), épicéa		1,2-1,6	50-65	5-17	8-35	12		Schulze (1989, 1995), Franken <i>et al.</i> (1995), Seiler et Matzner (1995)
Nordrhein-Westfalen, (St. Arnold), pin, chêne, hêtre	1985-87	0,35	69	11	29	37		Van Grinsven <i>et al.</i> (1991)
		0,4	55	7	16	35		
Forêt Noire (Schluchsee, Villingere), épicéa sapin, pin	1987-89	0,31	9	5	7			Brahmer (1990)
		0,24	8	4	6			
Lange Bramke (Hartz), épicéa	1981-88	1,3	45	10	9	24		Hauhs 1989
<b>FRANCE</b>								
Massif central (Mont Lozère) épicéa hêtre	1981-90	0,6-1,1	41-50	5	3			Durand (1989) Durand <i>et al.</i> (1992) Guillet <i>et al.</i> (1995)
		0,2-0,5	20-31	3	3			
Ardennes (Monthermé) épicéa hêtre	1978-83	1,8-2,1	71-75	40-50				Nys (1987, 1992), Bonneau <i>et al.</i> (1995)
			47	8-20				
Vosges, Aubure, épicéa	1987-91	0,9-1,6	15-31	11-19	24			Probst <i>et al.</i> (1990a), Probst et Fritz (1995), Bonneau <i>et al.</i> (1995)
Haut-Jacques sapin sapin, pin, hêtre	1987-91	0,5-0,9	24-28	15-16	10	31-33	0,9-1,5	Becquer (1991) Cette étude
	1994-97	0,2-0,8	9-12	4-8		10-18	0,7-1,7	
<b>ASIE</b>								
<b>JAPON (centre)</b> (Yasu, Micami)		0,29	21	5	4	15		Nambu <i>et al.</i> (1994)

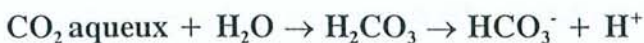
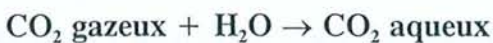


Évaluer l'impact de l'acidification des sols sur les eaux de surface nécessite donc une profonde connaissance des processus mis en jeu. L'étude de l'acidification des sols et des eaux courantes doit en outre prendre en compte 2 aspects, à savoir **i)** la diminution de l'ANC (Capacité à Neutraliser les Acides) ( $\text{ANC} (\mu\text{equiv./L}) = 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+] + [\text{autres accepteurs de protons}] = [\text{accepteurs de protons}] - [\text{donneurs de protons}] = [2 \text{ Ca}] + [2 \text{ Mg}] + [\text{K}] + [\text{Na}] + [\text{NH}_4] + [2 \text{ Al}] + [\text{Fe}_{(\text{III})}] + [2 \text{ Mn}_{(\text{II})}] - [2 \text{ SO}_4] - [\text{NO}_2] - [\text{NO}_3] - [\text{Cl}] - [\text{F}] - [\text{PO}_4] - [1,2 \text{ acide fulvique}^{\text{triprotique}}]$ ) et **ii)** la diminution éventuelle du pH. La définition réelle de l'acidification d'un sol est en effet tout d'abord constituée par la baisse de son ANC, ce qui finit par provoquer une baisse de pH lorsque l'ANC atteint une valeur voisine de 0.

Connaître la composition chimique des précipitations ne suffit pas à évaluer les effets des dépôts acides sur le sol, car celui-ci a un pouvoir tampon qui lui est propre et qui lui confère une réaction particulière.

A l'état naturel, la pédogenèse sur roche non carbonatée est très généralement un phénomène acidifiant. L'acidité mise en jeu résulte du fonctionnement naturel des cycles biogéochimiques au sein du sol (Van Breemen *et al.*, 1983, 1984). Il existe en effet de multiples interactions entre certaines composantes minérales, organiques et biologiques du sol qui génèrent des protons. Citons principalement (Van Breemen *et al.*, 1983, 1984) :

\* la production du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) au travers de la respiration des racines, de la faune du sol et de ses micro-organismes, ou encore suite à la minéralisation de la matière organique. Le  $\text{CO}_2$  produit se dissout alors dans la solution du sol pour libérer de l'acide carbonique, des bicarbonates et des protons :



La dissociation de l'acide carbonique en bicarbonate dépend du pH et de la  $p\text{CO}_2$  et est négligeable en dessous de  $\text{pH} \approx 5$  à la  $p\text{CO}_2$  de l'atmosphère (Reuss et Johnson, 1986).

\* La dissociation des acides organiques présents dans les solutions des sols :



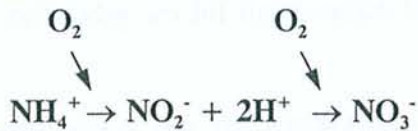
\* La production des sulfates à partir de la minéralisation du soufre organique est également un processus acidifiant :



\* La minéralisation du phosphore organique libère des protons et des phosphates :



\* De même, la nitrification de l'ammonium libère 2 protons pour 1 nitrate produit :



\* Le prélèvement des cations ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ... etc.) par les plantes s'accompagne d'une libération de protons dans la solution du sol, alors qu'à l'inverse le prélèvement des anions ( $\text{NO}_3^-$ ...) est un processus alcalinisant.

Il peut exister en outre des eaux courantes naturellement acides (acidité organique, roches à pyrites...etc.).

A ceci peut s'ajouter une acidification d'origine anthropique où apparaissent des anions mobiles d'acides forts, qui ont un impact plus important que les anions d'acides faibles sur l'acidification du sol et le transfert de l'acidité du sol vers les eaux courantes.

En effet, l'une des conséquences de l'activité humaine est la concentration dans l'atmosphère de certains polluants qui se transformeront en acides forts dans l'atmosphère par des réactions d'hydratation et d'oxydation. Bien que ces polluants existent déjà naturellement (volcanisme et certains processus biogéochimiques), les quantités émises par l'homme dépassent largement les flux naturels. Le tableau 2 présente les principales sources des polluants atmosphériques acides ou potentiellement acides les plus importants :



Tableau 2 : sources d'émission, naturelles et anthropiques des principaux polluants.

Polluant	Source naturelle	Source anthropique
Dérivés du soufre	Volcanisme Aérosols marins	Combustibles fossiles : industrie, centrales thermiques
Dérivés azotés	Bactéries	Combustibles fossiles : centrales thermiques, automobile, industrie ; activités agricoles
Oxydes carboniques	Volcanisme	Combustibles fossiles : moteurs à explosion, industrie
Composés halogénés (Cl, F, Br)	Volcanisme Érosion éolienne Aérosols marins	Combustibles fossiles : automobile, centrales thermiques ; incinération des matières plastiques

Pour mieux comprendre la situation actuelle du climat de pollution et ses conséquences sur les écosystèmes terrestres et aquatiques, passons brièvement en revue les principales connaissances acquises sur ce sujet depuis la découverte des "**pluies acides**" :

Ducros en 1845, fut parmi les premiers à citer le terme "**pluies acides**". En 1872, Robert August Smith reprit le flambeau en décrivant dans son livre sur "La chimie du climat" ('Air and Rain'. The beginning of chemical climatology's), la composition des pluies des zones rurales et urbaines tout en notant quelques effets des dépôts acides sur les matériaux (Smith, 1872). Il est regrettable que son travail ait sombré dans l'oubli.

Déjà en 1881, Brögger évoquait le transport de la pollution à longue distance, en attribuant les chutes de neige "sale" en Norvège à des émissions provenant de la Grande Bretagne (Brögger, 1881). Cependant c'est à partir de 1911 qu'a eu lieu une prise de conscience généralisée de l'importance de l'analyse des précipitations. Crowther *et al.* (1911, 1913) en Angleterre et Miller (1913) dans les Hébrides et en Islande, précisèrent en effet les effets néfastes des pluies acides sur les plantes à partir de l'analyse de la composition chimique des précipitations. Longtemps après, les études de Gorham (1955, 1957a et b, 1958, 1961) ont mis en évidence l'impact des dépôts acides sur les milieux aquatiques. Cet auteur conclut que les émissions à partir des combustibles fossiles au nord-ouest de l'Angleterre et en Amérique du nord donnent naissance à des retombées acides qui entraînent une perte progressive de l'alcalinité des eaux de surface et une augmentation de leur acidité. Les conclusions de Gorham n'ont été appréciées à leur juste valeur qu'en 1960,

lorsque Odén (1967), publia un article établissant la conception qui est encore la nôtre de la nature et des effets des dépôts acides sur les sols, les forêts et les cours d'eau.

Odén invoqua dans son article, le problème de la pollution à grande échelle autour des zones industrielles d'Europe en proposant une corrélation entre le pH des précipitations et le degré d'industrialisation des régions d'Europe. En basant son raisonnement sur les résultats du réseau météorologique européen dont les mesures existaient depuis les années 40, il montra que les valeurs de pH les plus basses étaient enregistrées dans les zones les plus industrialisées.

Dès lors, l'effort de recherches dans ce domaine s'est progressivement développé en s'intéressant aux émissions de polluants atmosphériques, en déterminant leurs effets écologiques, et en cherchant à les contrôler (Brydges et Wilson, 1991).

Les polluants atmosphériques principalement sont émis sous formes gazeuse et solide (poussières), beaucoup plus rarement à l'état liquide. Ce sont les vents et les courants ascendants qui assurent leur dispersion. Cependant faire l'analyse de la pollution acide n'est pas une entreprise aisée, car elle varie beaucoup avec les conditions météorologiques et topographiques. En outre, les transformations successives des polluants gazeux et leurs interactions compliquent la tâche.

Parmi les principaux constituants atmosphériques acides, l'anhydride sulfureux ( $\text{SO}_2$ ) figure au 1<sup>er</sup> rang. Ce composé s'oxyde et s'hydrate dans l'atmosphère pour donner de l'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) qui forme des aérosols qui se déposent, après neutralisation partielle par les poussières alcalines, sur la végétation. De même, lors de la combustion des combustibles fossiles (charbon, pétrole, gaz naturel...), l'azote organique s'oxyde en  $\text{NO}_x$  qui se transformera en acide nitrique ( $\text{HNO}_3$ ) dans l'atmosphère.

Finalement, le dépôt de polluants à partir de l'atmosphère se fait selon trois formes principales :



\* **Dépôts humides :**

Pluie ou neige chargée de gaz et d'acides dissous ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ) et de particules solides. Les dépôts humides constituent la principale voie de transport des polluants atmosphériques à longue distance.

\* **Dépôts secs :**

Il s'agit des dépôts sous forme de poussières, de particules et d'aérosols en absence de précipitations. Le principal véhicule dans ce cas est le vent.

\* **Dépôts occultes :**

Les polluants sont dans ce cas incorporés aux brouillards et aux nuages. Ils peuvent être directement déposés sur la végétation où ils se condensent.

Les retombés d'acides minéraux forts ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,) provoquent l'acidification du sol et à moyen terme des eaux courantes lorsque le pouvoir tampon du sol est épuisé. En outre, sur des sols acides, dont la capacité d'échange cationique est dominée par des protons et des ions  $\text{Al}^{3+}$  échangeables, des apports de polluants même neutres (aérosols marins, émissions industrielles) provoquent un transfert d'acidité du sol aux eaux de surface, suite aux réarrangement des ions échangeables et sous l'influence des anions mobiles (ceux qui ne sont pas retenus par le sol :  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ...).

Les zones les plus particulièrement sensibles aux apports atmosphériques acides sont celles qui reposent sur des roches mères pauvres en minéraux altérables tels les granites leucocrates ou les grès les plus riches en quartz, qui supportent déjà des sols très acides et très pauvres en cations échangeables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ).

La pollution atmosphérique acide constitue donc un véritable danger pour les écosystèmes continentaux, susceptible d'induire une lente dégradation des sols et des eaux de surface dans les bassins versants les plus acides. Il a été clairement montré que les pluies acides constituaient la cause majeure de l'appauvrissement biologique des lacs et des cours d'eaux dans les zones peu habitées et qu'elles ont provoqué la disparition des populations piscicoles en de nombreuses régions (Driscoll *et al.*, 1980 ; Baker et Schofield, 1982 ; Massabuau *et al.*, 1987 ; Lydersen *et al.*, 1990 ; Parkhurst *et al.*, 1990 ; Probst *et al.*, 1990b ; Rosseland et Henriksen, 1990 ; Driscoll et Van Dreason, 1993).

De même, les résultats de plusieurs programmes d'étude en Europe (Ulrich *et al.*, 1980 ; Nilsson et Bergkvist, 1983 ; Probst *et al.*, 1990a ; Van Grinsven *et al.*, 1991 ; Matzner et Prenzel, 1992 ; Hallbäcken, 1992 ; Boudot *et al.*, 1994a ; Krám *et al.*, 1994 ; De Vries *et al.*, 1995a ; Egli., 1995 ; Landmann et Bonneau, 1995) et en Amérique du Nord (Driscoll, 1980 ; Cronan, 1980 ; Raynal *et al.*, 1980 ; Mollitor et Raynal, 1982 ; Johnson et Siccama, 1983 ; David et Driscoll, 1984 ; David *et al.*, 1988 ; Joslin *et al.*, 1992 ; Johnson *et al.*, 1994 ; Cronan et Grigal, 1995 ; David et Lawrence, 1996) établissent un lien direct entre les pluies acides, l'acidification des sols, leur perte de fertilité, la perturbation du fonctionnement des processus pédogénétiques et le dépérissement d'un grand nombre de forêts de l'hémisphère nord.

En effet, l'acidification des sols provoque un déséquilibre ionique chez les végétaux, en provoquant d'une part l'exportation des principaux nutriments hors du sol, et en augmentant d'autre part la demande en cations pour répondre à la forte croissance induite par les apports de nitrates (et parfois d'ammonium). En même temps, l'acidification des sols provoque la mobilisation d'importantes quantités de métaux, notamment d'aluminium, susceptibles d'être toxiques vis-à-vis de la végétation (Foy, 1974 ; Pavan et Bingham, 1982 ; Pavan *et al.*, 1982 ; Blamey *et al.*, 1983 ; Parker *et al.*, 1987, 1989 ; Joslin *et al.*, 1988 ; Li *et al.*, 1989 ; Kinraide, 1991 ; Barcelo *et al.*, 1993 ; Baylis *et al.*, 1994 ; Boudot *et al.*, 1994a). Des symptômes de dépérissement (défoliation, décoloration des feuilles, jaunissement des aiguilles) ont été observés dans un grand nombre de forêts d'Europe et du continent nord américain. Au nord-est des U.S.A., des forêts entières d'épicéa (*Picea rubens* Sarg.) ont subi des dégâts considérables entre 1960 et 1980, en particulier celles situées à haute altitude et exposées directement aux fortes pluviométries et aux nuages chargés de polluants acides (Johnson et Siccama, 1983 ; Johnson *et al.*, 1989).

Des situations similaires ont été rencontrées en Europe au milieu des années 80, avec 20 à 25 % des forêts modérément à sévèrement endommagées suite à l'accroissement du taux de pollution de l'atmosphère (Schulze, 1989). Les pays qui ont été les plus touchés par le dépérissement forestier sont principalement :

- **L'Allemagne** : l'acidification des sols forestiers des régions de l'est et de l'ouest ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  du sol = 3,4 – 4,4) est à l'origine de la mobilisation de flux considérables d'Al (22 – 53 voire 120  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ ) et du dépérissement des forêts d'épicéa (*Picea abies* Karst.) [Matzner, 1989 ; Van Grinsven *et al.*, 1991 ; Franken *et al.*, 1995 ; Seiler et Matzner,



1995]. Les symptômes apparaissent pour la première fois en 1981 (Ulrich *et al.*, 1980 ; Schultze, 1989 ; Matzner, 1989 ; Hauhs, 1989) et semblent être dus à des carences en cations basiques (taux de saturation en bases < 5 – 10 %), particulièrement en Mg [Mg/Al < 0,2 (Koch et Matzner, 1993)], ainsi qu'à une toxicité due à l'Al qui représente 70 % de la charge cationique dans les solutions du sol, avec des concentrations de l'ordre de 444 – 667  $\mu\text{mol d'Al. L}^{-1}$  (Matzner, 1989 ; Hauhs, 1989 ; Wesselink et Mulder, 1993 ; Seiler et Matzner, 1995).

- **La Suède** : on note une chute spectaculaire de la productivité des forêts, qui constituent le principal revenu économique de ce pays. 81 % des forêts présentent des symptômes de dépérissement très poussés, corrélés principalement au pH des sols (3,7 – 4) et à la diminution d'environ 50 % de la réserve en bases échangeables des sols depuis 1950 (Falkengren-Gerup et Tyler, 1992).

- **La Tchécoslovaquie** : les eaux drainant les sols forestiers acides (pH < 4) des régions du nord-est, particulièrement soumises à une pollution soufrée extrêmement importante, sont fortement concentrées en Al (28 – 120  $\mu\text{mol. L}^{-1}$ ). Il s'ensuit un dépérissement très accentué des forêts d'épicéa tout au long de la zone montagneuse séparant la Tchécoslovaquie de l'Allemagne et de la Pologne (Hruška et Krám, 1994 ; Krám *et al.*, 1995), avec de vastes zones où la forêt a été complètement anéantie (rôle du  $\text{SO}_2$  en plus de l'acidification).

- **Les Pays-Bas** : étant exposés à des dépôts atmosphériques très élevés, dérivant aussi bien des activités agricoles que de l'industrie (Tableau 1), les Pays-Bas sont particulièrement affectés par les problèmes d'acidification des sols (Van Breemen *et al.*, 1982, 1988, 1989 ; Mulder *et al.*, 1987 ; Van Dobben *et al.*, 1992). Une mobilisation d'Al atteignant 322  $\text{kg. ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$  a été mesurée dans les sols sous forêts (pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub> 3,5 – 4,5) (De Vries *et al.*, 1995a). Les solutions des sols présentent des concentrations très élevées en Al, pouvant atteindre 147 – 520  $\mu\text{mol. L}^{-1}$  (De Vries *et al.*, 1995a), et même 2063  $\mu\text{mol. L}^{-1}$  (Van Breemen *et al.*, 1988).

- **La France** : les études de surveillance de l'évolution de l'état sanitaire des forêts françaises amorcées en 1983 (Buffet, 1986) déclarent la région nord-est comme étant la plus atteinte par les problèmes de dépérissement forestier. Ceci concerne particulièrement les forêts de conifères du massif vosgien (Landmann, 1987, 1988). Des programmes nationaux et européens tels que DEFORPA (1984–1994) et STEP ENCORE (1991–1994) ont alors



intégré quelques bassins versants des Vosges dans la problématique des "Écosystèmes continentaux soumis à des dépôts atmosphériques acides". Les résultats de ces études montrent que les premiers signes de dépérissement ont été observés au début des années 80, notamment dans le bassin versant du Strengbach (Aubure), soumis à des apports modérés de polluants atmosphériques. Les forêts d'épicéa et de sapin (*Abies alba* Mill.) qui couvrent 95 % de la surface de ce bassin montrent une forte défoliation (25 à 60 % de perte d'aiguilles) et un jaunissement des aiguilles chez l'épicéa en relation avec des carences magnésiennes (Probst et Dambrine, 1988 ; Probst *et al.*, 1990 ; Dambrine *et al.*, 1992 ; Landmann, 1992 ; Probst et Fritz, 1995 ; Bonneau *et al.*, 1995). Des conclusions similaires ont été tirées d'études équivalentes dans d'autres secteurs des Vosges (Boudot *et al.*, 1995a).

Les biotopes aquatiques n'ont pas échappé à l'action de l'acidification, comme le montrent de nombreux travaux scientifiques effectués. Plusieurs études paléolimnologiques ont en effet permis de constater que l'acidité de nombreux lacs et étangs était récente et correspondait au début de l'ère industrielle (Flower et Battarbee, 1983 ; Battarbee *et al.*, 1985 ; Wright *et al.*, 1986 ; Flower *et al.*, 1987 ; Birks *et al.*, 1990 ; Rengberg *et al.*, 1993 ; Cumming *et al.*, 1994 ; Charles *et al.*, 1994 ; Patrick *et al.*, 1995 ; Juggins *et al.*, 1996 ; Jenkins *et al.*, 1996 ; Campbell et Lee, 1996 ; Lancaster *et al.*, 1996).

De nombreux lacs dans les pays scandinaves ont commencé à s'acidifier dès 1920. La baisse de leur pH et de leur ANC est en fait compatible avec leur baisse en Ca et leur augmentation en SO<sub>4</sub>, imputée à la pollution atmosphérique (Torgersen, 1934 ; Wright *et al.*, 1990 ; Rosseland et Henriksen, 1990). Les populations de truite fario (*Salmo trutta* L.) ont commencé à régresser à cette époque (Abrahamsen *et al.*, 1989) pour disparaître vers 1950 des eaux des lacs les plus acides (pH < 4,4), situés pour la plupart dans le sud de la Norvège (Wright *et al.*, 1990 ; Jenkins *et al.*, 1995a). Henriksen *et al.* (1984) établissent une parfaite concordance entre les phases d'acidification et des niveaux très élevés en Al inorganique dans les cours d'eau, qui apparaissent principalement en période de fortes pluies et de fonte des neiges. Ces phases d'acidification ont entraîné la disparition des populations de saumon atlantique (*Salmo salar*) en de nombreux points du sud de la Suède.

Dans le continent nord américain, la région montagneuse des Adirondacks représente le site le plus étudié de part le monde en ce qui concerne les effets des dépôts atmosphériques acides sur les écosystèmes aquatiques (Driscoll et Newton, 1985 ; Sullivan *et al.*, 1990 ;

Driscoll et Van Dreason, 1993 ; Cumming *et al.*, 1994). Commencant vers 1950 avec l'essor industriel local (Charles *et al.*, 1990 ; Baker *et al.*, 1991 ; Sullivan *et al.*, 1996), cette acidification a provoqué l'extinction de nombreuses populations d'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*). De plus, la toxicité de l'Al est largement impliquée dans la régression de nombreuses populations de salmonidés (Driscoll *et al.*, 1980 ; David et Driscoll, 1984 ; Baker et Schofield, 1982).

De même, en France, la truite fario (*Salmo trutta fario*) aurait disparu de certains cours d'eau des Vosges au terme des années 60 (Massabuau *et al.*, 1987 ; Probst *et al.*, 1990b ; Guérold *et al.*, 1991). Des études récentes établissent une relation directe entre l'appauvrissement biologique (peuplements piscicoles et invertébrés benthiques) et l'acidification des eaux de surface dans lequel l'Al pourrait être impliqué (Massabuau *et al.*, 1987 ; Guérold et Pihan, 1989 ; Probst *et al.*, 1990b ; Guérold *et al.*, 1991, 1993).

Nous souciant de l'état actuel des bassins versants des Vosges, nous avons procédé tout au long de trois années d'étude à un suivi au cours du temps de la chimie des eaux de deux sols contrastés, un sol brun acide et un podzol, en insistant plus particulièrement sur le problème de la spéciation de l'Al, afin d'appréhender les mécanismes de redistribution et de transfert de cet élément, ainsi que sa toxicité réelle. Le but essentiel était d'élucider la chimie de l'aluminium et d'essayer de répondre aux principales questions suivantes :

- 1 – L'acidification des sols, responsable entre autre de la mobilisation de l'Al, est-elle due aux seuls processus pédogénétiques, ou est-elle due à la pollution atmosphérique ?
- 2 – Sous quelles formes l'Al migre-t-il dans chacun des deux sols, puis éventuellement des sols vers les eaux de surface ?
- 3 – Quelle est la phase minérale ou organo-minérale qui contrôle la solubilité de l'Al ?
- 4 – Dans le sol et les cours d'eau, l'Al est-il toxique ou non ?
- 5 – Y a-t-il un effet saisonnier contrôlant la chimie de l'eau et la répartition des phases d'acidification et de toxicité dans les sols et les cours d'eau ?



# *PARTIE 1*



## PRESENTATION DE L'ETUDE

## I - CHOIX DU SITE D'ÉTUDE

### 1 - Constat

De nombreux sols et cours d'eau du massif vosgien sont actuellement très acidifiés. Des symptômes de dépérissement forestier (jaunissement des aiguilles et défoliation plus ou moins importante) ont été observés depuis plusieurs années, et une régression significative des populations de truites fario a été constatée en plusieurs points du massif (Massabuau *et al.*, 1987 ; Probst *et al.*, 1990b ; Guérold *et al.*, 1991).

Les Vosges sont en effet exposés à des dépôts acides issus de la pollution atmosphérique atteignant 0,99 Kg de N-NH<sub>4</sub>, 15 - 16 kg de N-NO<sub>3</sub>, 25 - 27 kg de S-SO<sub>4</sub>, 31 - 33 kg de Cl, 0,94 - 1,48 kg de F et 0,46 - 0,9 kg de H<sup>+</sup> par hectare et par an (Becquer, 1991).

Il a été montré que les sols forestiers situés sur les roches mères les plus acides (grès vosgien, grès intermédiaire et granites leucocrates en particulier) qui vont des podzols aux sols bruns acides, s'acidifient rapidement (Poszwa, 1996). Cette acidification entraîne des carences en nutriments (Ca, Mg...etc.), ainsi qu'une solubilisation de métaux toxiques (métaux lourds, Al) (Boudot *et al.*, 1995a ; Dambrine *et al.*, 1995 ; Probst *et al.*, 1995) qui peuvent dès lors migrer dans les sols et être transférés des sols aux eaux de surface. Les paramètres chimiques des cours d'eau vosgiens se sont effectivement fortement dégradés ces dernières décennies en certains points du massif (Massabuau *et al.*, 1987 ; Probst *et al.*, 1990b ; Guérold *et al.*, 1991 ; Massabuau *et al.*, 1995).

Le présent travail cherche donc à expliciter les mécanismes de redistribution de l'Al dans les sols puis des sols aux cours d'eau dans les bassins versants soumis aux retombés acides d'origine atmosphérique. Le périmètre d'étude retenu pour ce travail est constitué du bassin versant supérieur de La Mortagne, localisé entre St-Dié et Bruyères. Situé sur grès vosgien (les sols sont alors des podzols) et sur grès intermédiaire (les sols sont alors des sols bruns acides), comportant des peuplements forestiers nettement dépérissants et renfermant des sources de caractéristiques très différentes, ce bassin versant se prête bien à une telle étude.



## 2 – Situation géographique

Le site d'étude est localisé dans un bassin versant de La Mortagne, à proximité du col du Haut-Jacques (E 6°51' – N 48°17') entre les villes de St-Dié et de Bruyères, dans les basses vosges gréseuses (également appelées vosges moyennes ou centrales) (département des Vosges) (Fig. 1).

## II – CADRE GÉNÉRAL DE L'ÉTUDE

### 1 – Géologie

La géologie du site d'étude est caractérisée par la dominance des formations gréseuses et conglomératiques du Buntsandstein ou Trias inférieur. Ces formations reposent directement sur le grès Permien, qui lui même surmonte le socle cristallin. Globalement, ce matériel gréseux constitue un vaste plateau disséqué par quelques vallées principales et de nombreux ruisseaux. Peu fertile, il est recouvert de forêts domaniales et communales.

Dans le détail, 3 types de grès affleurent dans le bassin étudié. Le grès vosgien supérieur caractérise les pentes et est surmonté par le conglomérat principal. Celui-ci est à son tour surmonté de placages de grès intermédiaire.

Le grès vosgien supérieur est un grès très quartzeux, à grains grossiers (0,22 mm de diamètre en moyenne) arrondis et densément colorés en rose par des oxydes de fer. D'un point de vue minéralogique, le grès vosgien renferme 90 % de quartz, 10 % de feldspaths alcalins peu altérés (principalement de l'orthose) et quelques rares micas. D'un point de vue chimique, ceci se traduit par une forte teneur en silice (90 %) et de faibles teneurs en K (1,5 %) et en Ca (0,4 %). La teneur en argile reste basse (7 à 8 % en moyenne, malgré la présence occasionnelle de lentilles argileuses). Des galets de quartz et de quartzites s'observent assez fréquemment dans le grès vosgien (Perriaux, 1961), soit groupés en bancs conglomératiques semblables de ceux du conglomérat principal, soit disséminés dans la masse (de quelques unités à une centaine par m<sup>2</sup> d'affleurement).

Le grès intermédiaire, également connu sous le nom de couches intermédiaires inférieures, doit son appellation à sa position transitoire entre le conglomérat principal et le



grès à Voltzia et se distingue du grès vosgien par sa texture souvent plus riche en limons et en argiles. Le squelette reste malgré tout très sableux et les galets restent fréquents, quoique exclusivement disséminés dans la masse (une dizaine par m<sup>2</sup> d’affleurement). La couleur des grains est plutôt brun rouge et ce grès est en outre tacheté de noir par des oxydes de manganèse. Ces oxydes se présentent sous forme de nombreux nodules et mouchetures susceptibles de se vider et de conférer au grès une allure caverneuse caractéristique. La minéralogie du grès intermédiaire est composée de 75 % de quartz, 24 % d’orthose et 1 % de large paillettes de muscovite. L’analyse chimique révèle une faible teneur en Ca, Na et en pigments malgré l’intense coloration brun rouge (Perriaux, 1961).

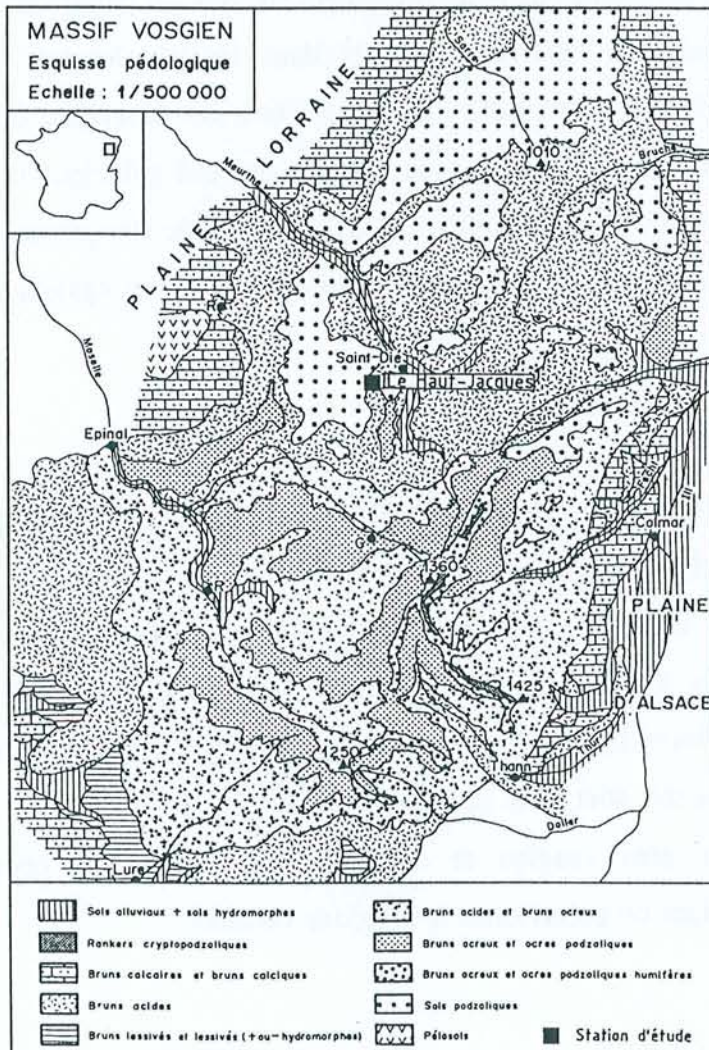


Figure 1 : esquisse pédologique du massif vosgien et localisation du site d'étude (Becquer, 1991).

## 2 – Biologie

La Forêt domaniale de Mortagne couvre une superficie de 895 ha sur les territoires des communes de Mortagne et des Rouges-Eaux. Elle forme une série unique traitée en futaie régulière. Le couvert forestier est composé d'un mélange de peuplements âgés de 90 à 140 ans où domine le sapin (*Abies alba* Mill.) avec un recouvrement moyen de 75 %. On trouve également 9 % de pin sylvestre (*Pinus silvestris* L.), 7 % de sapin douglas (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), 6% d'épicéa (*Picea abies* (L.) Karst.) et uniquement 3 % de feuillus constitués essentiellement de hêtre (*Fagus sylvatica* L.). Des symptômes de dépérissement sont bien visibles depuis 1983, en particulier sur les crêtes de Mortagne. Quatre vingt pour cent des sapins présentent à l'heure actuelle des pertes d'aiguilles supérieures à 60 % [classe de dépérissement : 4 (Annexe 1)], tandis que les aiguilles restantes ainsi que les feuilles de hêtre présentent souvent un jaunissement très sensible. Des traces de mitrilles sont également visibles dans les peuplements adultes, du fait des bombardements alliés de novembre 1944. La Forêt de Mortagne est gérée par l'Office National des Forêts de Saint-Dié, avec comme objectif principal la production de bois d'œuvre à partir des résineux et du hêtre. Cette forêt située aux portes de St-Dié a aussi une vocation d'accueil du public (promeneurs, chasseurs...) et est également aménagée dans ce sens.

## 3 – Pédologie

Dans les vosges gréseuses, la répartition des différents types de grès et de couvertures superficielles conditionne la distribution des sols dans le paysage (Fig. 2). D'une manière générale et étant donné la nature pétrographique des matériaux (grès vosgien, grès intermédiaire, grès à Voltzia), tous les sols situés dans le secteur des basses vosges gréseuses sont acides et très pauvres en bases échangeables ; ils sont donc très sensibles aux apports acides. Les sols sont donc acides ou très acides, et on rencontre surtout des podzols, très répandus sur grès vosgien et conglomérat, et des sols bruns acides sur grès intermédiaire en place ou colluvionné le long des versants.



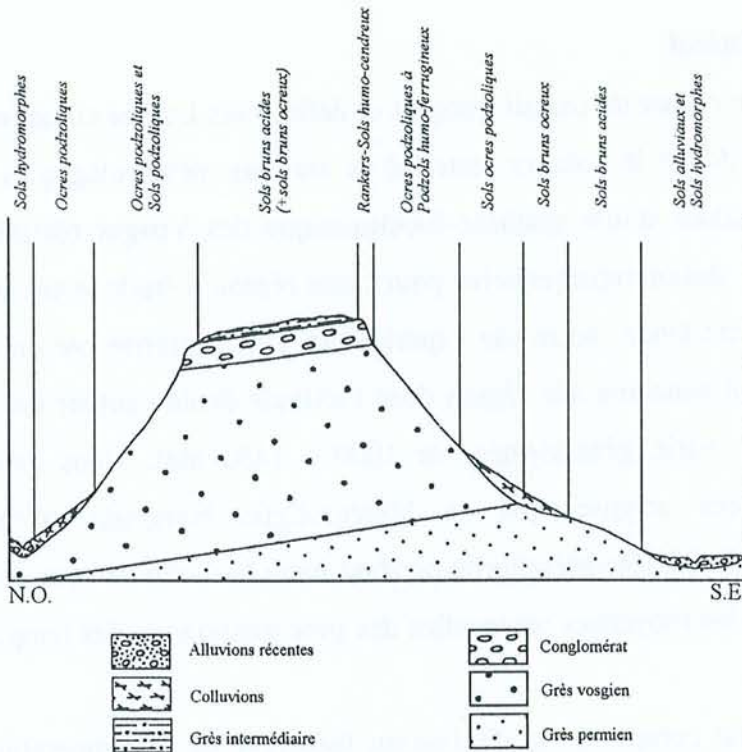


Figure 2 : distribution des sols en fonction des paramètres du milieu dans les basses vosges gréseuses (Bonneau *et al.*, 1976).

D'autres facteurs influencent en outre l'évolution pédogénétique des sols dans les Vosges gréseuses, qui interfèrent de manière complexe : la végétation et l'histoire de la forêt y jouent un rôle non négligeable. Les sols sont en moyenne plus dégradés sous pineraie que sous sapinière et d'avantage sous sapinière que sous hêtraie.

Le secteur d'étude est situé entre St-Dié et Bruyères et est constitué de grès triasiques largement entamés par l'érosion et bordés par une ligne de crête conglomératique qui forme souvent des reliefs nets et puissants, notamment vers le nord. Plus au sud, dans la région du col du Haut-Jacques où est situé notre site d'étude, le conglomérat est souvent démantelé et se répand sur les pentes de grès vosgien en affleurements très caillouteux. Là dominant les sols à évolution podzolique (allant des sols ocreux podzoliques aux podzols humo-ferrugineux), alors que les lambeaux de grès intermédiaire qui occupent çà et là les plateaux portent des sols bruns acides à mull. Sur les versants nord, on peut rencontrer des petites unités de sols bruns acides mélangés à des sols bruns ocreux, des sols bruns cryptopodzoliques et des sols ocreux podzoliques, sur les matériaux formés par le mélange des grès vosgien et intermédiaire.

#### 4 – Climat général

Caractériser le climat du massif vosgien et définir ses limites climatiques n'est pas une tâche aisée, étant donné le nombre restreint de stations météorologiques. Nous disposons cependant des résultats d'une synthèse bioclimatique des Vosges réalisée par Cachan en 1974, avec comme station représentative pour notre région d'étude le site météorologique de St-Dié. D'après cette étude, notre site expérimental se caractérise par un climat humide de type occidental, qui concerne une région dont l'altitude évolue autour de 400 m, et dont la pluviosité annuelle varie généralement de 1000 à 1450 mm. Nous avons également pu obtenir les données acquises par la Météorologie Nationale (Centre d'Épinal) à Brouvelieures et à St Dié/Ste Marguerite pendant toute la durée de cette étude, qui nous ont permis de calculer les moyennes mensuelles des précipitations et des températures (tableaux 3 et 4).

Ainsi, en tenant compte de la diminution théorique de la température avec l'altitude ( $0,7^{\circ}\text{C}$  pour 100 m d'élévation), les températures au niveau des stations d'études peuvent être obtenues en soustrayant  $0,9^{\circ}\text{C}$  pour le podzol (490 m) et  $1,9^{\circ}\text{C}$  pour le sol brun acide (630 m) de la température enregistrée au niveau de la station de Ste-Marguerite.

Tableau 3 : précipitations sous forme de pluie et de neige relevées dans la station de Brouvelieures par METEO-FRANCE (Centre d'Epinal, Vosges).

	Précipitation (mm)				Épaisseur moyenne de neige au sol (cm)			
	1994	1995	1996	1997	1994	1995	1996	1997
Janvier	142	185	13	22		9 (10)		2,4 (16)
Février	101	113	54	132	2,5 (2)	2 (1)	1,4 (5)	
Mars	83	148	17			4 (1)	3 (1)	
Avril	127	77	22					
Mai	122	134	136					
Juin	71	73	81					
Juillet	54	110	91					
Août	62	83	86					
Septembre	137	134	36					
Octobre	74	49	79					
Novembre	30	39	268				10 (4)	
Décembre	116	95	80				3,5 (2)	
<b>Total</b>	<b>1119</b>	<b>1240</b>	<b>963</b>					



Tableau 4 : températures moyennes minimales (Min) et maximales (Max) relevées dans la station de Ste-Marguerite par METEO-FRANCE (Centre d'Epinal, Vosges).

	Ste-Marguerite(°C)							
	1994		1995		1996		1997	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Janvier	0,0	5,3	-1,1	4,7	-1,8	5,1	-5,0	2,1
Février	-0,7	6,4	2,4	9,4	-2,6	4,0	0,7	9,4
Mars	4,8	12,8	-0,7	9,3	-1,8	9,4		
Avril	2,7	13,0	4,0	13,9	1,9	16,3		
Mai	7,8	18,6	6,7	19,6	6,9	17,4		
Juin	10,9	23,5	9,4	20,5	9,8	23,3		
Juillet	14,1	28,7	13,6	27,9	10,5	23,6		
Août	12,7	25,3	12,3	25,1	11,3	23,8		
Septembre	10,3	18,6	7,7	17,2	5,4	17,6		
Octobre	4,7	15,8	8,2	19,0	5,6	15,1		
Novembre	5,8	11,9	1,7	9,1	2,7	7,2		
Décembre	2,1	7,2	-1,7	3,8	-2,7	2,8		
<i>Moyenne</i>	<b>6,3</b>	<b>15,7</b>	<b>5,2</b>	<b>15</b>	<b>3,8</b>	<b>13,8</b>		

### III - DESCRIPTION DES STATIONS D'ÉTUDE

Les mesures pour la présente étude concernent les parcelles 30 et 27 de la Forêt Domaniale de Mortagne, situées respectivement à 450 et 700 m d'altitude.

#### A - Végétation

La parcelle 30 est couverte d'une forêt mixte de sapin et de pin sylvestre (90 - 140 ans) située sur un versant d'exposition sud où se trouvent des sols podzoliques et des podzols. Cette forêt reflète des conditions stationnelles typiques : topographie escarpée, grande pauvreté en cations basiques et en argile, exposition sud. La litière résineuse acide et la roche mère extrêmement pauvre en minéraux ferromagnésiens sont à l'origine d'une très mauvaise décomposition de la matière organique et de ce fait, l'humus est un mor très acide favorable à l'installation d'un tapis herbacé et arbustif dominé par des espèces acidophiles comme la myrtille (*Vaccinium myrtillus* L.), la callune (*Calluna vulgaris* (L.) Hull), la fougère aigle (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), des mousses en coussinet (*Leucobryum glaucum* (Hedw.) Schimp) ainsi que des taches de lichen du genre *Cladonia*. Cette forêt est

caractérisée par une faible productivité ( $3 - 5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ ), liée à l'exposition et à la pauvreté du substrat (carences en éléments nutritifs comme  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , carences en azote...etc.).

**La parcelle 27** fait partie d'une sapinière à hêtre (110 ans environ) occupant une surface de 329 ha à une altitude comprise entre 630 et 700 m sur un plateau de grès intermédiaire faiblement incliné vers l'ouest, où dominant des **sols bruns acides**. La productivité forestière est plus forte comparée à la parcelle précédente (environ  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$ ). Il s'agit d'une hêtraie sapinière à fétuque (*Festuca silvatica* Vill.) où le tapis herbacé est presque inexistant dans les peuplements fermés et se densifie après les coupes d'éclaircie (espèces dominantes : fétuque des bois, ronces (*Rubus sp.*), fougères [*Athyrium filix-femina* (L.) Roth]...etc.

Des symptômes de dépérissement forestier sont nettement visibles dans les deux stations d'étude (jaunissement des aiguilles (Photo 1) et défoliation (Photo 2) plus ou moins prononcée chez le sapin).

## B - Sols

Deux formes extrêmes représentant l'évolution pédologique des sols des vosges gréseuses, ont été sélectionnées pour cette étude :

- **Un podzol humo-ferrugineux à mor**, sur grès vosgien fortement désaturé, peu argileux, à texture grossière, très filtrant dans les horizons éluviaux. Les horizons spodiques sont toutefois indurés et constituent un obstacle à une infiltration verticale profonde des pluies. Ce sol est couvert d'une forêt clairsemée xérophile constituée d'une sapinière-pineraie à callune, myrtilles et fougère aigle (parcelle 30). Il s'agit là d'un podzol secondaire où la callune a joué un rôle important dans l'accentuation de la podzolisation (d'après Guillet, 1972).

- **Un sol brun acide à mull** sur grès intermédiaire de texture plus fine et plus riche en minéraux altérables, bien structuré en macroagrégats en surface. La végétation est constituée d'une sapinière-hêtraie à fétuque (parcelle 27).





Photo 1 : jaunissement des aiguilles chez le sapin (*Abies alba* Mill.)



Photo 2 : défoliation des aiguilles chez le sapin (*Abies alba* Mill.)

Chaque profil de sol a fait l'objet d'une description morphologique détaillée et d'analyses de caractérisation, figurant en **annexe 2 (a et b)**.



Figure 1. Profil de sol (a) et (b) (annexe 2)

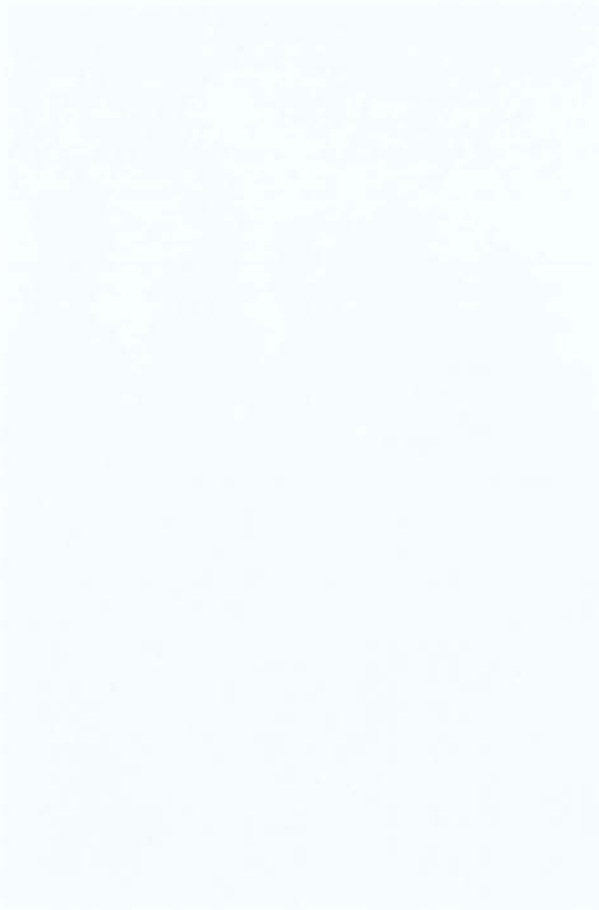


Figure 2. Profil de sol (a) et (b) (annexe 2)



# *PARTIE 2*



**CONNAISSANCES GÉNÉRALES**  
**SUR LES SOLS ALUMINEUX**

Avant de parvenir aux sources, l'eau de pluie transite à travers les strates arborescentes et herbacées puis à travers les sols, ce qui modifie sa composition. La géochimie de l'eau dépend non seulement des apports météoriques, mais aussi des propriétés du sol, tant physiques que chimiques. Les principaux mécanismes mis en jeu sont des réactions de précipitation/dissolution, des mécanismes d'échange, ainsi que des processus hydrologiques et physiques fortement influencés par la structure et la texture du sol.

L'aluminium en particulier est impliqué dans divers processus biogéochimiques notamment ceux qui ont lieu dans les environnements acides. C'est l'élément le plus abondant après l'oxygène et la silice à la surface de la terre, où il constitue 8 % de la croûte supérieure (Hem, 1986). Il est contenu dans les minéraux sous forme d'oxydes [7,8 – 8,2 % dans les roches sédimentaires, 0,4 – 1,3 % dans les carbonates (Green, 1959)], et plus encore dans les aluminosilicates (micas, feldspaths, argiles, imogolite...) (Hem, 1978). L'Al peut être libéré des réseaux cristallins lors de l'altération des minéraux qui se produit dans les sols sous l'influence de facteurs biologiques et chimiques. Dans les **Vosges gréseuses** l'altération liée à la pédogenèse donne lieu aussi bien à des processus de **brunification** qu'à une dynamique de **podzolisation** en fonction du type du substrat et de végétation. La **brunification** s'observe surtout dans les milieux bien aérés et biologiquement actifs sous feuillus, ou forêt mixte feuillus – résineux, et sur roche acide, est caractérisée par une libération importante d'argiles et d'oxydes de fer, produits par l'altération des minéraux ferromagnésiens. Les associations se produisant entre argile, fer et matière organique sont à l'origine d'une bonne structuration et aération du sol. L'altération dans ce cas est une acidolyse modérée : les argiles proviennent, pour la plus grande part, d'une transformation des micas par vermiculitisation, avec parfois une faible aluminisation dans les milieux les plus acides.

Si ce qu'on sait sur la brunification donne lieu à peu de controverses, il n'en est pas de même pour la **podzolisation**, et les théories sur ce type de pédogenèse sont assez nombreuses, notamment lorsqu'il s'agit d'expliquer les formes sous lesquelles l'Al est redistribué.



## I - CARACTÉRISTIQUES ET THÉORIES DE LA PODZOLISATION

En condition aérée, la podzolisation est un processus opérant surtout dans les zones froides à forte pluviométrie. Les podzols et sols podzoliques formés par ce processus sont le plus souvent situés sur des pentes et sur des roches mères acides (granite ou grès) couvertes par une végétation acidophile et acidifiante (résineux, hêtre, myrtilles, callune...). Le climat, la roche mère et la végétation sont des facteurs favorisant (i) une accumulation en surface d'une matière organique peu humifiée conduisant à la formation d'un horizon organique noir et épais de type mor ( $A_0$ ) (ii) une forte altération minérale et une lixiviation intense des produits d'altération avec formation d'une part, d'un horizon gris cendré désaturé ( $A_2$ ), et d'autre part, un horizon spodique d'accumulation de composés amorphes ou paracristallins minéraux ou organo-minéraux (Bs). Dans les profils podzoliques les plus évolués existent deux horizons spodiques superposés dont le premier, l'horizon Bh, est riche en matière organique insolubilisée et est de couleur brun foncé, et l'autre, l'horizon Bs, est riche en oxyhydroxydes Al et Fe mais plus pauvre en matière organique et présente une couleur rouille.

Si les caractéristiques morphologiques des podzols sont bien tranchées et universellement admises, une controverse s'est fait jour en ce qui concerne les formes et les modalités de redistribution des métaux. Certains auteurs ont établi leur théorie à partir de l'analyse et de la morphologie des composantes minérales, organiques et organo-minérales des sols. D'autres se sont fondés sur des résultats obtenus sur des solutions de synthèse ou au travers d'expérimentations sur colonnes du sol au laboratoire (Farmer, 1982 ; Farmer et Fraser, 1982). Dans ce cas, le contrôle des conditions est bien assuré et les divers mécanismes sont bien étudiés et identifiés. On peut toutefois se poser des questions sur l'extrapolation des résultats aux sols en place. D'autres ont étudié des solutions de sol récoltées par des systèmes lysimétriques appropriés (David et Driscoll, 1984 ; Dahlgren et Ugolini, 1989a). Dans ce cas, il est possible de caractériser certains des processus de formation des sols tels qu'ils se déroulent réellement *in situ*, pour peu que l'analyse soit suffisamment poussée.

Deux grandes théories de la podzolisation ont été élaborées jusqu'ici, à savoir la "théorie des fulvates" (Kononova, 1961 ; Duchoufour, 1970 ; De Coninck, 1980 ; Nilsson et Bergkvist, 1983 ; David et Driscoll, 1984 ; Baur et Fegger, 1992 ; Berggren, 1992), et la

"**théorie de la proto-imogolite**" (Farmer *et al.*, 1980 ; Farmer, 1982, 1984 ; Farmer et Fraser, 1982 ; Anderson *et al.*, 1982 ; Childs *et al.*, 1983 ; Taylor, 1988).

### 1 – La théorie des fulvates

C'est la théorie de la podzolisation la plus ancienne. Dans une première étape, la faible activité biologique qui règne sur les roches acides sous climat froid et humide est responsable d'une forte production de matière organique soluble très agressive qui attaque les minéraux, chélate les oxyhydroxydes de Fe et d'Al, et est responsable de leur redistribution en profondeur. Dans une seconde étape, les complexes organo-Al et organo-Fe précipitent en profondeur, suite à l'accroissement du pH et à l'augmentation du rapport métal/C, et forment les horizons spodiques Bh et Bs. Une troisième étape a dû être ajoutée lorsque la présence d'allophane et d'imogolite a été mise en évidence dans les horizons Bs des sols podzolisés. On a d'abord admis que la partie organique des complexes organo-minéraux accumulés en Bs était progressivement biodégradée, et que Al libéré réagissait avec l'acide silicique présent dans les solutions du sol pour donner de l'imogolite et des allophanes (Buurman et Van Reeuwijk, 1984). Une autre alternative destinée à rendre compte de la présence d'allophane et d'imogolite dans les horizons Bs de podzols a été proposée par Ugolini et Dahlgren (1987), Dahlgren et Ugolini (1989a) et Ugolini et Sletten (1991), puis confirmée par Gustafsson *et al.* (1995). Suite aux fortes pressions partielles de CO<sub>2</sub> existant en profondeur dans les podzols, dues à la biodégradation des molécules organiques et à la respiration des racines, l'**anion bicarbonate (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)** est présent à des concentrations suffisantes pour induire une altération non congruente des minéraux primaires, ce qui laisserait un résidu alumineux peu mobile. Celui-ci, de même qu'une partie de l'Al libéré des complexes organo-Al suite à la biodégradation, est capable, dans les conditions de pH qui règnent alors, de réagir avec l'acide silicique en solution pour donner de l'imogolite et des allophanes.

### 2 – La théorie de la proto-imogolite

Appelée également "**théorie de Farmer**", il s'agit d'une seconde théorie qui propose un mode de migration de l'Al et du Fe tout à fait différent de celui qui serait mis en œuvre dans la théorie des fulvates. Dans un premier temps, l'Al s'associerait à Si(OH)<sub>4</sub> en solution dès les horizons de surface pour donner des **sols de proto-imogolite** [Al<sub>2</sub>(OH)<sub>6</sub>Si(OH)<sub>4</sub>], qui



pourraient en outre incorporer du fer sous une forme encore mal connue. Ces polymères migreraient en profondeur où ils se transformeraient en imogolite, en allophanes et en oxyhydroxydes de fer pour former l'horizon Bs. La partie supérieure de cet horizon adsorberait les molécules organiques en solution provenant des horizons de surface, ce qui donnerait l'horizon Bh.

## II - CONNAISSANCES GÉNÉRALES SUR LA SPÉCIATION DE L'ALUMINIUM

Outre son rôle primordial dans la pédogenèse des sols acides, l'Al soluble influence fortement la qualité chimique et les potentialités biologiques des solutions du sol et des eaux de surface. Dans les eaux naturelles l'Al peut exister à l'état ionique  $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$  (noté  $\text{Al}^{3+}$ ), s'adsorber sur les surfaces négatives des colloïdes minéraux (argiles) ou organiques (matière organique solide), ou encore se lier préférentiellement aux ligands durs comme les fluorures et les ligands donneurs d'oxygène comme les hydroxydes, les sulfates, les phosphates, les molécules organiques solubles à groupements phénoliques et aliphatiques (acides aliphatiques simples, acides humiques et fulviques) et l'acide silicique (Driscoll et Schecher, 1988) (Fig. 3). En revanche l'Al est très faiblement complexé par les carbonates, les nitrates et les chlorures.

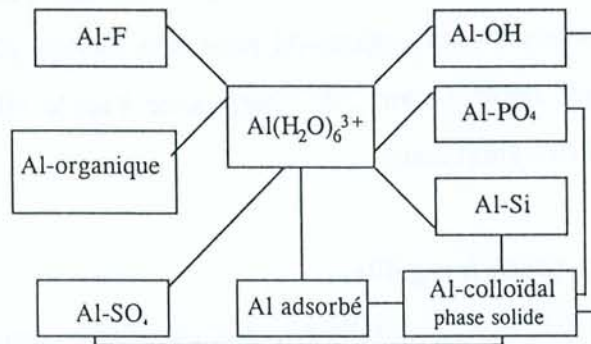


Figure 3 : représentation schématique simplifiée des principales espèces d'Al dans les eaux naturelles (extrait de Clarke *et al.*, 1992).

La réaction de l'Al avec ces différents ligands dans le milieu naturel est donc à l'origine de la formation d'une multitude d'espèces chimiques distinctes. Certaines de ces espèces s'avèrent être toxiques vis à vis des plantes ou des organismes aquatiques, alors que d'autres ne le sont pas.

La spéciation de l'Al dans les solutions dépend des conditions physico-chimiques du milieu et est fonction du pH, de la température, de la force ionique et de la nature et de l'abondance des ligands présents. Les domaines d'existence des différentes formes d'Al en solution, déterminées par leur constante de formation (Tableau 5), sont présentés dans les figures 4 à 9. La fiabilité de ces représentations est satisfaisante pour les complexes  $\text{Al}(\text{OH})_n$ ,  $\text{Al}(\text{F})_n$  et  $\text{Al}-\text{SO}_4$  alors qu'elle l'est beaucoup moins en ce qui concerne les complexes  $\text{Al}-\text{PO}_4$  et  $\text{Al}-\text{org}$ .

### 1 – $\text{Al}^{3+}$ et les espèces hydroxyaluminiques

L'Al est présent à l'état ionique ( $\text{Al}^{3+}$ ) à des pH < 5, puis s'hydroxyle au fur et à mesure que le pH augmente pour donner successivement  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  et  $\text{Al}(\text{OH})_3^0$  (Fig. 4a). La solubilité de l'Al décroît et est pratiquement nulle vers pH 6,5, alors qu'elle augmente à nouveau à des pH plus élevés du fait de la formation de l'ion aluminate  $[\text{Al}(\text{OH})_4^-]$  (Fig. 4). Pour les pH correspondant aux plus faibles concentrations de monomères en solution, la formation du polymère  $\text{Al}_{13}$  a été démontrée *in vitro*, dans des milieux simples dépourvus d'autres anions fortement complexants (Fig. 4b). Dans les milieux naturels où la présence d'anions interférant avec la formation de l' $\text{Al}_{13}$  est le cas le plus général, il est probable que des polymères  $\text{Al}-\text{PO}_4$ ,  $\text{Al}-\text{SO}_4$ ,  $\text{Al}-\text{Si}$  et  $\text{Al}-\text{OH}-\text{org}$  puissent se former plus fréquemment que l' $\text{Al}_{13}$ , malgré la mention pour le moins surprenante, unique et non renouvelée d' $\text{Al}_{13}$  dans un podzol par Hunter et Ross (1991).

### 2 – Complexes fluorés

Le fluor présente une grande affinité pour l'Al notamment à pH acide (< 5,5) (Fig. 5). La stœchiométrie des complexes  $\text{Al}-\text{F}$  dépend surtout du rapport F/Al et du pH. A mesure que le rapport F/Al augmente, l'eau et les hydroxyles sont chassés de manière à ce que toutes les positions octaédriques de l'Al soient occupées par F ( $\text{AlF}_6^{3-}$ ) [Roberson et Hem, 1967]. Dans les eaux naturelles le rapport F/Al reste généralement faible, notamment dans



les bassins versants acides, si bien que les espèces  $\text{AlF}_2^+$ ,  $\text{AlF}^{2+}$  et  $\text{AlF}_3^0$  sont les seules à y être représentées de manière significative.

Tableau 5 : espèces d'Al prises en compte et constantes de formation (Log K) utilisées pour les calculs d'équilibre par Mineql<sup>+</sup> V. 3.01 (corrigées à force ionique nulle et à 25 °C quand nécessaire). Les autres espèces solubles sont celles de la base de données originale et sont données en annexe.

Espèces	Réactions	LogK	Source
<b>Monomères</b>			
$\text{Al}^{3+}$	$\text{Al}^{3+}$		
$\text{AlOH}^{2+}$	$\text{Al}^{3+} + \text{H}_2\text{O} = \text{AlOH}^{2+} + \text{H}^+$	-5	Nordstrom et May (1989)
$\text{Al}(\text{OH})_2^+$	$\text{Al}^{3+} + 2 \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_2^+ + 2 \text{H}^+$	-10,1	"
$\text{Al}(\text{OH})_3^0$	$\text{Al}^{3+} + 3 \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3^0 + 3 \text{H}^+$	-16,8	"
$\text{Al}(\text{OH})_4^-$	$\text{Al}^{3+} + 4 \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_4^- + 4 \text{H}^+$	-22,7	"
$\text{AlCl}^{2+}$	$\text{Al}^{3+} + \text{Cl}^- = \text{AlCl}^{2+}$	2	Grauer (1993)
$\text{AlCl}_2^+$	$\text{Al}^{3+} + 2 \text{Cl}^- = \text{AlCl}_2^+$	3	"
$\text{AlCl}_3^0$	$\text{Al}^{3+} + 3 \text{Cl}^- = \text{AlCl}_3^0$	2	"
$\text{AlSO}_4^+$	$\text{Al}^{3+} + \text{SO}_4^{2-} = \text{AlSO}_4^+$	3,5	Nordstrom et May (1989)
$\text{Al}(\text{SO}_4)_2^-$	$\text{Al}^{3+} + 2 \text{SO}_4^{2-} = \text{Al}(\text{SO}_4)_2^-$	5	"
$\text{AlF}^{2+}$	$\text{Al}^{3+} + \text{F}^- = \text{AlF}^{2+}$	7	"
$\text{AlF}_2^+$	$\text{Al}^{3+} + 2 \text{F}^- = \text{AlF}_2^+$	12,7	"
$\text{AlF}_3^0$	$\text{Al}^{3+} + 3 \text{F}^- = \text{AlF}_3^0$	16,8	"
$\text{AlF}_4^-$	$\text{Al}^{3+} + 4 \text{F}^- = \text{AlF}_4^-$	19,4	"
$\text{AlF}_5^{2-}$	$\text{Al}^{3+} + 5 \text{F}^- = \text{AlF}_5^{2-}$	20,6	"
$\text{AlF}_6^{3-}$	$\text{Al}^{3+} + 6 \text{F}^- = \text{AlF}_6^{3-}$	20,6	"
$\text{AlPO}_4^0$	$\text{Al}^{3+} + \text{PO}_4^{3-} = \text{AlPO}_4^0$	17,28	Duffield <i>et al.</i> (1991)
$\text{AlHPO}_4^+$	$\text{Al}^{3+} + \text{PO}_4^{3-} + \text{H}^+ = \text{AlHPO}_4^+$	19,75	Nordstrom et May (1989)
$\text{AlH}_2\text{PO}_4^{2+}$	$\text{Al}^{3+} + \text{PO}_4^{3-} + 2 \text{H}^+ = \text{AlH}_2\text{PO}_4^{2+}$	22,65	"
$\text{AlOSi}(\text{OH})_3^{2+}$	$\text{Al}^{3+} + \text{H}_4\text{SiO}_4^0 + \text{OH}^- = \text{AlOSi}(\text{OH})_3^{2+}$	-2,38	Pokrovski <i>et al.</i> , 1996
$\text{AlFulvate}^0$	$\text{Al}^{3+} + \text{Org}^{3-} = \text{AlOrg}^0$	8,38	Driscoll <i>et al.</i> (1994)
$\text{AlHFulvate}^+$	$\text{Al}^{3+} + \text{Org}^{3-} + \text{H}^+ = \text{AlHOrg}^+$	13,1	"
$\text{AlHPO}_4\text{Fulvate}^{2-}$	$\text{Al}^{3+} + \text{PO}_4^{3-} + \text{Org}^{3-} + \text{H}^+ = \text{AlHPO}_4\text{Org}^{2-}$	28,83	Arp et Meyer (1985)
$\text{HFulvate}^{2-}$	$\text{Org}^{3-} + \text{H}^+ = \text{HOrg}^{2-}$	5,94	Driscoll <i>et al.</i> (1994)
$\text{H}_2\text{Fulvate}^-$	$\text{Org}^{3-} + 2 \text{H}^+ = \text{H}_2\text{Org}^-$	11,60	"
$\text{H}_3\text{Fulvate}^0$	$\text{Org}^{3-} + 3 \text{H}^+ = \text{H}_3\text{Org}^0$	14,22	"
<b>Solides</b>			
$\text{Al}(\text{OH})_3$ amorphe	$\text{Al}^{3+} + 3 \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 + 3 \text{H}^+$	-10,38	Mineql <sup>+</sup>
$\text{Al}(\text{OH})_3$ interfoliaire	$\text{Al}^{3+} + 3 \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 + 3 \text{H}^+$	-8,1	Dahlgren <i>et al.</i> (1989)
$\text{AlPO}_4$ amorphe	$\text{Al}^{3+} + \text{PO}_4^{3-} = \text{AlPO}_4$	20,30	Duffield <i>et al.</i> (1991)
Gibbsite naturelle	$\text{Al}^{3+} + 3 \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3 + 3 \text{H}^+$	-8,77	Mineql <sup>+</sup>
Allophanes	$\text{Al}^{3+} + \text{H}_4\text{SiO}_4^0 + 3 \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3\text{SiOH}(\text{OH})_3 + 3 \text{H}^+$	-7,1	Bilinski <i>et al.</i> (1990)
Proto-imogolite	$2 \text{Al}^{3+} + \text{H}_4\text{SiO}_4^0 + 3 \text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{O}_3\text{SiOH}(\text{OH})_3 + 6 \text{H}^+$	-13,3	"
Imogolite	$2 \text{Al}^{3+} + \text{H}_4\text{SiO}_4^0 + 3 \text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{O}_3\text{SiOH}(\text{OH})_3 + 6 \text{H}^+$	-12,50	Su et Harsh (1994)
Jurbanite	$\text{Al}^{3+} + \text{SO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O} = \text{AlSO}_4(\text{OH}) + \text{H}^+$	3,23	Mineql
Alunite	$3 \text{Al}^{3+} + 2 \text{SO}_4^{2-} + \text{K}^+ + 6 \text{H}_2\text{O} = \text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6 + 6 \text{H}^+$	1,35	"
Basaluminite	$4 \text{Al}^{3+} + \text{SO}_4^{2-} + 10 \text{H}_2\text{O} = \text{Al}_4(\text{OH})_{10}\text{SO}_4 + 10 \text{H}^+$	-22,7	"
Boehmite	$\text{Al}^{3+} + 3 \text{H}_2\text{O} = \text{AlOOH} + 3 \text{H}^+$	-8,58	"
Kaolinite	$2 \text{Al}^{3+} + 2 \text{H}_4\text{SiO}_4^0 + \text{H}_2\text{O} = \text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 + 6 \text{H}^+$	-5,73	"

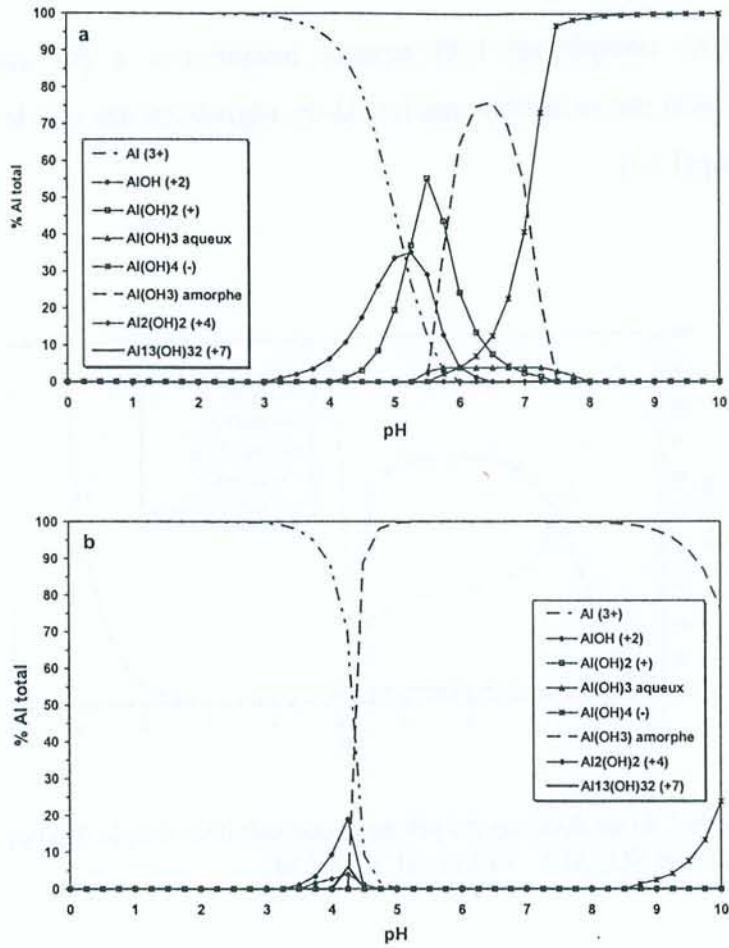


Figure 4 : distribution des espèces hydroxylées de l'Al en fonction du pH dans une solution simple d'Al à 25°C : (a) Al total =  $10^{-5} M$  et (b) Al total =  $3 \cdot 10^{-2} M$ .

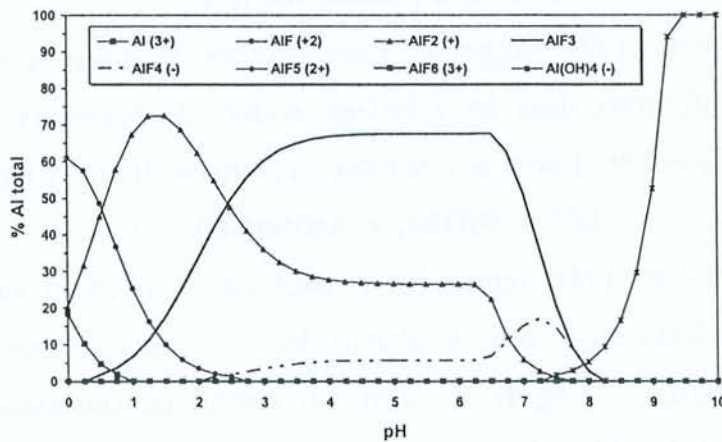


Figure 5 : spéciation de l'Al en fonction du pH dans une solution simple d'Al et de F, à 25°C, avec un rapport F/Al = 3 (Al total =  $10^{-3} M$ ).



### 3 – Complexes sulfatés

Les anions  $\text{SO}_4^{2-}$  complexent l'Al aqueux uniquement à pH acide (Fig. 6). Les complexes Al-SO<sub>4</sub> sont moins stables que les Al-F, régressent dès que le pH est supérieur à 5 et disparaissent à pH ≥ 6.

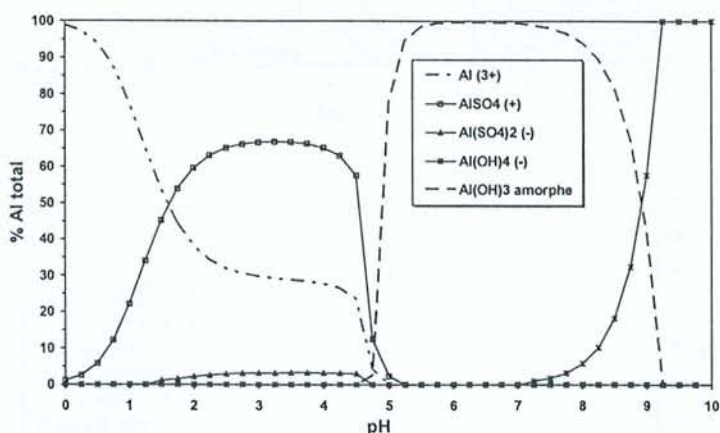


Figure 6 : spéciation de l'Al en fonction du pH dans une solution simple d'Al et de SO<sub>4</sub>, à 25°C, avec un rapport SO<sub>4</sub>/Al = 3 (Al total = 10<sup>-3</sup> M).

### 4 – Complexes Al-Si

Dans des systèmes contenant de l'acide silicique et de l'Al, plusieurs complexes Al-Si ont été proposés avec des constantes de formation différentes.

Brown et Driscoll (1992) suggèrent l'existence de monomères et de dimères en concentrations significatives dans les solutions acides. Ils proposent une constante de formation **Log K voisine de -1** pour des monomères aluminosilicatés selon la réaction :



Farmer et Lumsdon (1994) reprennent la question et concluent au contraire que la formation des complexes Al-Si dans la plupart des eaux naturelles est limitée aux seuls monomères  $\text{AlOSi}(\text{OH})_3^{2+}$  (**Log K = -2,5**) qui restent en concentrations très faibles n'excédant pas 2,3 % de l'Al total.

Cette opinion peut être remise en cause dans la mesure où ces auteurs utilisent une solution d'Al sursaturée par rapport à la gibbsite, qui risque donc de contenir des polymères

Al (Kinraide et Parker, 1989 ; Kinraide, 1991). Ils pourraient donc sous-estimer la formation des monomères Al-Si.

Plus récemment, une nouvelle étude (Pokrovski *et al.*, 1996) aboutit à une conclusion voisine de celle de Farmer et Lumsdon, avec une constante de formation de  $\text{AlOSi}(\text{OH})_3^{2+}$  ( $\text{Log } K = -2,38$ ) presque identique. Cette dernière étude paraît très fiable, dans la mesure où il ne peut y avoir formation de polymères Si ou Al à aucun moment. Il découle de leurs données que les monomères Al-Si ne se forment en concentrations significatives que dans des eaux très acides ( $\text{pH} < 3$ ) à des températures très élevées (eaux hydrothermales acides par exemple) et restent négligeables dans la plupart des eaux naturelles (Fig. 7).

### 5 – Complexes Al-PO<sub>4</sub>

Des monomères et des dimères Al-PO<sub>4</sub> sont susceptibles d'exister à des pH acides ( $\leq 4$ ), tandis qu'aux pH plus élevés, seul se forme le dimère  $\text{Al}_2(\text{OH})_2\text{PO}_4^+$  et peut-être l'espèce  $\text{AlPO}_4$  entre pH 6,5 et 8,5 (Fig. 8).

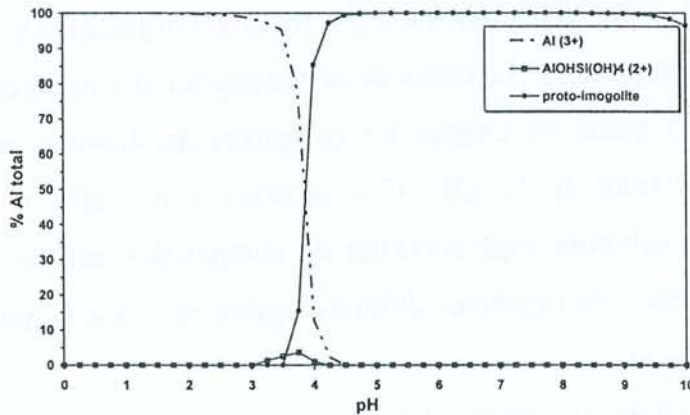


Figure 7 : spéciation de l'Al en fonction du pH dans une solution simple d'Al et de Si, à 25°C, avec un rapport Si/Al = 3 (Al total =  $10^{-3}$  M).



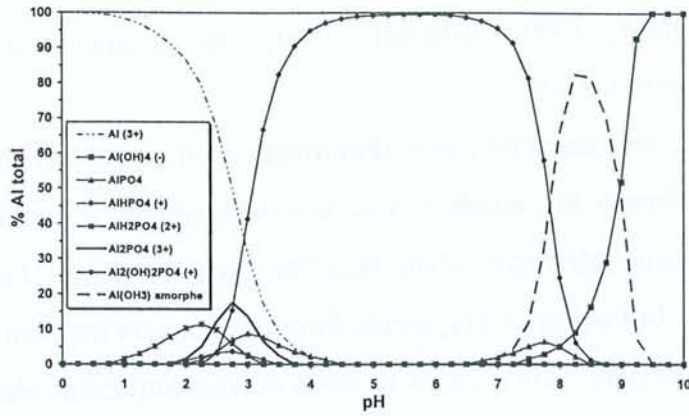


Figure 8 : spéciation de l'Al en fonction du pH dans une solution simple d'Al et de  $\text{PO}_4$ , à  $25^\circ\text{C}$ , avec un rapport  $\text{PO}_4/\text{Al} = 0,5$  ( $\text{Al total} = 10^{-3} \text{ M}$ ).

## 6 – Complexes organiques

Contrairement aux anions inorganiques, la matière organique hydrosoluble (notamment les acides humiques et fulviques) a le plus d'affinité pour l'Al à des pH modérément acides ( $> 4,5$ ). Une certaine incertitude persiste au sujet de la détermination de l'Al organique. Plusieurs modèles ont été élaborés en vue de calculer l'Al organique à partir des caractéristiques d'une solution tels les modèles monoprotique, diprotique et triprotique de Driscoll *et al.* (1994). Ces modèles simulent une molécule organique avec respectivement 1, 2 et 3 groupements complexants. Le calcul de la dissociation des molécules organiques et de complexes organo-Al prend en compte les constantes de dissociation des groupements complexants, leur densité et le pH. Ces modèles sont calibrés sur des titrations potentiométriques de solutions expérimentales de composition connue. Les constantes de formation et les espèces d'Al organique diffèrent également selon le modèle mono-, di- ou triprotique utilisé (Fig. 9).

Driscoll *et al.* (1994) en comparant la concentration des anions organiques dans des eaux de sources, estimée à partir de l'analyse de la composition chimique totale en anions et en cations de la solution selon l'équation suivante :  $\sum \text{anions organiques} = \sum \text{cations} - \sum \text{anions inorganiques}$  (en équivalents), à la concentration en anions organiques de ces mêmes eaux calculée cette fois ci selon les trois modèles précédents, trouvent une meilleure corrélation avec le modèle triprotique ( $R^2 = 0,92$ ) qu'avec les modèles monoprotique ( $R^2 = 0,88$ ) et diprotique ( $R^2 = 0,76$ ). Dans ce modèle triprotique qui paraît donc être le meilleur, les acides organiques ont trois constantes de dissociation différentes, un  $\text{pK}_{a1}$  (2,62) caractérisant les groupements fonctionnels d'acides forts, un  $\text{pK}_{a2}$  (5,66) et un  $\text{pK}_{a3}$  (5,94)

caractérisant tous deux les groupements fonctionnels d'acides faibles qui se dissocient à des pH compris entre 5 et 7. La figure 10 montre par ailleurs la dissociation de la charge organique en fonction du pH respectivement selon les trois modèles de Driscoll *et al.* (1994).

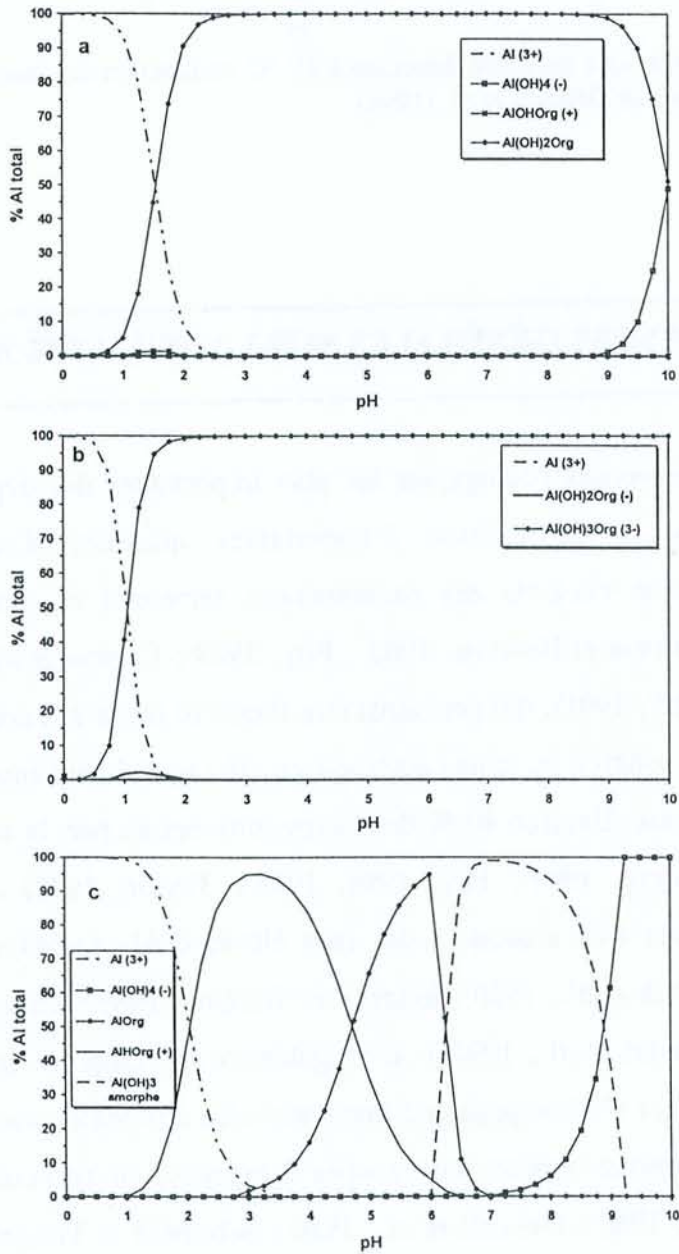


Figure 9 : spéciation de l'Al en fonction du pH dans une solution simple d'Al et de matière organique (acide fulvique) selon les modèles (a) monoprotique, (b) diprotique, (c) triprotique (le rapport fulvate/Al = 3 dans les 3 cas ; Al total =  $10^{-3}$  M ; température =  $25^{\circ}C$ ).



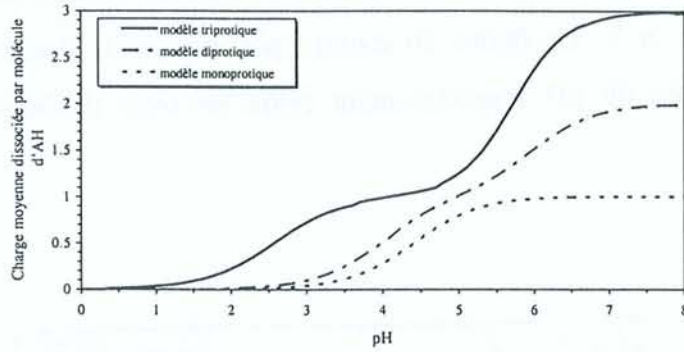


Figure 10 : charge organique moyenne dissociée à 25 °C en fonction des modèles mono-, di- et triprotiques de Driscoll *et al.* (1994).

### III – CONNAISSANCES GÉNÉRALES SUR LA TOXICITÉ ALUMINIQUE

L'une des conséquences écologiques les plus importantes des dépôts atmosphériques acides réside dans la mobilisation d'importantes quantités d'aluminium, élément potentiellement toxique vis-à-vis des communautés terrestres et aquatiques (Cronan et Schofield, 1979 ; Nilsson et Berkvist, 1983 ; Foy, 1988 ; Cronan *et al.*, 1989 ; Wright *et al.*, 1989 ; Exley *et al.*, 1991), qui peut ainsi être transféré jusqu'aux cours d'eau.

L'aluminium en solution en milieu acide est en effet un élément susceptible d'inhiber la croissance des végétaux. Environ 40 % des terres cultivées de part le monde sont affectées par ce problème (Haug, 1984 ; Foy, 1984, 1988 ; Taylor, 1988) et plusieurs cas de dépérissement forestier sont associés à des taux élevés d'Al, de  $\text{SO}_4$  et de  $\text{NO}_3$  dans les solutions du sol (Ulrich *et al.*, 1980 ; Johnson et Siccama, 1983 ; Schier, 1985 ; Schortelle et Smith, 1988 ; Boudot *et al.*, 1994a). Il a également été rapporté que l'apparition d'Al dans les eaux de surface s'accompagnait d'une régression des communautés aquatiques et de la disparition de certaines espèces ou groupes d'espèces, en particulier des salmonidés (Muniz et Leivestad, 1980 ; Driscoll *et al.*, 1980 ; Schofield et Tronjnar, 1980 ; Baker et Schofield, 1982).

On notera toutefois que la connaissance de la spéciation de l'Al est un préalable nécessaire à l'estimation de sa toxicité. Cet élément existe en effet sous forme de plusieurs espèces dont seules certaines sont toxiques vis à vis des végétaux ou des organismes

aquatiques. Par ailleurs, d'autres facteurs peuvent entrer en jeu et l'on sait par exemple qu'une forte acidité est par elle-même néfaste vis-à-vis des végétaux et des animaux (Foy, 1984 ; Rayn *et al.*, 1986), que d'autres métaux (Fe, Mn, Zn, Cd, Pb, Zn...) peuvent être simultanément présents sous forme toxique et que des carences en nutriments peuvent également provoquer des symptômes de dépérissement ou d'appauvrissement biologique (Foy, 1984 ; Godbold et Hüttermann, 1985 ; Ritchie, 1989).

Une synthèse bibliographique nous permettra de préciser quelles sont les diverses espèces d'Al toxique, quels sont les symptômes et les mécanismes de la toxicité aluminique, quels sont les facteurs du milieu qui la combattent et quels sont les mécanismes de résistance à l'Al chez les organismes cibles.

## A – La toxicité aluminique chez les végétaux

### 1 – Espèces toxiques et non toxiques de l'Al chez les végétaux

De nombreux travaux ont mis l'Al ionique  $Al^{3+}$  en tête de liste des espèces Al toxiques (Pavan et Bingham, 1982 ; Ritchie, 1989 ; Kinraide, 1991 ; Kinraide *et al.*, 1992), suivi respectivement de  $Al(OH)^{2+}$ ,  $Al(OH)_2^+$  (Alva *et al.*, 1986a, Parker *et al.*, 1988b ; Kinraide et Parker, 1989 ; Ritchie, 1989). En outre, l'anion aluminate ( $Al(OH)_4^-$ ), qui n'est pas toxique par lui-même, est susceptible de se polymériser en  $Al_{13}$  une fois absorbé par les racines, et ce polymère est très toxique (Kinraide, 1990).

La toxicité élevée de  $Al^{3+}$  a été effectivement vérifiée chez plusieurs espèces cultivées telles le blé (Kinraide et Parker, 1987a ; Parker *et al.*, 1988a, 1988b ; Ryan et Kochian, 1993), le soja (Noble *et al.*, 1988b ; Noble et Summner, 1988 ; Bruce *et al.*, 1988) et l'orge (Cameron *et al.*, 1986). De même, de nombreuses espèces forestières présentent une sensibilité plus importante à  $Al^{3+}$  qu'aux monomères Al-OH, apparemment un peu moins toxiques. C'est par exemple le cas des épicéa d'Europe et d'Amérique (Rost-Siebert, 1983 ; Hüttermann et Ulrich, 1984 ; Hutchinson *et al.*, 1986 ; Thornton *et al.*, 1987 ; Asp *et al.*, 1988 ; Nosko et Kershaw, 1992 ; Godbold *et al.*, 1995). Par ailleurs, une quatrième espèce,  $AlSO_4^+$  doit être ajoutée à la liste de l'Al phytotoxique (Tang *et al.*, 1989 ; Alva *et al.*, 1986b ; Joslin et Wolfe, 1988) bien que ceci ne soit pas admis par tout le monde. Un grand nombre d'auteurs considèrent en effet  $AlSO_4^+$  comme n'étant pas toxique (Pavan et Bingham, 1982 ; Cameron *et al.*, 1986 ; Tanaka *et al.*, 1987 ; Kinraide et Parker, 1987b,



Noble *et al.*, 1988a et b), mais il est plus qu'évident que ceci ne concerne qu'une autre espèce, mise en évidence par Alva *et al.* (1991) et qui reste très peu connue sur le plan chimique.

Les complexes **Al-F** (Cameron *et al.*, 1986 ; Tanaka *et al.*, 1987 ; Maclean *et al.*, 1992), **Al-PO<sub>4</sub>** (White *et al.*, 1976 ; Helliwel *et al.*, 1983 ; Alva *et al.*, 1986a ; Vo Dinh Quang *et al.*, 1996) et l'**Al organique** (Rost-Siebert, 1983 ; Hue *et al.*, 1986 ; Suthipradit, 1990) ne sont par ailleurs pas toxiques. Les molécules organiques de grande taille (acides humiques et fulviques) complexent l'Al et l'empêchent de pénétrer dans les racines (Horst *et al.*, 1982). Inversement, l'Al complexé aux acides organiques non colloïdaux (acides citrique, acide oxalique,...etc.) est absorbé par les racines ; il n'est par contre pas non plus toxique (Van Praag et Weissen, 1985 ; Joslin et Wolfe, 1988). La matière organique a en outre un rôle détoxifiant car elle peut complexer l'Al préalablement fixé sur les parois racinaires (Ownby et Popham, 1989 ; Delhaize *et al.* 1993 ).

Un apport de **silice** combat la toxicité aluminique chez plusieurs espèces végétales. Les monomères **Al-Si** ne dépassant jamais 2 à 3 % de l'Al en solution dans la plupart des eaux naturelles (Pokrovski *et al.*, 1996), il est pratiquement certain que cette amélioration se fait au travers de la formation de polymères Al-Si, non toxiques (Helliwell *et al.*, 1983 ; Barcelo *et al.*, 1993 ; Baylis *et al.*, 1994 ; Hammond *et al.*, 1995).

En ce qui concerne la phytotoxicité de l'**Al polymérique**, il semblerait que seul l'**Al<sub>13</sub>** ait une toxicité aiguë vis à vis des végétaux. Cette espèce a été identifiée dans des solutions de synthèse, et les mécanismes de sa toxicité ont été mis en évidence dans des milieux de culture liquides (Turner, 1976 ; Bersillon *et al.*, 1980 ; Parker *et al.*, 1989a ; Parker et Bertch, 1992a et b ; Kerven *et al.*, 1995). Dans ces conditions, l'influence des polymères Al<sub>13</sub> sur les plantes est très difficile à appréhender car elle semble très variable en fonction des cultivars (de 13 à 150 fois plus toxique que l'Al<sup>3+</sup> (Parker *et al.*, 1989a ; Shann et Bertsch, 1993). Dans les sols, l'apparition d'Al<sub>13</sub> est très douteuse car les anions contrariant sa formation sont trop abondants (Bache et Sharp, 1976 ; Driscoll et Schecher, 1988 ; Parker *et al.*, 1989a ; Kerven *et al.*, 1995). En fait, seules les données de Hunter et Ross (1991) signalent la présence d'Al<sub>13</sub> dans un sol, et cette donnée n'a pu ultérieurement être confirmée, ni par ces auteurs, ni par d'autres.

## 2 – Symptômes de la toxicité

En ce qui concerne les végétaux, la toxicité aluminique se traduit globalement par une réduction ou une inhibition de la croissance des racines (Godbold *et al.*, 1988 ; Göransson et Eldhuset, 1991 ; Boxman *et al.*, 1991) et par un aspect plus ou moins dépérissant des parties aériennes (Ulrich *et al.*, 1980 ; Johnson et Siccama, 1983 ; Schortelle et Smith, 1988). Chez les plantes cultivées, on assiste à une inhibition de l'élongation racinaire, à une diminution des ramifications, à la raréfaction des poils absorbants et à un épaississement des racines qui deviennent boursouflées et acquièrent fréquemment une forme corraloïde caractéristique (Foy, 1974). Dans les cas extrêmes, des nécroses cellulaires apparaissent à proximité des méristèmes racinaires (Foy, 1984 ; Bennet *et al.*, 1987 ; Ryan *et al.*, 1993 ; Strid, 1996). Chez les espèces forestières, les racines brunissent puis se décolorent et se nécrosent. Les symptômes visibles au niveau du feuillage apparaissent en fait comme étant d'avantage une réponse à des carences minérales ou à un déficit hydrique, éventuellement induits par l'Al, qu'un symptôme direct de la toxicité aluminique. C'est ainsi que le jaunissement et le brunissement des aiguilles observés chez les résineux sur les sols acides doivent être attribués à des carences en Mg et en Ca (Hutchinson *et al.*, 1986 ; Zöttl et Hüttl, 1986 ; Landman *et al.*, 1987 ; Joslin *et al.*, 1988 ; Schortle et Smith, 1988 ; Göransson et Eldhuset, 1991 ; Boudot *et al.*, 1994a), même si une toxicité due à l'Al est à l'origine d'une inhibition de la nutrition minérale.

## 3 – Mécanismes de la toxicité

L'inhibition de la croissance racinaire est la première réponse à la présence d'Al toxique en solution. En effet, les formes toxiques de cet élément affectent particulièrement les mécanismes de la division cellulaire à l'apex des racines et peut agir soit directement en altérant les fonctions métaboliques, cellulaires et physiologiques, soit indirectement en perturbant les mécanismes de prélèvement d'eau et de nutriments. L'Al peut en outre affecter les micro-organismes qui ont des relations symbiotiques avec les plantes, tels les champignons mycorhiziens (Browning et Hutchinson, 1991), ou encore les bactéries fixatrices d'azote par exemple (Wood et Cooper, 1988).

En réalité, il est souvent très difficile de séparer les effets primaires de la toxicité aluminique (reliés directement à l'inhibition de la croissance des racines) des réponses



secondaires de la plante (résultant pour la plupart des dommages causés au système racinaire).

#### *a – Effets primaires de la toxicité aluminique*

L'apex racinaire, et plus précisément la zone méristématique de la coiffe, constitue le lieu privilégié de l'action de l'Al toxique (Bennet *et al.*, 1987 ; Bennet et Bell, 1991 ; Ryan *et al.*, 1993 ; Huang et Bachelard, 1993). La détermination des divers mécanismes de toxicité (et de résistance) reportés dans la littérature doit donc être basée sur l'étude des interactions de l'Al avec les structures extra- et intracellulaires (parois cellulaires, membranes plasmiques, constituants symplasmiques et cytoplasmiques, ...) de l'extrémité des racines. Ainsi, de nombreux travaux montrent que l'inhibition de l'élongation racinaire par l'Al résulte au moins en partie d'une réduction de la division cellulaire (Clarkson, 1965 ; Llugany *et al.*, 1995). L'ADN complexe l'Al, ce qui empêche sa réplication et se traduit par l'arrêt des mitoses dans les cellules méristématiques des racines (Matsumoto et Morimura, 1978 ; Tepper *et al.*, 1989 ; Haug *et al.*, 1994). L'aluminium est en outre susceptible d'altérer le fonctionnement de certains processus métaboliques et physiologiques ayant lieu à la surface ou à travers la membrane plasmique, sans pour autant endommager la structure de cette dernière. Ainsi l'inhibition du transport de certains cations (Ca en particulier) résulte du blocage par l'Al des canaux spécifiques d'absorption de ces ions (Rengel, 1990 ; Rengel et Elliott, 1992 ; Huang *et al.*, 1992). La diminution de l'influx de Ca et l'adsorption de l'Al sur les sites réactifs (sites spécifiques de Ca) de la calmoduline provoquent des changements de la conformation de cette enzyme et une altération de son activité (Haug, 1984 ; Haug et Caldwell, 1985). Or la calmoduline est indispensable à l'activation d'autres enzymes comme la phosphodiesterase. D'autres systèmes enzymatiques peuvent également être détériorés par des interactions avec l'Al, comme les phosphatases acides qui assurent le transport des ions  $\text{PO}_4^{2-}$  (Pettersson *et al.*, 1988), les ATPases, impliquées dans la photosynthèse (Hoddinott et Richter, 1987 ; Moustakas *et al.*, 1995), ou les nitrate-reductases (Cambaria *et al.*, 1989). De la même façon, l'Al peut établir des liaisons avec les cytoskletones, ce qui provoque un arrêt de la croissance des racines et des poils absorbants, voire un gonflement des zones atteintes (Kochian, 1995).

### *b – Effets secondaires de la toxicité aluminique*

Il s'agit principalement de la réduction des prélèvements d'eau et de nutriments qui résulte de l'endommagement du système racinaire et/ou de la compétition de l'Al avec Ca et Mg pour les sites d'adsorption des racines (Alva *et al.*, 1986a ; Schröder *et al.*, 1988 ; Arp et Strucel, 1989 ; Godbold, 1991). L'Al peut également provoquer une diminution du taux de mycorhization des racines (Boxman *et al.*, 1991 ; McQuattie et Schier, 1992), soit en étant toxique pour le champignon lui même (Thomson et Medve, 1984 ; Kasuya *et al.*, 1990 ; Browning *et al.*, 1991 ; Jongbloed et Borst-Pauwell, 1992), soit en pénétrant dans le manteau mycorhizien et en y entraînant des carences en Ca et Mg (Schlegel *et al.*, 1992 ; Eeckhaoudt *et al.*, 1992). Une réduction du taux de mycorhization peut également résulter d'une mauvaise prospection du sol par les racines du fait de leur faible développement. Enfin, l'Al ayant pénétré dans les racines peut y coprécipiter avec le phosphore et créer des carences en P au niveau des parties aériennes (Asp *et al.*, 1991).

## **4 – Facteurs combattant la toxicité de l'Al**

L'effet réel de l'Al sur la végétation est très variable. Les végétaux sont en effet plus ou moins aptes à lutter contre cette toxicité de par leurs propres fonctionnements physiologiques, qui dépendent des espèces et des cultivars. Il existe en outre un ensemble de facteurs chimiques du milieu qui peuvent atténuer la toxicité de l'Al.

### *a – Mécanismes de résistance et de tolérance des végétaux à la toxicité aluminique*

De nombreuses études notent une variabilité inter-spécifique des réponses des plantes à la toxicité de l'Al. Si certaines espèces (pin douglas, épicéa sitka, sapin douglas, hêtre américain, chêne rouge, bouleau blanc...) semblent tolérer de fortes teneurs en Al ( $\geq 800 \mu\text{mol. L}^{-1}$ ) dans leurs tissus sans subir trop de dommages, d'autres par contre, bien qu'elles puissent accumuler de bien plus fortes concentrations d'Al dans leurs tissus sans en souffrir (p. ex.  $5 \cdot 10^4 \mu\text{M d'Al. Kg}^{-1}$  de feuilles pour l'épicéa d'Europe (Ogner et Teigen, 1980) sont sensibles à certaines espèces d'Al présentes dans les solutions du sol. Néanmoins, il faut garder à l'esprit que la spéciation de l'Al et les conditions du milieu (pH, concentrations en Ca et en Mg des eaux du sol) influencent énormément la tolérance des végétaux à l'Al.



Par ailleurs, la réponse des plantes d'une même espèce à l'Al varie en fonction de leur âge et de leur génotype. La variabilité des réponses liées à l'âge peuvent s'expliquer par la mise en place progressive de diverses fonctions physiologiques qui limitent l'action de l'Al. En outre, certains cultivars d'une même espèce sont capables de développer de tels systèmes de résistance, alors que d'autres n'y parviennent pas. Les mécanismes d'action de cette résistance peuvent être de deux types, à savoir des mécanismes facilitant la désorption et l'expulsion de l'Al à partir de l'apex des racines (apoplasme et symplasme), et des mécanismes améliorant la vigueur et la tolérance de ce dernier à l'action toxique de l'Al.

Les premiers mécanismes sont associés à la fois à une libération par les racines de composés chélatant l'Al, et probablement également à une augmentation du pH de la rhizosphère induite par la racine elle même (Kochian, 1995). En effet, l'Al stimule la production d'exsudats racinaires riches en composés organiques complexants (acides citrique et malique, acides uroniques, polysaccharides...) par les racines chez les cultivars résistants. Ces composés lèvent la toxicité aluminique (Horst *et al.*, 1982 ; Delhaize *et al.* 1993).

Les seconds mécanismes semblent quant à eux être en liaison directe avec l'induction, en présence de faibles concentrations d'Al, de protéines et de peptides de faible poids moléculaire. Ces derniers, en réagissant avec l'Al, permettent une certaine tolérance à ce métal (Aniol, 1984 ; Delhaize *et al.*, 1991 ; Basu *et al.*, 1994), qui augmente avec le temps.

#### ***b - Facteurs chimiques combattant la toxicité de l'Al***

Il a été largement montré que les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , et dans une bien moindre mesure  $\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+$ , combattaient la toxicité aluminique. Une concentration suffisante en Ca et/ou Mg a pour effet d'atténuer ou de lever la toxicité de l'Al, d'une part en diminuant l'activité de l'Al soluble, mais plus encore en entrant en compétition avec l'Al pour les sites d'adsorption des racines (Cameron *et al.*, 1986 ; Alva *et al.*, 1986a ; Kinraide et Parker, 1987a ; Grauer et Horst, 1992 ; Kinraide *et al.*, Blamey *et al.*, 1992 ; Tan *et al.*, 1992 ; Keltjens et Tan, 1993). Certains anions minéraux ( $\text{F}^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ...) ou organiques combattent également la toxicité aluminique en formant des complexes non toxiques avec l'Al (Hue et Amien, 1989 ; Grauer, 1993).

### c – Facteurs biologiques combattant la phytotoxicité aluminique

La mycorhization est susceptible dans certains cas de faire baisser la toxicité de l'Al. Certains champignons mycorhiziens sont capables d'accumuler l'Al dans leurs tissus et atténuent ainsi la toxicité de cet élément vis-à-vis de la plante hôte. C'est le cas du pin rigide (Cumming et Weissen, 1990 a et b) et du pin des Caraïbes (Kayusa, 1990). En revanche, la mycorhization ne semble avoir aucun effet détoxifiant chez l'épicéa (Jenschke *et al.*, 1991a et b). Il convient toutefois de signaler que l'Al peut avoir des effets toxiques sur le champignon mycorhizien lui même, et donc faire baisser le taux de mycorhization (Kasuya *et al.*, 1990 ; Browning *et al.*, 1991).

## B – La toxicité aluminique chez les poissons

### 1 – Formes d'Al toxiques et non toxiques

A quelques exceptions près, l'Al toxique vis-à-vis des poissons comprend les mêmes espèces cités précédemment pour les végétaux, à savoir,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  et très probablement  $\text{AlSO}_4^+$  (Helliwel *et al.*, 1983 ; Fivelstad et Leivestad, 1984 ; Sadler et Lynam, 1987 ; Yousson et Neville, 1987 ; Playle et Wood, 1991 ; Gundersen *et al.*, 1994). L'espèce  $\text{AlF}^{2+}$  conserve cependant une certaine toxicité (Willkinson *et al.*, 1990 ; Parkhurst *et al.*, 1990). L'Al organique (Driscoll *et al.*, 1980 ; Peterson *et al.*, 1989 ; Lydersen *et al.*, 1990 ; Gundersen *et al.*, 1994) et les complexes  $\text{Al-PO}_4$  (Murungi et Robinson, 1992) ne sont pas toxiques pour les poissons. Les colloïdes d'Al amorphe, une fois formés, ne sont pas toxiques (Baker & Schofield, 1982 ; Dickson, 1983 ; Skogheim *et al.*, 1984 ; Rosseland *et al.*, 1992 ; Oughton *et al.*, 1992 ; Poléo *et al.*, 1994 ; Gundersen *et al.*, 1994 ; Poléo, 1995 ; Åtland et Barlaup, 1995 ; Witters *et al.*, 1996). La silice fait baisser la toxicité de l'Al en favorisant la formation de polymères Al-Si non toxiques (Driscoll *et al.*, 1980 ; Baker et Schofield, 1982 ; Birchall *et al.*, 1989 ; Lydersen *et al.*, 1990, Poléo, 1995 ; Lumsdon et Farmer, 1995 ; Harris *et al.*, 1996). Par contre, il est clair que l'Al en cours de polymérisation est très toxique et l'est sans doute plus que  $\text{Al}^{3+}$ . De tels processus de polymérisation se produisent dans les solutions sursaturées par rapport à la gibbsite lors du mélange d'eaux neutres ou alcalines avec des eaux acides par exemple, ou encore suite au chaulage d'eaux acides (Dickson, 1983 ; Rosseland *et al.*, 1992 ; Poléo *et al.*, 1994 ; Poléo, 1995 ; Åtland et Barlaup, 1995 ; Witters



*et al.*, 1996). Ils peuvent également se produire au niveau des branchies en raison de l'élévation du pH de l'eau de 0,2 à 0,7 unités qui existe à leur toute proximité et provoquent l'asphyxie des poissons par colmatage des branchies (Baker et Schofield, 1982 ; Playle et Wood, 1991 ; Rosseland *et al.*, 1992 ; Oughton *et al.*, 1992 ; Gundersen *et al.*, 1994 ; Poléo, 1995 ; Åtland et Barlaup, 1995 ; Witters *et al.*, 1996). Enfin, la toxicité de l' $Al_{13}$  n'est pas établie avec certitude malgré des assertions de Exley *et al.* (1994).

## 2 – Symptômes et mécanismes de toxicité de l'Al

L'aluminium est un élément qui peut être extrêmement toxique vis à vis des organismes aquatiques, notamment lorsque les eaux sont pauvres en calcium. La toxicité de l'Al agit le plus souvent en synergie avec celle des protons, laquelle serait plus importante à des pH < 4 – 4,4, au moins pendant les premiers stades de développement (oeufs, larves, alevins) (Baker et Schofield, 1982 ; Salder et Lyman, 1987 ; Neville et Campbell, 1988 ; Peterson *et al.*, 1989 ; Sayer *et al.*, 1991).

A l'instar des végétaux, les poissons présentent une variabilité inter-spécifique importante dans leurs réponses à la présence d'Al dans les eaux. Ainsi, le saumon atlantique (*Salmo salar*) est plus sensible que la truite fario (*Salmo trutta*), elle même plus sensible que l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) (Rosseland et Skogheim, 1984a). C'est ainsi que dans les Vosges, la truite fario semble disparaître des rivières pour des teneurs en Al total > 6,6 – 7,4  $\mu M$ , associées à des pH < 5,3 – 5,6, alors que l'omble de fontaine s'y maintient (Probst *et al.*, 1990b).

La différence de sensibilité des individus au sein d'une même espèce, notamment en fonction de l'âge, a été également soulignée dans de nombreux travaux. Les alevins et les juvéniles sont généralement plus vulnérables que les adultes (Driscoll *et al.*, 1980, Baker et Schofield, 1982).

L'Al exerce son effet toxique sur les poissons par divers mécanismes. Les espèces  $Al^{3+}$ ,  $Al(OH)^{2+}$ ,  $Al(OH)_2^+$ ,  $Al(OH)_4^-$  et  $AlSO_4^+$  s'adsorbent facilement sur les sites négatifs des branchies et entraînent un certain nombre de dérèglements, parmi lesquels on peut citer :

- \* le déplacement des ions  $Ca^{2+}$  de leurs sites de fixation sur les branchies, et une réduction de l'influx de Ca, élément indispensable au bon fonctionnement de la calmoduline et de l'osmorégulation.

\* des pertes d'électrolytes ( $\text{Na}^+$  et  $\text{Cl}^-$ ) au niveau des branchies (perturbation des mécanismes osmorégulateurs). L'influx de Na et Cl est inhibé en réponse à l'action de l'Al sur certains systèmes enzymatiques et sur les tissus branchiaux (Na- et K-ATPases, calmoduline). L'acidité (pH 4 – 4,5) agit en synergie avec l'Al en augmentant l'efflux de  $\text{Na}^+$  contre  $\text{H}^+$  (Dalziel *et al.*, 1983).

\* la perturbation des fonctions respiratoires et d'échanges gazeux qui résulte de la fixation de l'Al sur les branchies. On assiste à l'apparition de nécroses branchiales et à une surproduction de mucus, qui coflocule avec l'Al et colmate les branchies (Yousson et Neville, 1987).

Par ailleurs, des études tenant compte de l'augmentation du pH dans l'environnement branchial montrent que les monomères Al mentionnées ci-dessus, une fois adsorbés sur les sites négatifs des branchies, peuvent servir à amorcer la formation de polymères qui s'accumulent en colmatant également les branchies (Playle et Wood, 1991 ; Poléo, 1995). En outre, l'Al s'accumule progressivement dans le foie, le cœur (Exley, 1996) et le système nerveux (Flaten *et al.*, 1993), et est susceptible de porter atteinte au bon fonctionnement de ces organes. On notera enfin l'apparition d'une certaine accoutumance des poissons à la présence de concentrations d'Al croissantes avec le temps, dans le cas d'une toxicité chronique (non létale). Cette adaptation leur permet par la suite de mieux résister à des teneurs plus élevées en Al (McDonald *et al.*, 1990 ; Wilson *et al.*, 1994).

### 3 – Éléments combattant la toxicité de l'Al

Le calcium (et accessoirement le sodium) pour les cations, les acides organiques et le fluor pour les anions, ainsi que la silice, sont connus pour leur action bénéfique dans la détoxification des eaux alumineuses vis à vis des poissons. Ces constituants peuvent agir, soit en entrant en compétition avec l'Al monomérique au niveau des sites négatifs des branchies ( $\text{Ca}^{2+}$ ) (Brown, 1983 ; Salder et Lynam, 1988 ; Wood *et al.*, 1990), soit en formant des complexes non ou peu toxiques avec l'Al (Al organique, complexes  $\text{AlF}_2^+$  et  $\text{AlF}_3$ , polymères Al-Si ou Al- $\text{PO}_4$  préformés) (Driscoll *et al.*, 1980 ; Birchall *et al.*, 1989 ; Lacroix *et al.*, 1993).

Si le calcium combat en partie la toxicité due aux protons et les problèmes respiratoires dus aux monomères Al, il ne semble par contre pas pouvoir combattre les problèmes



d'asphyxie dus à l'Al qui précipite au niveau des branchies, ni les pertes de Na et Cl dues à l'Al.

On retiendra en outre qu'un rapport  $\text{Ca}^{2+}/\text{Al}_{\text{toxique}}$  situé aux alentours de 6 est nécessaire à une suppression complète de la toxicité de l'Al monomérique chez la truite fario, et probablement également chez l'omble de fontaine (Rosseland *et al.*, 1986).

Toutefois, et indépendamment de la présence d'Al, une teneur minimale en Ca doit être présente pour permettre une bonne reproduction des populations de truite. Cette teneur doit toujours être au moins égale à **1,5 mg. L<sup>-1</sup> de Ca** et varie avec le pH ; le rapport molaire **Ca/H doit toujours être > 2** (Chester, 1984 ; Howells *et al.*, 1992).

En résumé, l'Al dans les milieux naturels est présent sous une multitude d'espèces dont certaines seulement sont toxiques vis à vis des végétaux ou des organismes aquatiques, d'où l'intérêt de déterminer la spéciation d'Al en solution lorsque l'on veut évaluer ses potentialités toxiques.

La dégradation des peuplements forestiers et piscicoles peut donc être due à une éventuelle toxicité aluminique, mais également à des carences minérales qui peuvent être calciques ou magnésiennes chez les végétaux, calciques chez les poissons.

Nous essayerons à la lumière de toutes ces connaissances, dans un premier temps, de jeter un regard général sur la chimie de l'eau dans les différents milieux étudiés et d'essayer de comprendre les relations existant entre la chimie des sols, la chimie de leurs solutions et la chimie des eaux de surface. Dans un deuxième temps, on cherchera à déterminer les formes et les modalités de migration de l'Al, ainsi que les mécanismes contrôlant la solubilité de ce métal dans ces différents milieux. On essaiera ensuite d'identifier l'impact de la pollution atmosphérique sur les processus de pédogenèse et le transfert de l'Al du sol vers les eaux de surface. Enfin, nous essayerons d'évaluer la toxicité de l'Al vis-à-vis de quelques peuplements forestiers (épicéa, sapin, hêtre) et piscicoles (truite fario) dans les deux bassins versants étudiés ici.

Pour cela, nous avons cherché à comparer les paramètres chimiques globaux des pluviolessivats et des eaux lysimétriques à ceux des sources qui leur correspondent, puis à déterminer la spéciation et les espèces toxiques d'Al dans les eaux lysimétriques et les cours d'eau.

# *PARTIE 3*



## MATÉRIEL ET MÉTHODES



L'étude effectuée au niveau du podzol et du sol brun acide a consisté à suivre au cours du temps les variations des paramètres chimiques des précipitations sous couvert, des solutions gravitaires des sols et des eaux de surface qui correspondent à chacun des sols, puis à évaluer la toxicité de l'Al vis à vis des peuplements forestiers (épicéa, sapin, hêtre) et de la truite fario, espèce indigène des cours d'eau des Vosges.

## **I – ÉCHANTILLONNAGE DU SOL ET RÉCOLTE DES EAUX : DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX *IN SITU* ET AU LABORATOIRE**

### **1 – Sols**

Le sol est échantillonné à partir de fosses pédologiques. Chaque horizon a été prélevé pour analyse, séché à température ambiante, tamisé à 2 mm [caractérisation physico-chimique (granulométrie, CEC et pH)], légèrement broyé (C, extractions sélectives du Fe, de l'Al et de la Si,) ou finement broyé (éléments totaux, N).

### **2 – Précipitations**

La hauteur des précipitations sous couvert a été obtenue dans chaque station à l'aide de trois pluviomètres de type météorologie nationale, installés à une distance de 5 à 10 m autour des fosses.

### **3 – Pluiolessivats**

Les pluiolessivats sont recueillis dans un réservoir enterré relié par un tuyau à un collecteur à gouttière (2 m x 0.12 m) situé à 1 m au dessus du sol. Leur composition chimique a ensuite été analysée au laboratoire.

## 4 – Solutions du sol

### *a – Eaux gravitaires*

Les dispositifs utilisés pour le prélèvement des solutions du sol sont des plaques lysimétriques inertes enfoncées parallèlement à la surface du sol, à la base des différents horizons de chacun des 2 sols (Photos 3 et 4). Quatre lysimètres sont installés par horizon afin de rendre compte de la variabilité spatiale au sein du même horizon.

Ce système de lysimétrie a l'avantage de très peu perturber la structure du sol et d'éviter le mélange des eaux gravitaires et non gravitaires qui se produit avec des plaques sous tension. Les risques d'interaction entre la solution du sol et le dispositif de prélèvement sont minimes du fait de la faible durée de contact entre les eaux gravitaires et les plaques, contrairement à ce qui se passerait avec des bougies poreuses par exemple. L'inconvénient majeur du dispositif utilisé réside dans le fait qu'il ne permet pas la détermination quantitative des flux d'eau et des solutés, interrompant le contact capillaire entre les horizons situés au dessus et au dessous. L'eau à drainage lent n'est donc pas prise en compte par ce type de lysimétrie. Il est vraisemblable que de tels flux soient quantitativement peu importants dans les sols sableux, ce qui minimise cet inconvénient.

### *b – Eaux de rétention*

Les eaux de rétention (= eaux capillaires, = eaux liées) ou à drainage lent sont extraites par centrifugation du sol et seront utilisées pour l'étude de la phytotoxicité aluminique. Le sol est récolté dans les deux premiers horizons de surface [(A<sub>0</sub> et A<sub>2</sub> pour le podzol), (A<sub>1</sub> et A<sub>3</sub> pour le sol brun acide)], après une période de sécheresse suffisamment longue au cours de laquelle le sol avait pu se ressuyer. Les eaux liées sont ensuite extraites par centrifugation à partir du sol fraîchement prélevé, et n'ayant subi aucun prétraitement, si ce n'est l'élimination des gros cailloux et des morceaux de racines, branches ou litière. L'extraction de l'eau liée est réalisée au moyen d'un centrifugeur "Jouan K110 SX" équipé de pots en polycarbonate, conçus de façon à ce que la solution extraite soit récupérée dans un réceptacle indépendant à la base du pot (Gillman, 1976 ; Boudot *et al.*, 1995b). La centrifugation se fait en deux étapes successives d'une durée 20 mn chacune, la première à 1000 tours/mn (équivalent à pF 3) et la seconde à 3500 tours/mn (équivalent à pF 4).



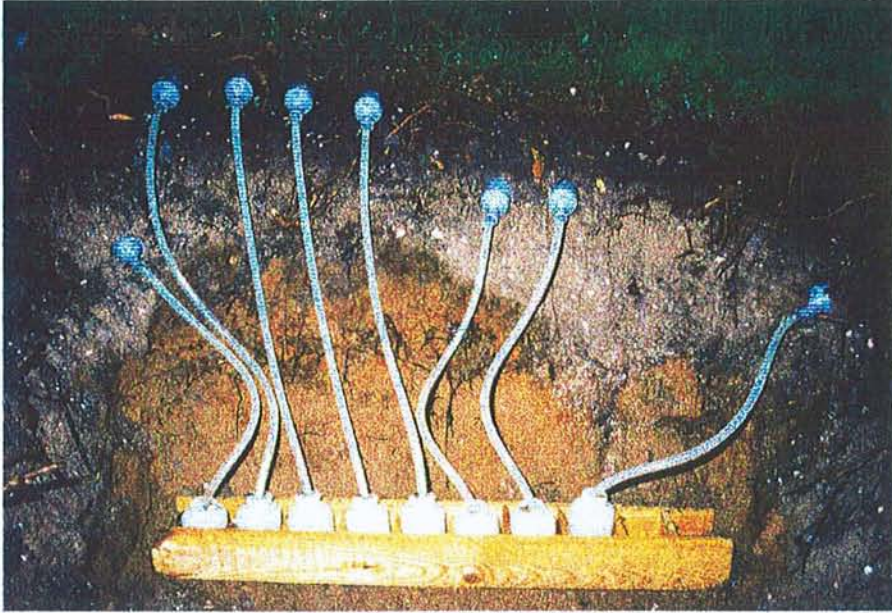


Photo 3 : système de récolte des eaux gravitaires par plaques lysimétriques dans le podzol.

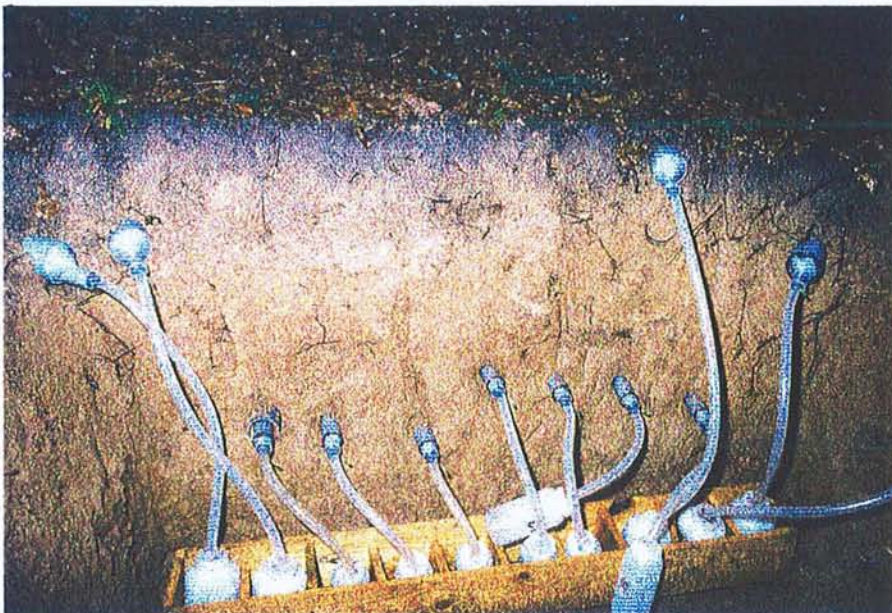


Photo 3 : système de récolte des eaux gravitaires par plaques lysimétriques dans le sol brun acide.

## 5 – Eaux de sources

Les eaux de trois sources ont été prélevées aux mêmes dates que les eaux lysimétriques à savoir :

- la source de la Blanche Fontaine, qui draine le sol brun acide.
- 2 sources correspondant au podzol, l'une permanente toute l'année (source 1), l'autre parfois intermittente (source 2).

## II – PROGRAMME DES RÉCOLTES

Les pluviollessivats, les eaux gravitaires et les eaux des sources sont récoltées pour analyse à la fin de chaque épisode pluvieux.

## III – MÉTHODES ANALYTIQUES GÉNÉRALES

### 1 – Sol

- Le pH du sol a été mesuré avec une électrode combinée (pH-mètre Tacussel PHN 81) dans l'eau (pH H<sub>2</sub>O) et dans le KCl 1N (pH KCl) avec un rapport sol/solution de 2/5 (soit 10 g de sol et 25 ml).
- Le carbone et l'azote de la matière organique ont été déterminés par la méthode de combustion sèche par l'analyseur CHN Carlo Erba 1108.
- La granulométrie a été réalisée en détruisant au préalable la matière organique à l'hypochlorite de sodium (NaClO 47 - 50° Cl) et en dispersant les constituants minéraux au moyen de résines-Na (Rouiller *et al.*, 1972).
- Diffraction aux rayons X de la fraction argileuse : une étude diffractométrique a été effectuée sur des préparations orientées de la **fraction inférieure à 2 μm** obtenue après élimination des ciments (Mehra-Jackson) et après divers prétraitements (saturation K<sup>+</sup> et Mg<sup>2+</sup>, gonflement à l'éthylène glycol, chauffage à 110, 330 et 550°C).



Les principes et méthodes des autres analyses pédologiques classiques effectuées figurent de façon détaillée dans les annexes :

- **Annexe 3** : détermination de CEC.
- **Annexe 4** : éléments totaux.
- **Annexe 5** : méthodes d'extraction sélectives de l'aluminium, du fer et de la silice "libres".

## 2 – Solutions

### *a – Analyse totale des échantillons*

Les pluvioléssivats, les eaux gravitaires, les eaux de rétention et les eaux de sources sont filtrés à 0,45  $\mu\text{m}$  au moyen de filtres de cellulose Sartorius, pré-rincés par un volume d'eau suffisant à éliminer les impuretés, puis par un certain volume de l'échantillon lui-même.

L'analyse du carbone, du pH et des anions se fait directement sur les échantillons filtrés à 0,45  $\mu\text{m}$ , alors que le dosage des cations totaux nécessite une pré-acidification à pH 2 (par adjonction de  $\text{HNO}_3$  ultrapur concentré). Les méthodes d'analyse de base sont reportées dans le tableau 6.

### Remarque :

- les limites de détection des cations (en ICPAES Jobin Yvon 32 et 38 et en Absorption Atomique) et d'anions (en Chromatographie Ionique Dionex 2000) ainsi que du carbone organique (TCM Carlo Erba 480) sont reportées en annexe 7.

- Le carbone organique soluble (C org) est dosé en chromatographie liquide (TCM : Total Monitoring Carbon) sur les solutions moyennement concentrées en C org. Les fortes concentrations de C org ont été dosées au Carmographe 12 (cas des solutions recueillies à la base des horizons éluviaux du podzol). A l'opposé, pour des solutions très pauvres en C org, la concentration de ce dernier a été estimée à partir de son absorbance en UV à 254 nm :

$$\text{C organique soluble (mg. L}^{-1}\text{)} = (44,9 \times \text{D.O.}_{254\text{ nm}}) + 1 \text{ (Bartels, 1988).}$$

Tableau 6 : méthodologies d'analyse

ÉLÉMENT(S) ANALYSÉ(S)	MÉTHODE D'ANALYSE ET DE DOSAGE
pH	pH-mètre Tacussel PHN-850, électrode AgCl-KCl
Anions minéraux (Cl, F, NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , SO <sub>4</sub> )	Chromatographie ionique Dionex (série 2000) avec précolonne et colonne CS Dionex
Cations majeurs (Ca, Fe, Mg, Mn, Si) et certains éléments en traces (Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni, Zn)	Spectrométrie d'émission (torche à plasma) ICPAES simultanée Jobin Yvon 32
Al, Pb, Ti et V	Spectrométrie d'émission (torche à plasma) ICPAES séquentielle Jobin Yvon 38
Na et K	Spectrométrie d'absorption atomique à flamme A.A. VARIAN 1275
Carbone organique	TCM (Total Monitoring Carbon) Carlo-Erba 480 ; Carmographe 12 ; spectrophotomètre Beckman DU 70 (254 nm)

### *b – Spéciation de l'Al dans les eaux naturelles*

Les solutions naturelles sont souvent très complexes et contiennent de nombreux ligands de l'Al, si bien qu'il n'existe aucune méthode analytique satisfaisante capable de déterminer à elle seule toutes les espèces d'Al en solution.

#### **α – Méthodes usuelles de spéciation de l'Al**

Ces méthodes comprennent des procédés d'extraction chimiques sélectives par complexation des espèces aluminiques les plus réactives et des techniques physiques de séparation des espèces d'Al qui tiennent généralement compte de leur taille ou de leur charge.



### \* Méthodes physiques de séparation des formes d'Al

Dans les eaux naturelles, l'Al présent en solution après filtration à  $0,45 \mu\text{m}$  peut se rencontrer dans des structures chimiques de différentes tailles, sous forme d'ions, de paires d'ions (complexes solubles), de polymères ou encore de colloïdes de dimension plus importante. Dans ce contexte, les différentes espèces d'Al peuvent être séparées selon leur taille soit par **ultrafiltration**, soit par **dialyse**. L'Al dissous est ainsi séparé des colloïdes et des macromolécules au moyen de membranes perméables (ultrafiltration) ou semi-perméables (dialyse) de pores de taille nanométrique. Le fractionnement de l'Al par ces procédés est cependant limité du fait de l'adsorption ou de la précipitation de certains ions sur les membranes, et du colmatage des pores par les macromolécules (LaZerte, 1984 ; Salbu *et al.*, 1985a ; Goenaga *et al.*, 1987 ; Menzies *et al.*, 1991). Il peut également se produire des variations de pH et des transformations biologiques dues à la durée des opérations de dialyse (de quelques heures à quelques semaines) (Benes et Stennes, 1974 ; LaZerte, 1984 ; Salbu *et al.*, 1985b ; Backes et Tipping, 1987 ; LaZerte *et al.*, 1988 ; Berggren, 1989 ; Clarke *et al.*, 1991). Les membranes de dialyse sont en outre susceptibles de relarguer des impuretés (Florence et Batley, 1980 ; LaZerte, 1984). L'ultrafiltration peut en outre entraîner la déformation de certaines macromolécules dont la taille excède le diamètre des pores de la membrane mais qui parviennent néanmoins à la traverser (Salbu *et al.*, 1985b). Enfin, les membranes les plus fines (5000 Daltons) laissent passer des polymères et certains colloïdes microdivisés, ce qui limite leur intérêt.

Il est également possible de séparer les différentes formes d'Al selon leur charge. Pour cela on utilise des **résines échangeuses de cations** [p. ex. : Amberlite 120 saturée par  $\text{Na}^+$  ou  $\text{H}^+$  (Driscoll, 1984), Amberlite 200 par  $\text{K}^+$  (Kerven *et al.*, 1989)] ou des **résines chélatantes** (p. ex. : résines Chelex 100 chargées par  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ou  $\text{Mg}^{2+}$ ). Les espèces d'Al positives (la plupart des formes inorganiques et certaines espèces organiques) sont supposées être retenues par ces résines alors que les formes négatives (complexes organiques et certaines formes inorganiques) ou neutres d'Al se retrouvent dans l'effluent (Tanaka, 1954 ; Driscoll *et al.*, 1980 ; Wright et Skogheim, 1983 ; Driscoll, 1984 ; Røgeberg et Hendrichson, 1985). Les résines chélatantes permettraient en outre d'isoler plus efficacement et spécifiquement l'Al inorganique monomérique (Hodges, 1987 ; Campbell *et al.*, 1983 ; Kerven *et al.*, 1989). La technique de fractionnement de l'Al par les deux types de résines donne cependant lieu à certaines erreurs. Un temps de contact prolongé entre la

résine et la solution serait à l'origine de variations de pH et d'une décomplexation d'une partie d'Al organique (Lydersen *et al.*, 1992). Une automatisation de la procédure est en outre souhaitable pour assurer une rapidité satisfaisante à l'opération et obtenir une bonne reproductibilité des résultats. Certaines espèces d'Al organique chargées positivement sont en outre retenues par la résine et sont comptabilisées comme Al inorganique. Inversement, les espèces inorganiques neutres ou chargées négativement ne sont pas retenues par la résine et sont comptées comme Al organique.

Bien que rare, l'utilisation des résines échangeuses d'anions n'est pas exclue. Ce sont les complexes chargés négativement (principalement l'Al organique) qui sont alors en principe retenus par la colonne. Il a cependant été signalé que l'Al organique n'est que partiellement retenu par ce type de résines (Buffle, 1988).

Enfin, certains auteurs combinent les deux types de résines anionique et cationique pour une meilleure séparation et compartimentation des diverses formes d'Al (Duffet *et al.*, 1988).

**La chromatographie ionique** est une autre technique de fractionnement de l'Al selon la charge qui peut permettre de séparer diverses espèces d'Al. Le principe de base consiste en des processus d'échange ionique entre une phase mobile (éluant) et des groupements actifs fixés sur une phase stationnaire, la résine, caractérisée par une très faible capacité et une sélectivité importante. La résine se présente comme un amalgame de polymères insolubles formés par l'assemblage de billes sphériques de polystyrène, réticulées dans la fabrication par du divinylbenzène (Fig. 11).

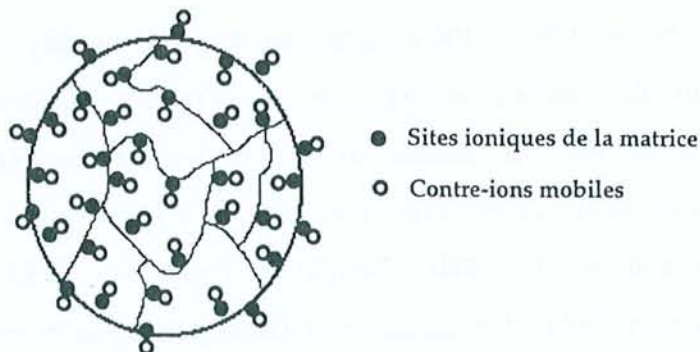


Figure 11 : schéma d'un grain de polystyrène à usage d'échangeur d'ions.



Par ailleurs, la polarité de la résine échangeuse d'ions est définie par le type de traitement des billes du polymère, chimiquement inertes (Fig. 12).

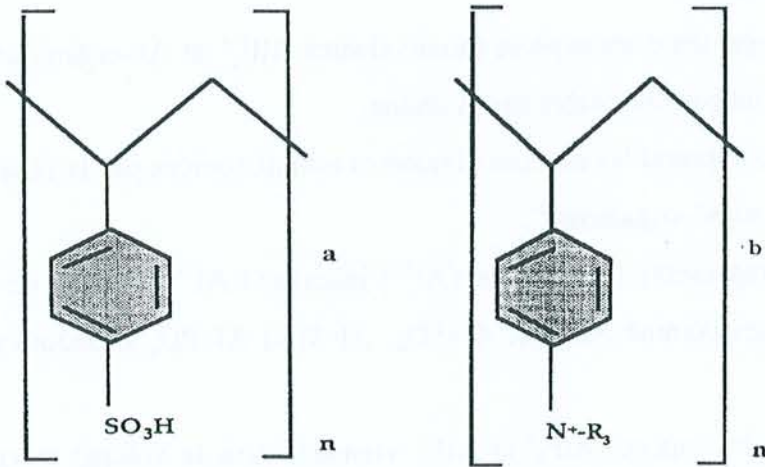


Figure 12 : exemples de résine échangeuse de (a) cations et (b) anions.

La résine échangeuse de cations la plus courante est un sulfonate de polystyrène réticulé (groupe  $\text{SO}_3$ ) formé par le conditionnement des billes par l'acide sulfurique ou sulfochlorique concentré (Fig. 12a). A l'opposé, le polystyrène chlorométhylé est une résine échangeuse d'anions obtenue par le traitement des billes de polystyrène réticulé avec du chlorométhyléther ( $\text{CH}_2\text{Cl}-\text{O}-\text{CH}_3$ ) en milieu anhydre et en présence d'un catalyseur  $\text{AlCl}_3$  ou  $\text{SnCl}_4$ .

L'originalité du système chromatographique par rapport aux résines classiques (paragraphe précédent) est le couplage en ligne du dispositif de séparation sur colonne au système de détection, soit par absorption dans l'UV-Visible après coloration par le violet de pyrocathecol ou le Tiron (Wilett, 1989 ; Bertsh et Anderson, 1989 ; Dean, 1989 ; Whitten *et al.*, 1992), soit par fluorescence après complexation par la 8- hydroxyquinoléine 5-sulfonate (Jones *et al.*, 1988 ; Jones, 1991 ; Jones et Paul, 1992). La détection spectrofluorimétrique, plus sélective et plus sensible, est plus appropriée à la détermination de la spéciation de l'Al dans les eaux à faible teneur en cet élément. La colonne de

séparation peut être précédée par une colonne de garde, et chacune d'elles peut être utilisée seule.

L'utilisation des colonnes de garde avec  $K_2SO_4$  (0,08 M ou 0,1 M ; pH 3) comme éluant permet l'individualisation de 3 pics d'Al dont la séparation pourrait être améliorée en augmentant la longueur de la colonne (Willet, 1989 ; Jones *et al.*, 1991 ; Gibbson et Willet, 1991 ; Whitten, 1992) :

- **1<sup>er</sup> pic** : représente les espèces monovalentes  $AlF_2^+$  et Al-organique<sup>+</sup> le plus souvent stables, qui ne sont pas dissociées par la résine.

- **2<sup>ème</sup> pic** : comprend les espèces divalentes non dissociées par la résine, à savoir  $AlF_2^{2+}$  et les complexes et Al-organique<sup>2+</sup>.

- **3<sup>ème</sup> pic** : représente l'Al ionique ( $Al^{3+}$ ) initial et l' $Al^{3+}$  résultant de la dissociation de certains complexes comme Al-OH, Al-SO<sub>4</sub>, Al-Si et Al-PO<sub>4</sub> (Boudot *et al.*, 1994b dans annexe 10).

Par ailleurs, les espèces  $AlF_3^0$  et  $AlF_4^-$  viennent dans le volume mort et ne sont de ce fait pas comptabilisées. En revanche, les formes polymériques d'Al s'adsorbent fortement sur la résine.

L'utilisation des colonnes de séparation pour la spéciation de l'Al dans les eaux naturelles donne des résultats satisfaisants. On obtient globalement les mêmes pics d'Al que ceux cités ci-dessus, mais  $AlF_3^0$  subit une décomplexation partielle et vient dans le 1<sup>er</sup> pic.

#### **\* Extractions chimiques sélectives de certaines formes d'Al**

Le fractionnement de l'Al par ces procédés utilise la cinétique différentielle de réaction d'un complexant chromophore avec les différentes espèces d'Al. Ces techniques sont susceptibles de donner lieu à des interférences de la part d'autres cations (Fe, Zn, Cu, Mn...). Certaines de ces difficultés analytiques peuvent toutefois être surmontées en optimisant les protocoles analytiques, en particulier en ajoutant aux réactifs des complexants spécifiques capables de piéger efficacement les éléments interférant.

Dans une optique de spéciation de l'Al par de tels procédés chimiques, on cherche toujours le réactif le plus discriminant et sélectif entre les diverses espèces d'Al, et qui donne lieu en même temps au moins d'interférence possible. Bon nombre de réactifs plus ou moins efficaces peuvent être envisagés pour la spéciation de l'Al en solution, et chacun d'eux présente des avantages et des inconvénients. Ces réactifs forment des complexes avec



l'Al qui peuvent être détectés soit par des techniques colorimétriques (oxine, aluminon, ferron, l'acide 8-hydroxy, 5-quinoléine, sulfonique (=HQS), soit par spectrofluorescence (morin, oxine, HQS...). La spectrofluorescence est plus sensible que les techniques colorimétriques mais est assez peu utilisée car elle est sujette à de nombreuses interférences de la part des substances humiques, du Fe, de Zn...etc.

**L'oxine (8-hydroxyquinoléine)** est le réactif le plus utilisé à l'heure actuelle pour la spéciation de l'Al. Le complexe Al-trioxinate formé est insoluble dans l'eau et doit être extrait dans un solvant organique qui peut être le chloroforme (Turner et Sulaiman, 1971 ; Clarke *et al.*, 1992), le toluène (May *et al.*, 1979), l'acétate de butyl (Bloom *et al.*, 1978 ; James *et al.*, 1983) ou le MIBK (méthyl isobutyl cétone) (Barnes, 1975 ; Røyset et Sullivan, 1986). L'acétate de butyl et le MIBK sont les plus recommandés étant donné leur faible solubilité par rapport à l'eau et la rapidité de l'extraction (Barnes, 1975 ; Bloom *et al.*, 1978 ; May *et al.*, 1979 ; Parker *et al.*, 1988 ; Alva *et al.*, 1989). Cette extraction, qui a le mérite de stopper instantanément la réaction entre la 8-hydroxyquinoléine et l'Al de l'échantillon analysé, peut être mise à profit pour obtenir des temps de réaction extrêmement courts et réaliser ainsi la meilleure sélectivité possible vis à vis des différentes espèces d'Al. Les complexes Al-quinoléine sont détectés soit en spectrophotométrie par absorbance de la lumière à 390 nm (Røyset et Sullivan, 1986), soit par spectrométrie d'absorption atomique sans flamme (four graphite 'GFAAS') (Barnes, 1975 ; LaZerte, 1984), soit encore par spectrométrie d'absorption atomique à flamme 'FAAS' (Barnes, 1975). L'oxine n'étant pas spécifique à l'Al, d'autres métaux sont susceptibles d'interférer, ce qui peut être corrigé plus ou moins complètement en ajoutant du chlorhydrate d'hydroxylamine et de la 1,10 orthophénantroline aux réactifs, ou en mesurant l'absorbance à 390 et à 600 nm (pour corriger les interférences dues à Fe notamment) (James *et al.*, 1983 ; Røyset et Sullivan, 1986 ; Wright *et al.*, 1987 ; Van Benschoten et Edzwald, 1990). L'extraction du complexe Al-oxine n'est possible qu'entre pH 4,5 et pH 6,5 d'une part, entre pH 8 et 11,5 d'autre part. Les espèces extraites sont différentes en fonction du pH d'extraction. Une extraction à pH 8,3 permet de déterminer quantitativement, en 15 s, les espèces Al-F et en principe la totalité de l'Al organique monomérique dissout (Barnes, 1975 ; May *et al.*, 1979 ; LaZerte, 1984 ; Røyset et Sullivan, 1986 ; McAvoy *et al.*, 1992). Cependant, les complexes d'Al-citrates, Al-fulvates et Al-humates ainsi que l'Al organique hydrosoluble des litières, ne sont que partiellement extraits pendant ce laps de temps



(Røyset et Sullivan, 1986 ; Lalande et Hendershot, 1986). En outre, à ce pH les interférences dues à Mn sont très importantes (Wright *et al.*, 1987 ; Bloom et Erich, 1989).

Une extraction à pH 5 permet d'obtenir  $\text{Al}^{3+}$  et l'ensemble des monomères hydroxylés et sulfatés [ $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{AlOH}^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3^0$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$  et  $\text{Al-SO}_4$ ] en 15 s, tout en minimisant les interférences dues à Mn (Turner, 1969 ; James *et al.*, 1983 ; Clarke *et al.*, 1992, 1994). Il est possible que de petits polymères soient également extraits lors d'une telle extraction (Parker *et al.*, 1988). Les quelques résultats relevés par la littérature restent incertains en ce qui concerne le comportement des monomères  $\text{Al-PO}_4$  et  $\text{Al-Si}$ . Il semble toutefois qu'ils soient pris en compte en 15 s (Bloom *et al.*, 1978 ; James *et al.*, 1983). Les gros polymères Al ainsi que l'Al colloïdal ne sont extraits ni à pH 5 ni à pH 8,3 (Barnes, 1975 ; Bloom *et al.*, 1978 ; May *et al.*, 1979 ; James *et al.*, 1983 ; Clarke *et al.*, 1992, 1994). Ce type d'extraction exclut la majeure partie des complexes  $\text{Al-F}$  et de l'Al organique. Il n'est toujours pas possible de les obtenir en totalité en allongeant le temps de réaction, même à 3 h (Alva *et al.*, 1989).

Certains dérivés de l'oxine tels le **ferron** (acide 8-hydroxy,7-iodoquinoléine, 5-sulfonique) ou le **HQS** (acide 8-hydroxy, 5-quinoléine, sulfonique) forment des complexes stables avec l'Al, qui absorbent à 370 nm. Leur utilisation dans les études de spéciation de l'Al dans les eaux naturelles est très malaisée du fait des interférences dues aux substances humiques, qui absorbent également à 370 nm, et à certains cations (fer et manganèse) dans le cas du ferron (Driscoll *et al.*, 1980, 1985 ; Johnson *et al.*, 1981 ; Seip *et al.*, 1984). Quelques chercheurs ont pourtant montré qu'à l'opposé des polymères  $\text{Al-OH}$ , la quasitotalité de l'Al monomérique, y compris les complexes  $\text{Al-F}$  et  $\text{Al-org}$ , réagissait rapidement avec le HQS, en moins d'une minute (Tipping et Backes, 1987). En l'absence de matière organique, ceci peut permettre de distinguer l'Al monomérique de l'Al polymérique.

L'**ériochrome cyanine R** (ECR) est un autre réactif qui forme des complexes, peu stables, avec l'Al, lesquels absorbent à 530 – 535 nm (Dougan et Wilson, 1974 ; Adams et Moore, 1983 ; Adams et Hathcock, 1984 ; Røyset et Sullivan, 1986 ; Kerven *et al.*, 1989a). Il n'est toutefois guère utilisable dans une optique de spéciation dans des eaux naturelles.

La spéciation de l'Al par complexation avec l'**aluminon** (sel triammonium de l'acide 5-[(3-carboxy-4-hydroxyphenyl)(3-carboxy-4-oxo-2,5-cyclo-hexadien-1-ylidene) methyl]-2-hydroxy-benzoïque) donne des résultats très grossiers et peu reproductibles en raison de la



faible vitesse de la réaction de colorimétrie. L'Al monomérique n'est que partiellement complexé par cet agent même après 30 mn (Alva *et al.*, 1989). En outre, plus de 80 % de l'Al organique est susceptible de réagir avec l'aluminon en une demi heure, ce qui rend impossible toute distinction entre l'Al monomérique organique et minéral (Kerven *et al.*, 1989a et b).

De même, l'efficacité de l'**éther couronne DB18C6** dans une optique de spéciation de l'Al dans les eaux naturelles est limitée par des interférences d'autres cations complexables qui entrent en compétition avec l'Al pour le DB18C6 et rendent le rendement de la colorimétrie dépendant de la composition de la solution. En outre l'Al organique ne réagit que partiellement avec le DB18C6 (Evans et Zelazny, 1986).

D'autres méthodes et techniques physiques ou physico-chimiques peuvent être envisagées pour la spéciation de l'Al, comme les **méthodes électriques**, l'**électrode sélective au fluor (ESF)**, la **résonance magnétique nucléaire (RMN) de  $^{27}\text{Al}$** .

Le recours aux **méthodes électriques**, telles que l'isotachophorèse (Schmid *et al.*, 1989 ; Clarke, 1994) ou l'électrophorèse capillaire (Wu *et al.*, 1993) dans un objectif de spéciation de l'Al est justifié par la mobilité différentielle des diverses formes ioniques dans un champ électrique. Ces techniques souffrent cependant d'interférences de la part de la matière organique dissoute alors que le champ électrique exercé est susceptible de perturber la spéciation initiale.

L'**ESF** peut être en théorie utilisée pour calculer la spéciation d'Al en solution. La teneur de la solution en F total ainsi que l'activité du F<sup>-</sup> libre étant obtenues après ou avant décomplexation du F, l'activité des différentes espèces d'Al peut être calculée à partir des constantes d'équilibre (Driscoll, 1984 ; LaZerte, 1984 ; Hodges, 1987). La performance de cette méthode dépend à la fois du rapport F/Al, du pH et de la teneur en matière organique de la solution, si bien que cette méthode s'est révélée être difficilement applicable aux eaux naturelles. En effet, la teneur de ces dernières en F est généralement faible et les limites de détection ne sont parfois pas suffisamment bonnes pour rendre compte de l'activité de l'ion F<sup>-</sup> (LaZerte, 1984 ; Hodges, 1987). Une incertitude de 10 % sur l'activité de F<sup>-</sup> dans des solutions naturelles à pH 5,5 engendre une erreur allant jusqu'à 70 % sur le calcul du pool d'Al monomérique inorganique (LaZerte, 1984). Ajoutées à cela, les interférences des autres ions et le mauvais fonctionnement de l'électrode dans certaines solutions, même dans des solutions synthétiques très simples, limitent l'utilisation de l'**ESF** en tant que technique

de spéciation de l'Al (Driscoll, 1984 ; LaZerte, 1984 ; Hodges, 1987 ; Bloom et Erich, 1989 ; Munns *et al.*, 1992 ; Boudot *et al.*, 1994b).

De nombreux auteurs ont utilisé la technique de la RMN de  $^{27}\text{Al}$  pour déterminer les formes polymériques de l'Al, en particulier l' $\text{Al}_{13}$ , le plus souvent dans des solutions expérimentales (Bertsch, 1987 ; Bertsch *et al.*, 1986 a et b ; Parker *et al.*, 1988, 1989 a et b ; Parker et Bertsch, 1992 a et b). Ces auteurs ont clairement montré que l' $\text{Al}_{13}$  se formait *in vitro* dans des conditions particulières, difficilement réunies dans les milieux naturels, lors d'une neutralisation partielle par une base forte d'une solution acide souvent concentrée en Al (Al total  $> 10^{-5}$  mol. L $^{-1}$ ). En outre ce polymère une fois formé est métastable et se transforme **gibbsite** (Bertsch *et al.*, 1986 a et b ; Bertsch, 1987 ; Parker et Bertsch, 1992b). Quoiqu'il en soit, la spéciation de l'Al par la RMN de  $^{27}\text{Al}$  n'est pas adaptée aux eaux naturelles (solutions du sol, eaux de surface) dont les teneurs en Al sont souvent largement inférieures aux limites de détection de cette technique en l'état actuel (Parker et Bertsch, 1992 a et b).

Pour obtenir une spéciation complète, les techniques analytiques de compartimentage de l'Al doivent être complétées par des calculs d'équilibre chimique. Les modèles les plus utilisés sont ALCHEMI (Schecher et Driscoll, 1988, 1995) pourtant trop peu complet, EQUIL (Fritz, 1975), MINEQL (Westall *et al.*, 1976) et MINEQL $^{+}$  (Schecher et McAvoy, 1992, 1994), MINTEQA $_2$  (Allison et Brown, 1995), GEOCHEM (Sposito et Mattigod, 1980) et SOILCHEM (Sposito et Caves, 1988). MINEQL $^{+}$  est incontestablement le plus convivial d'entre eux, tant en ce qui concerne l'utilisation de données de terrain déjà archivées dans un tableau que la mise à jour de la base de donnée thermodynamique utilisée.

#### **$\beta$ – Protocole et validation de la procédure de spéciation adoptée (Boudot *et al.*, 1994b)**

La spéciation de l'Al est réalisée sur des solutions du sol (gravitaires et non gravitaires) et sur des eaux de sources filtrées à  $0,45\ \mu\text{m}$ , et dont la composition chimique totale a été déterminée au préalable. La procédure de spéciation de l'Al comprend deux principales étapes, un fractionnement analytique de l'Al et un calcul des différentes espèces dans chaque compartiment analytique.



## β.1 – Compartimentage analytique de l'Al

– L'Al monomérique inorganique, à l'exclusion des complexes Al-F, est obtenu par une extraction flash (5 s) à la 8-hydroxyquinoléine à pH 5 (= Al-8OHQ). Cette méthode permet d'obtenir l'Al<sup>3+</sup>, les complexes Al-SO<sub>4</sub>, les monomères Al-OH, Al-Si, Al-Cl, Al-PO<sub>4</sub>. L'Al-F est totalement exclu et l'extraction des complexes organiques est minime [Boudot *et al.*, 1994b (Annexe 8)]. Les différentes étapes de cette extraction sont les suivantes (pour plus de détails voir Boudot *et al.*, 1994b ; Maitat *et al.*, 1998) :

Dans un tube de culture de 16 ml en polyéthylène on ajoute

- 500 µl d'eau ultra-pure,
- 200 µl d'une solution molaire d'acétate de sodium contenant 10 g. L<sup>-1</sup> de 1,10-orthophenanthroline et 35 g. L<sup>-1</sup> de chlorhydrate d'hydroxylamine,
- 200 µl d'une solution de 8-OH-quinoléine à 1 %, obtenue en dissolvant 2 g de la 8-OH-quinoléine dans 4 ml d'acide acétique glacial, puis en ajustant à 200 ml avec de l'eau déminéralisée,
- 5 ml de l'échantillon à doser, injecté vigoureusement par une pipette à piston de telle sorte à créer des turbulences assurant un mélange parfait entre l'échantillon et les réactifs précédents.

Le pH du mélange final est alors égal à 5.

Exactement 5 s après l'ajout de l'échantillon, on injecte vigoureusement 4,5 ml de methyl-isobutyl ketone (MIBK) par une pipette à piston, et on termine l'extraction de l'Al-quinolate en secouant violemment le tube jusqu'à 15 s comptées à partir du moment de l'ajout de l'échantillon.

A la fin de l'extraction deux phases non miscibles se séparent dans le tube de culture.

L'absorbance de la phase MIBK, qui contient l'Al-quinolate (Al-8OHQ) est déterminée à 390 nm et à 600 nm. Certains éléments chimiques peuvent théoriquement créer des interférences à des seuils très bas. Bon nombre d'entre elles sont supprimées grâce à la présence de la 1, 10 orthophenanthroline et du chlorhydrate d'hydroxylamine. L'interférence du fer et celle de la matière organique soluble dans le MIBK sont corrigées en soustrayant l'absorbance à 600 nm de l'absorbance à 390 nm (James *et al.*, 1983). Sn, Se, As, Sb, Y, Cd, Co, Cu, Pb, Zn, ne créent pas d'interférence au seuil de 500 mg.L<sup>-1</sup>, Mn au seuil de 100 mg. L<sup>-1</sup>. Ag fait interférence au delà de 250 ppb, Mo au delà de 100

ppb, Ni au delà de 50 ppb, V au delà de 8 ppb et Ti au delà de 7 ppb. Les teneurs de ces éléments dans les solutions doivent donc être connues avant d'appliquer ce protocole, qui reste néanmoins applicable à la plupart des eaux naturelles.

Certaines précautions sont nécessaires pour obtenir des résultats satisfaisants :

\* Les solutions étalons et les échantillons à analyser doivent être exactement à la même température. Une différence de 1°C se voit sur la courbe étalon.

\* Chaque échantillon fait l'objet de 3 répétitions. Avec l'expérience, l'incertitude reste voisine de  $\pm 5\%$ . La limite de dosabilité est de  $0,70 \mu\text{mol. L}^{-1}$  d'Al extrait (D.O. = 0.0040 à 20 °C).

\* La courbe étalon est refaite chaque fois que l'on renouvelle les réactifs. Elle est recalée à chaque série d'analyse à la température du jour.

La courbe étalon est une polynomiale de second degré et peut être utilisée dans les conditions précédentes jusqu'à  $9 \text{ mg. L}^{-1}$  d'Al extrait. Elle peut néanmoins (et sans inconvénient) être assimilée à une droite dans l'intervalle  $0 - 1500 \mu\text{g Al. L}^{-1}$  extrait. Toute D.O.  $> 1,4$  doit être rejetée (réactifs proches de la saturation). Pour des teneurs en Al extrait très importantes ( $\geq 10 \text{ mg. L}^{-1}$ ), il est nécessaire de diminuer la prise d'essai de l'échantillon, qui peut descendre à 0,5 ml. Une nouvelle courbe étalon est alors nécessaire en utilisant ce même volume de 0,5 ml pour le blanc et les étalons.

- **L'Al monomérique total, inorganique et organique**, est obtenu par chromatographie ionique (Al-IC) à l'aide d'une colonne CS 3. Le dispositif de spéciation est illustré par la figure 13.



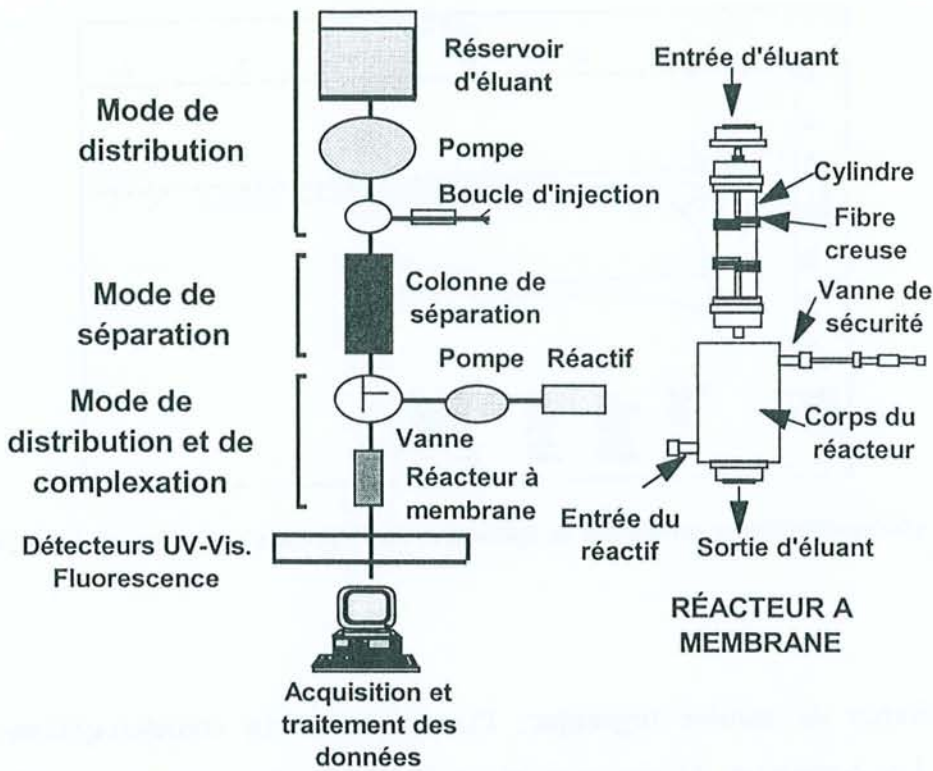


Figure 13 : schéma simplifié du dispositif chromatographique utilisé lors de la spéciation de l'Al.

L'éluant est une solution de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  0,4 ou 0,7 M à pH 3 et le réactif de complexation et de détection est le Tiron à pH 6,3. Une réorganisation artificielle des espèces Al se produit durant le trajet chromatographique et chaque pic ne peut pas être interprété dans une optique de spéciation. Par contre les polymères et l'Al colloïdal ne sortant pas sur le chromatogramme, la somme de tous les pics obtenus représente l'ensemble des espèces monomériques. Dans des conditions d'analyse bien définies, le chromatogramme d'une solution synthétique d'Al et de F est composé d'une succession de 3 pics apparaissant à des temps de rétention de 2,24, 2,55, 4,55 mn, qui correspondent respectivement aux espèces  $\text{AlF}_2^+$ ,  $\text{AlF}^{2+}$  et  $\text{Al}^{3+}$  (Fig. 14) (Anderson et Bertsch, 1988 ; Bertsch et Anderson, 1989). Cette méthode a été validée suite à une série d'expériences sur des solutions synthétiques mixtes d'Al et de divers ligands organiques et inorganiques [OH, Cl, F,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{Si}(\text{OH})_4$ , citrate, oxalate, acides fulviques purifiés...] et en se calant sur la spéciation obtenue à l'aide des constantes d'équilibre (programme MINEQL<sup>+</sup>).

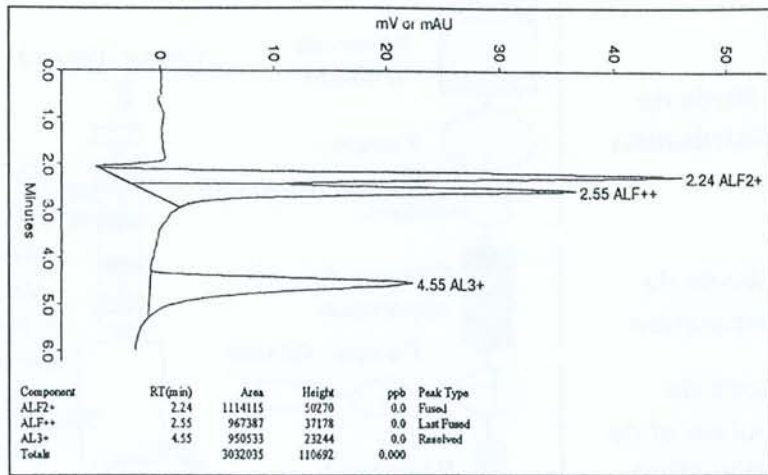


Figure 14 : chromatogramme présentant la spéciation de l'Al dans une solution synthétique simple d'Al et de F.

En présence de matière organique, l'interprétation du chromatogramme est plus complexe. Les complexes Al-org peuvent co-éluer avec les complexes Al-F de même charge, et les deux premiers pics peuvent devenir peu distincts ou leur allure s'empâter (Fig. 15), sans doute à cause de la diversité et du caractère polyaromatique des molécules organiques complexant l'Al.

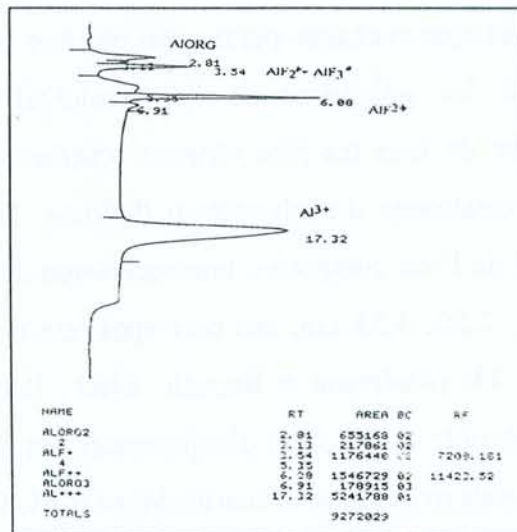


Figure. 15 : chromatogramme présentant la spéciation de l'Al dans une solution naturelle récoltée à la base d'un horizon organique de podzol.



En fin de compte, l'Al-8OHQ représente l'Al monomérique inorganique à l'exception des complexes Al-F, la différence entre Al-CI et l'Al-8OHQ la somme [Al-F + Al-org] et la différence entre l'Al total et l'Al-CI représente l'Al colloïdal et polymérique. La spéciation du compartiment Al-8OHQ ainsi que la proportion relative des complexes Al-F et Al-org est ensuite effectuée par calcul d'équilibre à l'aide du programme MINEQL+.

### β.2 – Calcul des espèces d'Al dans chaque compartiment analytique

Le programme informatique de calcul d'équilibre MINEQL<sup>+</sup> V 3. 01 (Schecher et McAvoy, 1992, 1994) a été utilisé pour calculer les espèces présentes dans les compartiments Al-8OHQ et Al-F + Al-org. La base de données de ce programme a été préalablement mise à jour par l'adjonction de nouvelles espèces et en révisant les constantes d'équilibre initiales (Tableau 5). La spéciation est calculée à 20°C et tient compte de l'effet de la force ionique. Les éléments doivent être entrés en concentrations molaires. Pour que ceci soit possible pour le carbone organique, les concentrations en C sont converties en moles d'acide fulvique en appliquant le modèle triprotique de Driscoll *et al.* (1994) et en considérant que la densité des sites complexants, déterminée par des titrations potentiométriques, est de 1,08 cmol<sub>c</sub>. g<sup>-1</sup> C (valeur moyenne, les extrêmes étant 0,82 et 1,35 cmol<sub>c</sub>. g<sup>-1</sup> C).

**Calcul des espèces extraites à la 8-hydroxyquinoléine :** L'Al-8OHQ est entré dans le modèle en tant qu'Al total. De façon à respecter l'influence de la force ionique sur la spéciation, la concentration totale de tous les autres éléments est entrée dans le programme. Les espèces non extraites par la 8-OHQ (Al-F, Al-org, Al polymérique et colloïdal) ne sont toutefois pas autorisées à se former (Boudot *et al.*, 1994b (annexe 10)).

**Calcul de l'Al organique et des complexes Al-F :** Étant donné les très fortes interférences qui affectent la détermination du F libre par l'électrode spécifique au F dans les eaux naturelles, les complexes Al-F ne peuvent pas être calculés à partir de F libre. Il est toutefois possible de les estimer en tenant compte du fait que l'Al a une bien plus grande affinité pour le fluor que pour n'importe quel autre ligand, et que les constantes d'équilibre des complexes Al-F sont très fiables (comme le montre l'excellente adéquation entre l'Al-8OHQ et la spéciation calculée dans des solutions synthétiques simples (Boudot *et al.*, 1994b (annexe 10)).

Lorsque la spéciation de l'aluminium est déterminée par calcul d'équilibre, la plus grande incertitude vient à l'évidence des constantes d'équilibre utilisées pour le système Al-org-H<sup>+</sup>. L'Al ayant à pH très acide nettement moins d'affinité pour la matière organique que pour le fluor, l'incertitude des constantes Al-org n'affectera alors guère le calcul des complexes Al-F. Cette incertitude s'amplifie à mesure que le pH augmente et que l'affinité de la matière organique pour l'Al augmente. Dans les faits, l'incertitude faite sur le calcul des complexes Al-F est négligeable dans le cas des solutions de sols acides (podzol, sol brun acide), mais se situe entre 0 et 20 % dans le cas d'eaux de rivières acides ou neutres (pH 4,5 - 6) (Boudot *et al.*, 1994b (Annexe 8)).

Une fois les complexes Al-F ainsi estimés, l'Al organique est égal à la différence de Al-CI et Al-8OHQ, diminuée de Al-F.

## IV - DÉTERMINATION DE LA TOXICITÉ DE L'ALUMINIUM

### 1 - Méthodes usuelles

La détermination de la toxicité de l'Al vis-à-vis des organismes vivants peut se faire par deux approches complémentaires. La 1<sup>ère</sup> consiste à déterminer la toxicité directement sur l'animal ou le végétal en question. Il s'agit d'établir la réponse des organismes vivants à des concentrations croissantes de diverses espèces d'Al (et non d'Al total). Plusieurs techniques sont utilisées pour doser directement l'Al ou certaines espèces d'Al, dans les tissus biologiques : **RMN de l'<sup>27</sup>Al** (Tadahiro *et al.*, 1991), **microscopie photonique et électronique** (MEB et MET) combinées à des **techniques de microanalyse X ou de coloration spécifique d'Al** (Galsomies *et al.*, 1992), **analyse par activation neutronique...**

La plupart des études basées sur ces méthodes ont été effectuées au laboratoire en solutions de culture (végétaux) ou en aquarium (poissons). Les résultats acquis par ces méthodes sont ensuite transposés aux eaux naturelles dès lors que l'on connaît leur composition chimique, et si possible, la spéciation de l'aluminium. Il devient alors possible de construire **un indice de toxicité** adapté à un type d'organisme donné. Plusieurs indices



de toxicité aluminique plus ou moins fiables ont été proposés par le passé, notamment pour les végétaux :

- **Le rapport Ca/Al**

C'est le premier indice de toxicité proposé, qui tient compte aussi bien de l'Al total en solution que du Ca (Hüttermann et Ulrich, 1984 ; Asp *et al.*, 1988 ; Wolfe et Joslin, 1989). La fiabilité de ce rapport est faible dans la mesure où il néglige l'effet améliorant du Mg, qui peut être aussi important que celui du Ca, et peut surestimer la toxicité de l'Al car il n'exclut pas les espèces non toxiques.

- **CAB (Calcium Aluminium Balance)**

C'est un indice qui a été élaboré uniquement avec le soja, particulièrement sensible à l'Al (Noble *et al.*, 1988b ; Noble et Sumner, 1988).

$$\text{CAB} = [2\text{Log}\{\text{Ca}^{2+}\}] - [3\text{Log}\{\text{Al}^{3+}\} + 2\text{Log}\{\text{Al}(\text{OH})^{2+}\} + \text{Log}\{\text{Al}(\text{OH})_2^+\}]$$

Cet indice a l'avantage d'utiliser l'activité (notée {}), en mole/l) des éléments à la place de leur concentration, ce qui est justifié par le fait que la toxicité de l'Al en solution est d'avantage déterminée par l'activité chimique des espèces sous lesquelles il est présent que par sa concentration, et de ne prendre en compte que les espèces toxiques de l'Al, pondérées en fonction de leur toxicité propre. Il n'envisage par contre ni l'effet bénéfique des autres cations (Mg, Na, K), ni l'effet toxique des autres monomères ( $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ,  $\text{AlSO}_4^+$ ...).

- **ATI (Aluminium Toxicity Index)**

C'est une transformation du CAB proposée par Grauer et Horst (1991) qui fait apparaître le carré de la valence des différentes espèces toxiques et bénéfiques comme coefficient reflétant l'intensité de leur effet propre :

$$\text{ATI} = -\text{Log} [4\{\text{Ca}^{2+}\} / (9\{\text{Al}^{3+}\} + 4\{\text{Al}(\text{OH})^{2+}\} + \{\text{Al}(\text{OH})_2^+\})]$$

Malgré ces modifications, cet indice souffre des mêmes limitations que le précédent.

Il est donc souhaitable de mettre au point un indice de toxicité Al adapté à chaque organisme qui prenne réellement en compte tous les paramètres contrôlant la toxicité de l'Al, c'est à dire :

- (i) l'ensemble des espèces identifiées comme étant toxiques vis-à-vis de l'organisme en question,
- (ii) l'activité des diverses espèces (toxiques et bénéfiques) plutôt que leur concentration,
- (iii) les effets bénéfiques des cations compensateurs de la toxicité Al ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  et dans une moindre mesure  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  chez les végétaux, Ca chez les poissons),
- (iv) l'intensité des effets toxiques et améliorants lorsque cela est possible, en attribuant à chaque espèce un coefficient fondé sur sa charge.

C'est ce que nous proposons de faire dans cette étude.

## 2 – Méthode de détermination de la toxicité aluminique adoptée

### a – Proposition d'un Indice de Toxicité Aluminique (ITA)

Tenant compte des recommandations énumérées ci-dessus, nous proposons les deux expressions suivantes comme Indice de Toxicité de Al monomérique (ITA), l'une pour les végétaux (valable pour les espèces forestières des deux bassins versants, notamment l'épicéa, le sapin et le hêtre), l'autre pour la truite fario, espèce indigène des cours d'eau des Vosges :

$$\text{ITA}_{\text{plantes}} = \frac{[9\{\text{Al}^{3+}\} + 4\{\text{AlOH}^{2+}\} + \{\text{Al}(\text{OH})_2^+\} + \{\text{AlSO}_4^+\} + \{\text{Al}(\text{OH})_4^-\}]}{[4\{\text{Ca}^{2+}\} + 4\{\text{Mg}^{2+}\} + 0,02\{\text{K}^+\} + 0,02\{\text{Na}^+\}]}$$

$$\text{ITA}_{\text{truite}} = \frac{[\{\text{Al}^{3+}\} + \{\text{AlOH}^{2+}\} + \{\text{Al}(\text{OH})_2^+\} + \{\text{Al}(\text{OH})_4^-\} + \{\text{AlSO}_4^+\} + 0,5\{\text{AlF}^{2+}\}]}{1/6\{\text{Ca}^{2+}\}}$$

Dans les deux cas, une toxicité Al a lieu quand la valeur de ITA est  $> 1$ .



Tableau 7 : espèces d'Al toxiques pour les plantes et les poissons.

Espèces	Toxicité pour les plantes	Toxicité pour les poissons
$Al^{3+}$	+	+
$AlOH^{2+}$	+	+
$Al(OH)_2^+$	+	+
$Al(OH)_3^{\circ}$	-	-
$Al(OH)_4^-$	+ (indirecte)	+
$AlSO_4^+$	+	+ ?
$Al(SO_4)_2^-$	-	- ?
$AlF^{2+}$	-	+
$AlF_2^+$	-	-
$AlF_3^{\circ}$	-	-
$AlF_4^-$	-	-
$AlF_5^{2-}$	-	-
$AlF_6^{3-}$	-	-
$AlPO_4^{\circ}$	-	- ?
$AlHPO_4^+$	-	- ?
$AlH_2PO_4^{2+}$	-	- ?
$Al_2PO_4^{3+}$	-	- ?
$Al_2(OH)_2PO_4^+$	-	- ?
$AlFulvate^+$	-	-
$AlOHFulvate^{\circ}$	-	-
$AlHPO_4Fulvate^-$	-	-
$Al_{13}$	+	- ?
Autres polymères	-	- ?
$Al(OH)_3$ , $Al-PO_4$ et $Al-Si$ colloïdaux "amorphes" préformés	-	-

En outre, les seuils d'apparition de carences calciques et magnésiennes sont reportés dans le tableau 8 aussi bien chez les peuplements piscicoles que forestiers.

Tableau 8 : seuils d'apparition des carences en Ca et en Mg chez quelques espèces végétales (Ulrich *et al.*, 1984 ; Zöttl et Hüttl, 1986 ; Hecht-Buchholz *et al.*, 1987) et piscicoles (Chester, 1984 ; Howell *et al.*, 1992).

	Carence en $Ca^{2+}$	Carence en $Mg^{2+}$
<b>Végétaux</b>		
épicéa	$Ca^{2+}/H^+ < 0,1$	[Mg] < 0,02 mM
hêtre	$Ca^{2+}/H^+ < 1$	
<b>Poissons</b> truite fario	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>Ca^{2+}/H^+ &lt; 2</math> (eaux acides) et</li> <li>[Ca] &lt; 1,5 mg. L<sup>-1</sup></li> </ul>	

### *b - Évaluation de la toxicité aluminique*

L'évaluation de la toxicité de l'Al dans les sols et les rivières des deux bassins versants étudiés se fera à partir de l'analyse de la composition des eaux [eaux gravitaires et eaux de rétention (= capillaires = liées) des sols, eaux de surface]. Dans chaque cas on utilisera les données précédemment acquises sur la spéciation de l'Al. On admettra que les eaux gravitaires sont représentatives de l'eau utilisée en période de pluie par les plantes et que les eaux capillaires sont celles utilisées lorsque le sol est ressuyé.



# *PARTIE 4*



## RÉSULTATS

## Chapitre 1 : Caractéristiques physico-chimiques des sols

### I - GRANULOMÉTRIE

Le sol brun acide a une texture sablo-limoneuse constante et renferme une quantité significative d'argiles dès la surface voisine de 10%. Le podzol s'en différencie par une texture plus sableuse et par l'absence quasi totale d'argiles dans les horizons éluviaux de surface. Les horizons spodiques contiennent en revanche plus d'argiles (argiles granulométriques = oxyhydroxydes de Fe et Al et silicoaluminates paracrystallins) (annexe 6).

### II - COMPLEXE ADSORBANT

#### 1 - Acidité libre et d'échange

Les deux sols présentent un caractère acide prononcé qui est plus marqué dans le podzol que dans le sol brun acide (annexe 6). L'acidité libre (pH H<sub>2</sub>O), essentiellement organique dans le podzol, et l'acidité d'échange (= 3Al<sup>3+</sup> + H<sup>+</sup> échangeables) sont globalement plus importantes dans le podzol que dans le sol brun acide (Fig. 16 et annexe 6). Les cations échangeables à caractère acide, Al<sup>3+</sup> et H<sup>+</sup> dominent largement la CEC, et l'acidité d'échange due à Al est très généralement plus importante que celle due à H<sup>+</sup> (sauf dans l'horizon A<sub>0</sub> du podzol).



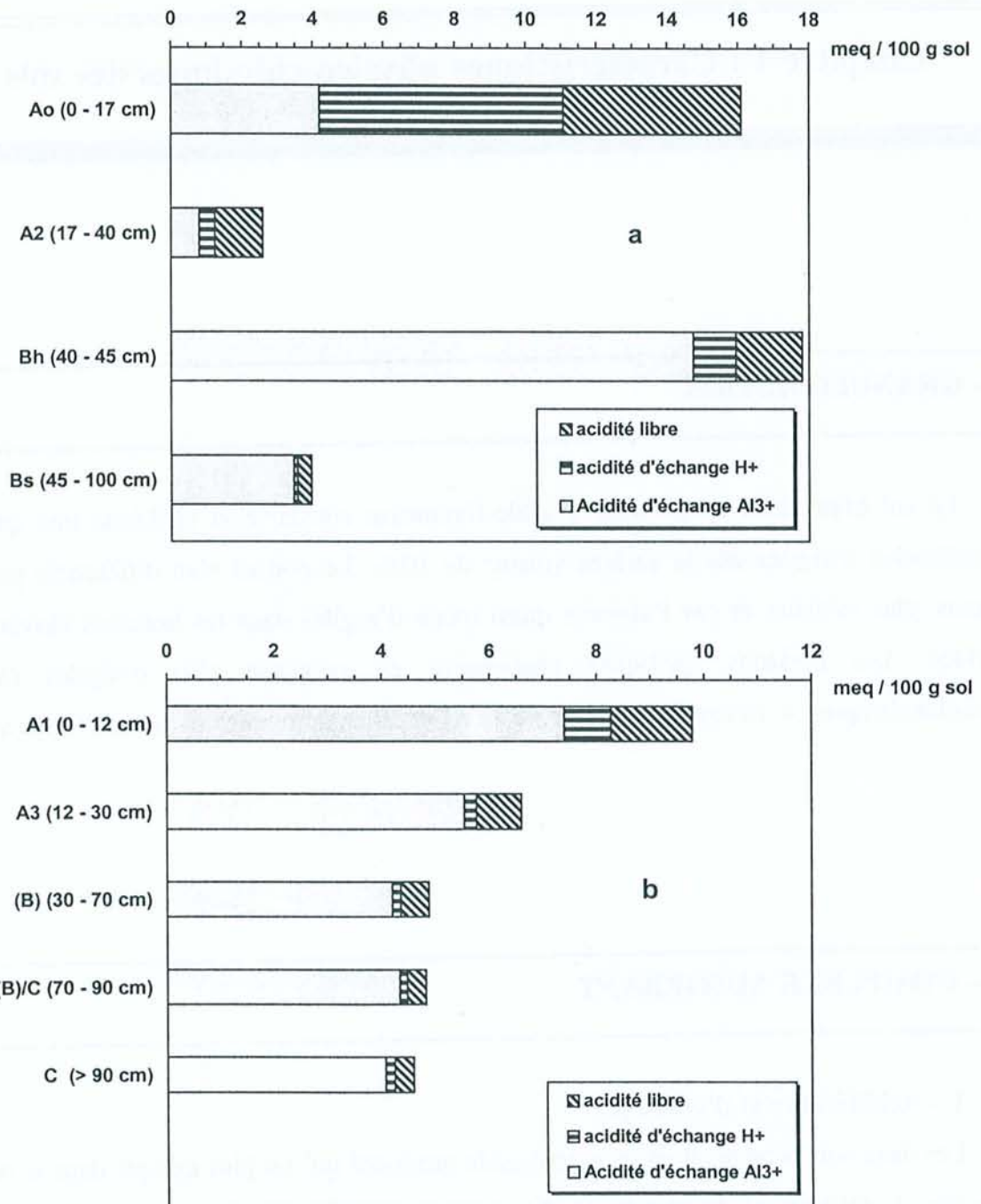


Figure 16 : acidités libre et d'échange dans les 2 sols étudiés (a = podzol ; b = sol brun acide).

## 2 – Capacité d'échange cationique CEC

Par définition, la CEC est la quantité maximale de cations que peut adsorber un sol. Elle représente l'ensemble des charges électro-négatives existant principalement à la périphérie des colloïdes minéraux (argiles) et organiques (molécules humiques)

(Duchaufour, 1968). La méthode d'évaluation de la CEC d'Orsini et Rémy (1979) est la mieux adaptée à nos sols acides (Freycon, 1993), étant donné la stabilité des cobaltiamines en milieu acide. De plus, l'extraction par le chlorure de cobaltihexamine des cations adsorbés sur les sites d'échange se fait au pH du sol (annexe 3) ce qui confère une signification biologique acceptable aux résultats obtenus. Les résultats (annexe 6) montrent que les deux sols étudiés sont très pauvres en cations basiques, et qu'au contraire, la majorité des sites d'échange est occupée par des cations à caractère acide, principalement  $Al^{3+}$  et  $H^+$ , qui peuvent dès lors subir des redistributions dans les profils.

### III - LES ÉLÉMENTS "LIBRES"

L'aluminium, le fer et la silice jouent un rôle déterminant dans la pédogenèse. Les formes dites "libres" de ces éléments, issues de l'altération des minéraux primaires et engagés au sein des minéraux secondaires cristallisés ou non, témoignent généralement des principaux processus de la pédogenèse en milieu acide.

Dans le podzol, les méthodes de fractionnement et d'extractions sélectives utilisées [notamment le tampon oxalate de Tamm (ox) (Schwertmann, 1964) et le tampon citrate-bicarbonate-dithionite de sodium (C.B.D.) (Mehra et Jackson, 1960)] révèlent une redistribution d'Al, de Fe et de Si en profondeur (annexe 6 et figures 17a, 18a). Le fer et l'aluminium existent sous forme d'oxyhydroxydes et d'hydroxydes dans les horizons spodiques, à en juger par leurs teneurs élevées en  $Fe_{C.B.D.}$  et en  $Al_{C.B.D.}$ . Dans l'horizon Bs, les teneurs en Al et en Si extraits au tampon oxalate sont en outre plus importantes que celles extraites au C.B.D., ce qui témoigne de la présence de silicoaluminates paracristallins en quantité non négligeable dans cet horizon ; ceci n'est pas le cas dans le Bh.



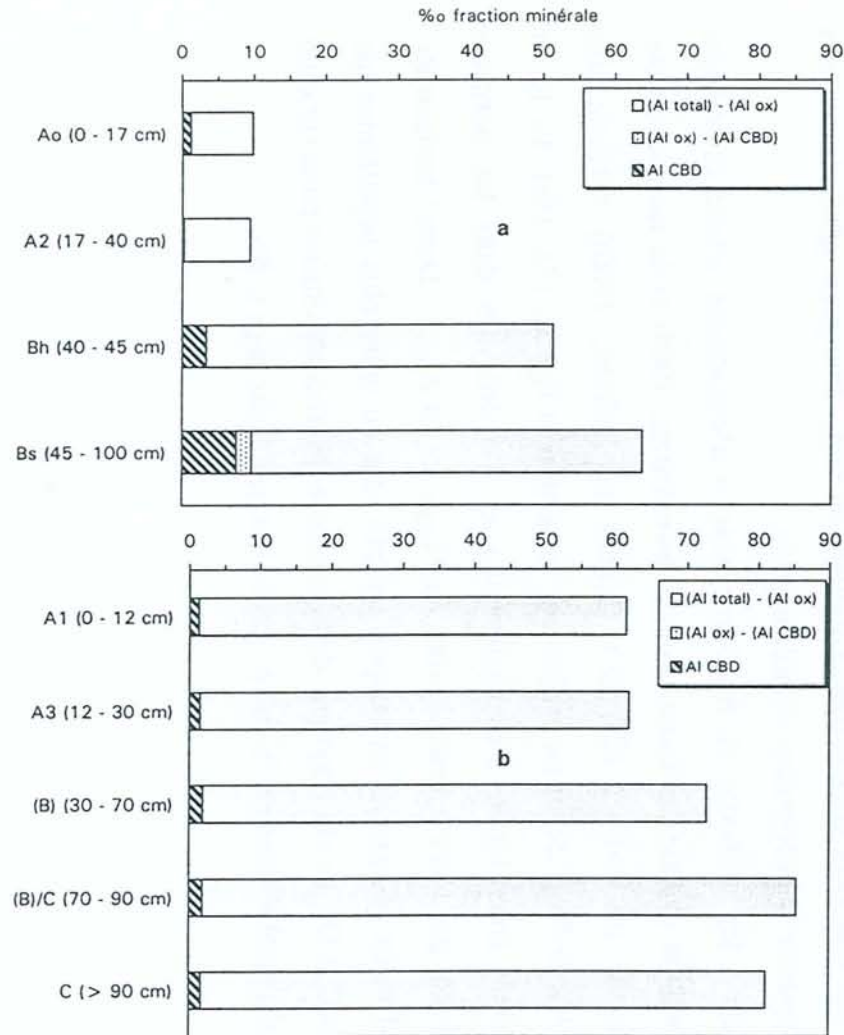


Figure 17 : formes de l'Al dans le podzol (a) et le sol brun acide (b) [Al CBD = Al amorphe ; (Al ox) - (Al CBD) = Al des silicoaluminates paracristallins (Al total) - (Al ox) = Al engagé dans les réseaux cristallins des minéraux].

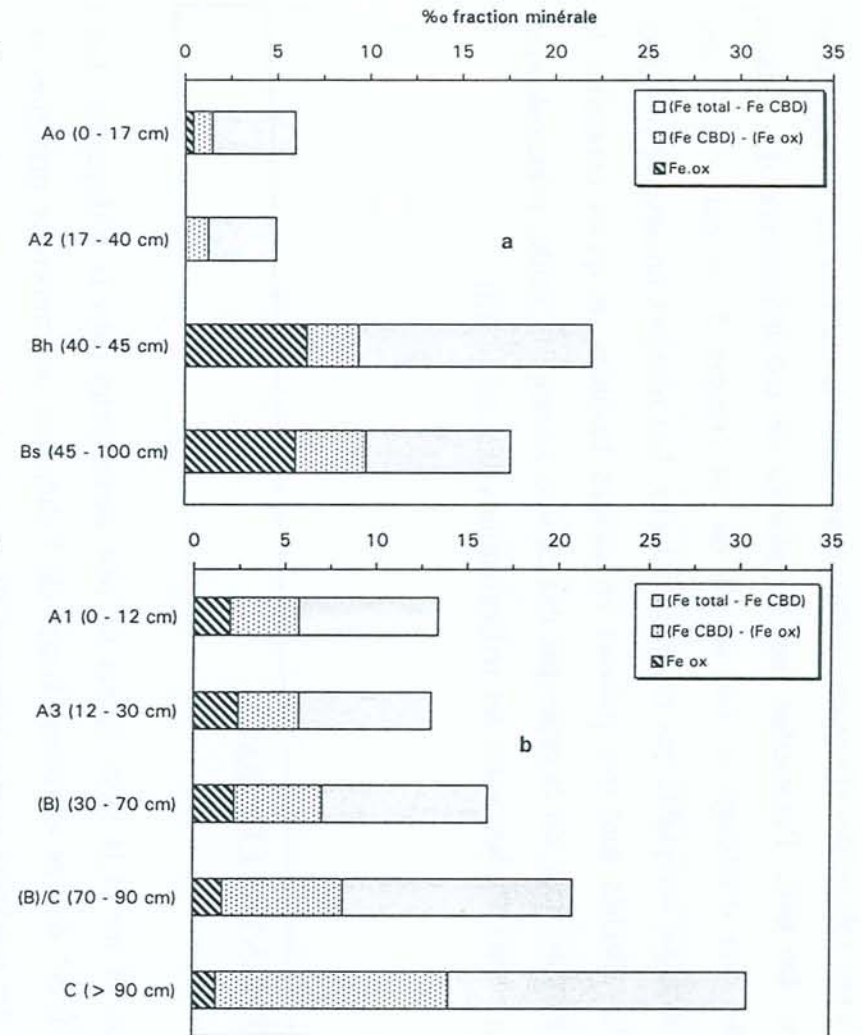


Figure 18 : formes "libres" du Fe dans le podzol (a) et le sol brun acide (b) [Fe ox = Fe amorphe ( $\approx$  organique) ; (Fe CBD) - (Fe ox) = Fe oxyde cristallisé ; (Fe total) - Fe CBD) = Fe engagé dans les réseaux cristallins des minéraux].

Dans le sol brun acide on note une faible redistribution d'Al des horizons A aux horizons (B) (Fig. 17b). Les teneurs en  $Fe_{C,B,D}$  augmentent fortement en profondeur et notamment dans l'horizon C (Fig. 18b), ce qui traduit plus l'hétérogénéité de la roche mère qu'un processus de redistribution du fer (qui serait également visible sur le fer oxalate). La  $Si_{\text{oxalate}}$  reste partout en quantité négligeable, ce qui montre l'absence de silicoaluminates paracrystallins en quantités significatives (annexe 6).

#### IV – Fraction organique du sol

Dans le podzol, l'acidité des litières, la faible teneur de la roche mère en minéraux altérables, et les facteurs climatiques tendent à réduire l'activité biologique, ce qui favorise la formation d'un humus de type mor très organique [C = 14 % du sol (annexe 6)] à C/N très élevé (= 28).

En revanche, le sol brun acide, du fait de sa roche mère plus riche en minéraux altérables, bénéficie d'une activité biologique plus importante. L'humus est moins organique et présente une structure plus grumeleuse. Le rapport C/N est moins élevé (< 19) et est caractéristique des mull acides.

La matière organique joue un rôle non négligeable dans le fonctionnement pédogénétique des sols par sa contribution aux processus d'altération des minéraux ( $H^+$  des acides organiques) et de transport des métaux (formation de complexes organominéraux plus ou moins mobiles).

#### V – Analyse des argiles du sol brun acide

L'étude diffractométrique de la fraction minérale  $< 2 \mu m$ , effectuée sur des préparations orientées débarrassées de leurs revêtements d'oxyhydroxydes et saturées Mg, montre que (Planche I) :

① L'illite (pic à 10 Å), héritée de la transformation de la muscovite de la roche mère, est abondante dans l'horizon C puis diminue dans les horizons atteints par la pédogenèse.

② Un massif renfermant un pic à 12 et à 14 Å, absent dans l'horizon C, apparaît dans les horizons atteints par la pédogenèse. Il n'y a pas apparition d'un pic à 17 Å après traitement à l'éthylène glycol et donc pas de smectites en quantités significatives. On note toutefois une ébauche d'épaulement dans les horizons  $A_1$ , (B) et (B)/C, sur le massif 14 Å, signe de la présence de traces de smectites non alumineuses. Le massif à 14 Å est donc



essentiellement attribuable à des vermiculites et à des interstratifiés illite-vermiculite (pic à 12 Å), dont l'apparition est liée à la pédogenèse (perte du K interfoliaire des illites).

③ Le massif à 12 – 14 Å disparaît au profit d'un massif à 10 – 11 Å par saturation K à 20°C. Ce massif à 10 – 11 Å se réduit à un pic étroit et symétrique à 10 Å par chauffage, dès 110°C. Cette totale régénération des illites à 110°C par saturation K montre que les vermiculites ne sont pas alumineuses.

④ Le pic à 14 Å disparaît également à saturation Mg par chauffage à 330°C au profit d'un massif à 10 – 12,8 Å. Un tel resserrement, même partiel, des feuillets à 330°C montre également que les vermiculites ne sont pas alumineuses.

⑤ Un pic à 7 Å est observé jusqu'à 330°C puis disparaît totalement à 550°C ; il est donc attribuable à la kaolinite. Si l'on se réfère à l'épaule de la chlorite à 4,72 Å, ce pic de kaolinite paraît plus important dans les horizons A et (B) que dans l'horizon C. Une néoformation de la kaolinite lors de la pédogenèse n'est donc pas exclue.

⑥ Un faible pic à 14 Å subsiste à 550°C et est donc attribuable à des chlorites, présentes en traces dans toute l'épaisseur de profil.

Planche I : diagrammes de rayons X de la fraction < 2  $\mu\text{m}$  du sol brun acide à 20°C [1 : saturation Mg ; 2 : éthylène glycol ; 3 : saturation au K].

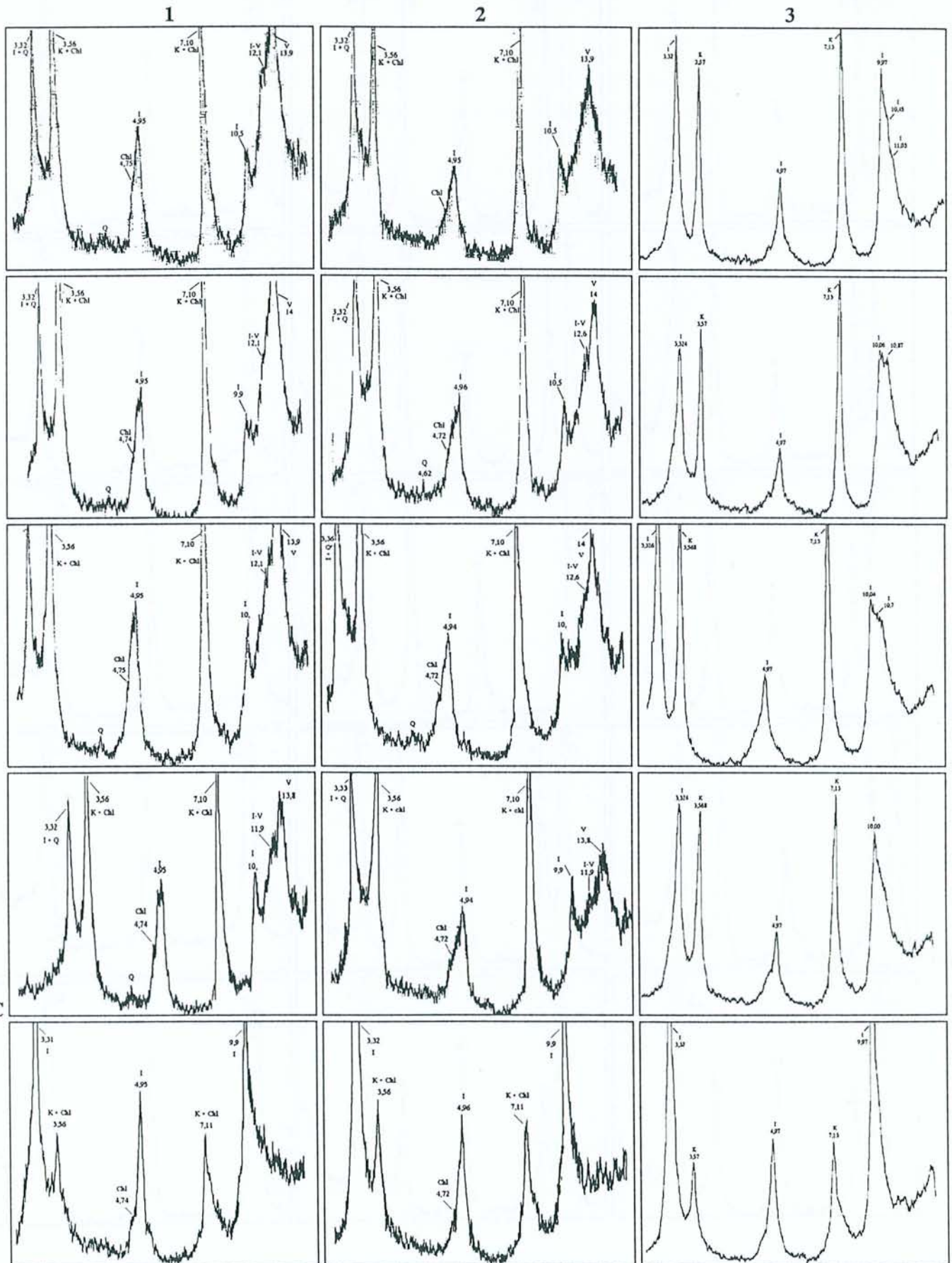




Planche I (suite) : (4 : K - 110°C ; 5 : K - 330 °C ; 6 : K - 550°C).

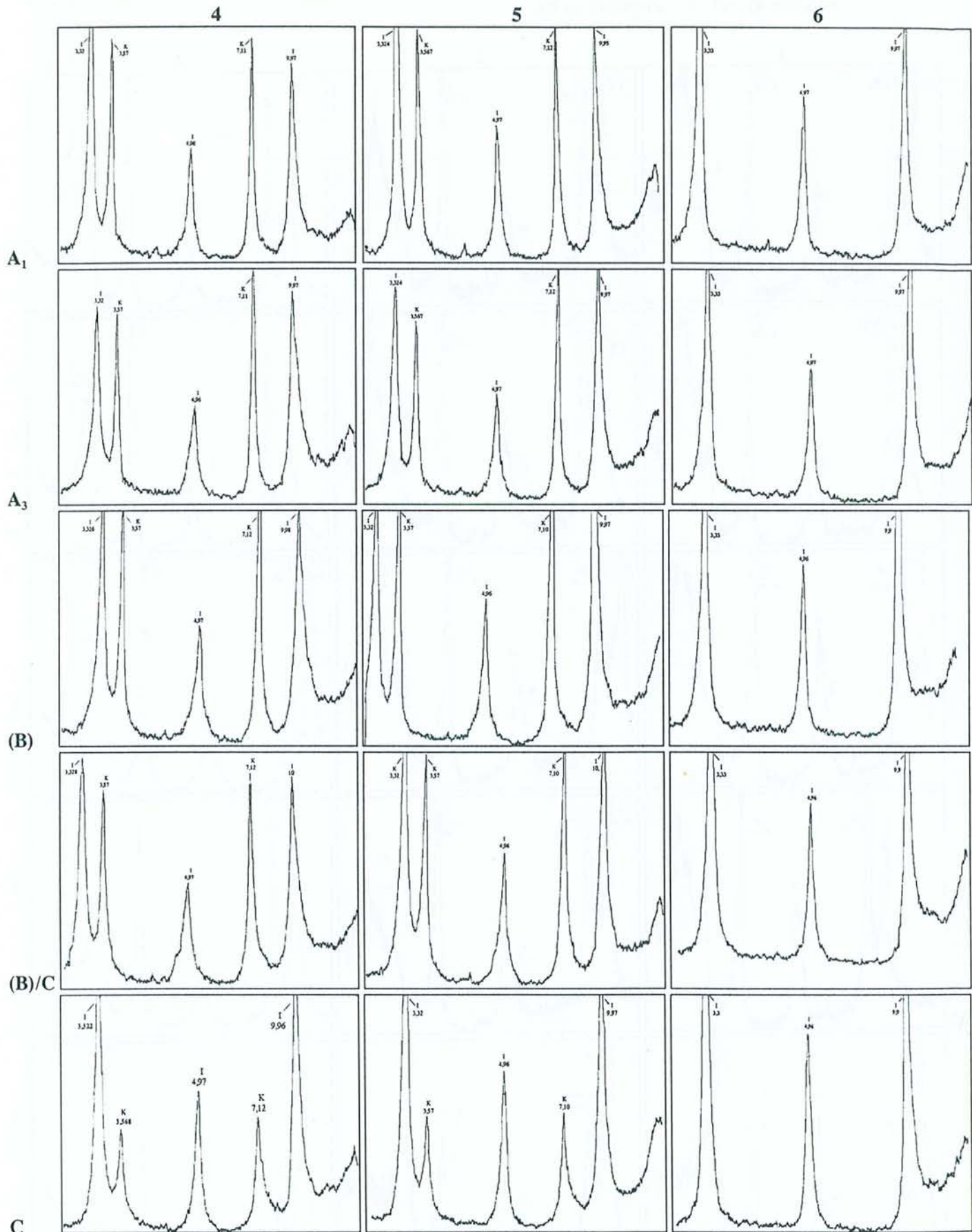
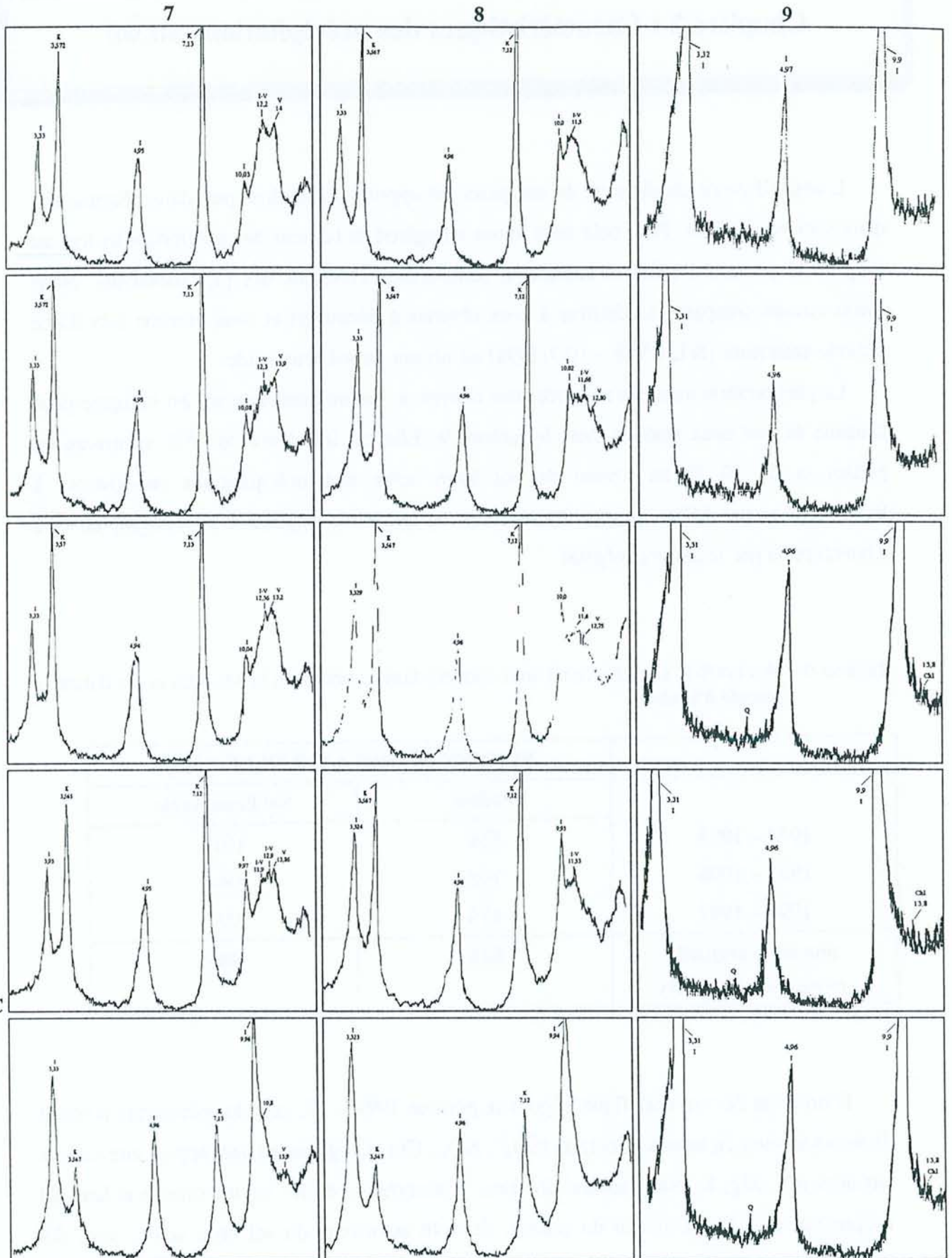


Planche I (suite) : (7 : Mg - 110°C ; 8 : Mg - 330 °C ; 9 : Mg - 550°C).





## Chapitre 2 : Caractéristiques des précipitations au sol

L'objectif de ce chapitre est de comparer les apports atmosphériques dans chacune des deux stations étudiées. Pour cela nous avons enregistré la hauteur des précipitations tout au long de la période d'étude et analysé la composition chimique des pluviollessivats. Nous avons ensuite comparé ces chiffres à ceux obtenus à découvert et sous couvert lors d'une période antérieure (6/12/1988 – 10/7/1991) au niveau du sol brun acide.

La pluviométrie annuelle mesurée sous couvert à 1 m au dessus du sol est indiquée pour chacune de nos deux stations dans le tableau 9. Elle est inférieure de 25% au niveau du podzol et de 10 % au niveau du sol brun acide aux précipitations enregistrées à Brouvelieures par Météo France (tableau 3), ce qui est à imputer à la topographie et à l'interception par le couvert végétal.

Tableau 9 : pluviométrie annuelle (mm) sous couvert dans le podzol et le sol brun acide durant la période d'étude.

	<b>PLUVIOMÉTRIE ANNUELLE (mm)</b>	
	<b>Podzol</b>	<b>Sol Brun Acide</b>
<b>1994 – 1995</b>	834	1018
<b>1995 – 1996</b>	798	944
<b>1996 – 1997</b>	878	997
<b>moyenne annuelle</b> (février 94 – février 97)	<b>836</b>	<b>986</b>

D'un point de vue analytique et pour la période 1994 – 97, ces pluviollessivats révèlent de fortes teneurs en anions minéraux ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ) et organiques par rapport aux cations basiques (Ca, Mg, K, Na) (tableau 10). Leur concentration en  $\text{H}^+$  est importante et leur pH moyen est de 4,17 au niveau du podzol, de 4,46 au niveau du sol brun acide, avec des minima de l'ordre de 3,2 – 3,3.

Tableau 10 : concentrations moyennes sur 3 ans en cations et anions dans les pluviollessivats recueillis dans les deux stations étudiées (1994 - 1997). Comparaison avec la composition des pluies à découvert et des pluviollessivats au niveau du sol brun acide pour la période 6/12/1988 - 10/7/1991

	Al	Ca	Cl	Fe	F	K	Mg	Mn	Na	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub>	Si	SO <sub>4</sub>	C org	pH	H <sup>+</sup>
	mg / l															μg / l
<i>Podzol</i>																
1994	0,06	1,28	2,04	0,02	0,14	3,32	0,34	0,09	0,72	4,14	0,16	0,23	4,48	13,7	4,23	59,28
1995	0,02	0,73	1,87	0	0,12	3,21	0,27	0,07	0,68	2,26	0	0,26	3,46	12,7	4,02	95,15
1996	0,03	1,39	1,61	0,01	0,21	2,46	0,45	0,13	0,7	4,62	0	0,16	4,50	12	4,25	55,65
<b>Moyenne (1994-96)</b>	<b>0,04</b>	<b>1,14</b>	<b>1,84</b>	<b>0,01</b>	<b>0,16</b>	<b>3</b>	<b>0,35</b>	<b>0,1</b>	<b>0,7</b>	<b>3,67</b>	<b>0,05</b>	<b>0,22</b>	<b>4,15</b>	<b>12,8</b>	<b>4,17</b>	<b>70,03</b>
<i>Sol brun acide</i>																
1994	0,06	1,32	1,43	0,02	0,12	3,2	0,2	0,52	0,53	5,29	0,18	0,33	3,98	10,2	4,47	33,72
1995	0,03	0,64	1,71	0,01	0,21	4,48	0,15	0,32	0,53	2,88	0,16	0,23	3,33	29,5	4,16	69,78
1996	0,02	1,01	1,24	0,01	0,23	3,53	0,19	0,59	0,61	4,68	0	0,15	4,09	23,9	4,77	50,19
<b>Moyenne (1994-96)</b>	<b>0,04</b>	<b>0,99</b>	<b>1,46</b>	<b>0,01</b>	<b>0,19</b>	<b>3,73</b>	<b>0,18</b>	<b>0,48</b>	<b>0,56</b>	<b>4,29</b>	<b>0,11</b>	<b>0,24</b>	<b>3,8</b>	<b>21,2</b>	<b>4,46</b>	<b>51,23</b>
<i>Sol brun acide 6/12/88-10/7/91</i>																
Pluies à découvert	0,05	0,96	1,80	0,03	0,1	0,65	0,19	0,20	0,67	2,28	0,28	0,14	3,35	2,42	4,6	25,28
pluviollessivats	0,15	2,42	3,64	0,02	0,12	2,70	0,44	0,94	1,25	8,53	0,16	0,24	9,67	9,91	3,98	104,9

Les apports d'origine atmosphérique (SO<sub>4</sub>, Cl, F, Na) sont à peu près du même ordre de grandeur dans les deux stations, même si les apports en chlorures sont significativement plus importants au niveau du podzol (Fig. 19). La plus forte concentration en SO<sub>4</sub> et Cl observée dans les pluviollessivats par rapport aux pluies (période 1988 - 91) est habituelle et est attribuée à l'interception des polluants atmosphériques par le couvert végétal ; ceci n'est qu'à peine perceptible pour F, dont les concentrations à découvert et sous couvert sont presque identiques.

Les apports de nitrates par les pluviollessivats sont toutefois un peu plus élevés dans le sol brun acide que dans le podzol (Fig. 19), ce qui peut être mis au compte du caractère nitrifiant de ce sol : une faible récrétion par les feuilles peut s'ajouter aux apports atmosphériques au niveau de ce sol, alors que les apports atmosphériques sont exclusifs au niveau du podzol, où la nitrification est nulle.



Par rapport à la période 1988 - 91, on note une nette diminution des apports en Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$  et  $\text{H}^+$  au niveau du sol brun acide, ce qui peut être mis au compte de la diminution générale des émissions atmosphériques notées en Europe ces dernières années.

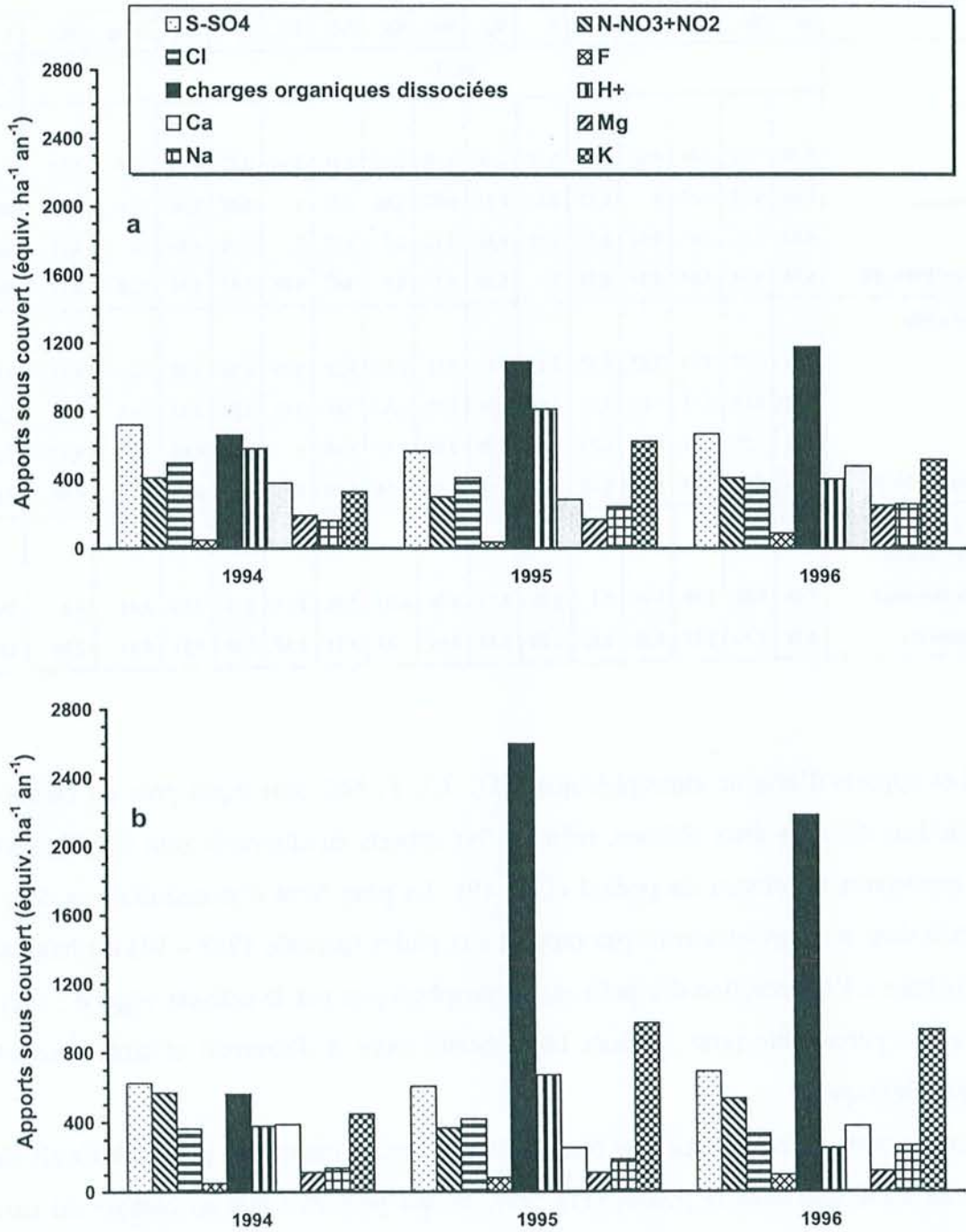


Figure 19 : moyennes annuelles des apports par les pluiolessivats dans les 2 stations étudiées situées dans (a) = podzol ; (b) = sol brun acide.

## **Chapitre 3 : Paramètres chimiques des solutions gravitaires des sols et des eaux de surface : analyse des processus de transfert**

Les résultats concernant la chimie des eaux (pluiolessivats, solutions du sol et sources) seront tout d'abord analysés à l'échelle saisonnière afin de mettre en évidence l'influence éventuelle des cycles saisonniers sur les transferts d'éléments dans le bassin versant, puis à l'échelle annuelle afin de saisir quelles sont localement les différences et les analogies entre la chimie des pluiolessivats, des eaux gravitaires des sols et des sources, et enfin en continu afin de comparer la spéciation et les processus de mobilisation et de redistribution de l'Al au sein du sol et du sol aux eaux de surface.

### **I – BASSIN VERSANT PODZOLIQUE**

#### **A – Évolution saisonnière des eaux**

##### **1 – Pluiolessivats**

Les concentrations en Al et  $\text{SO}_4$  des pluiolessivats restent assez constantes tout au long de l'année et ne montrent pas de variations saisonnières nettement identifiables (planche II).

Les concentrations en  $\text{H}^+$ , C org, Mg, Ca, Si et  $\text{NO}_3$  présentent de plus amples fluctuations mais celles-ci ne paraissent pas être liées à la saison. Ceci est confirmé par l'analyse statistique qui ne montre aucune variation saisonnière significative des concentrations de la plupart de ces éléments (planche III).



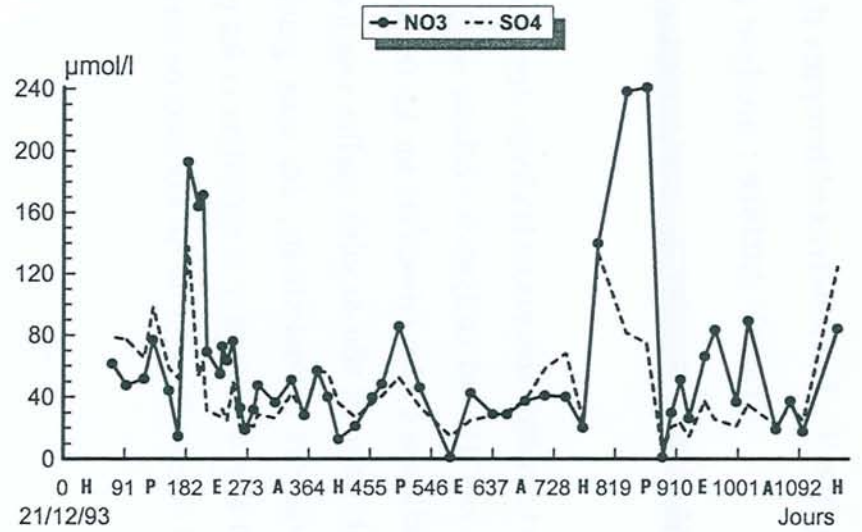
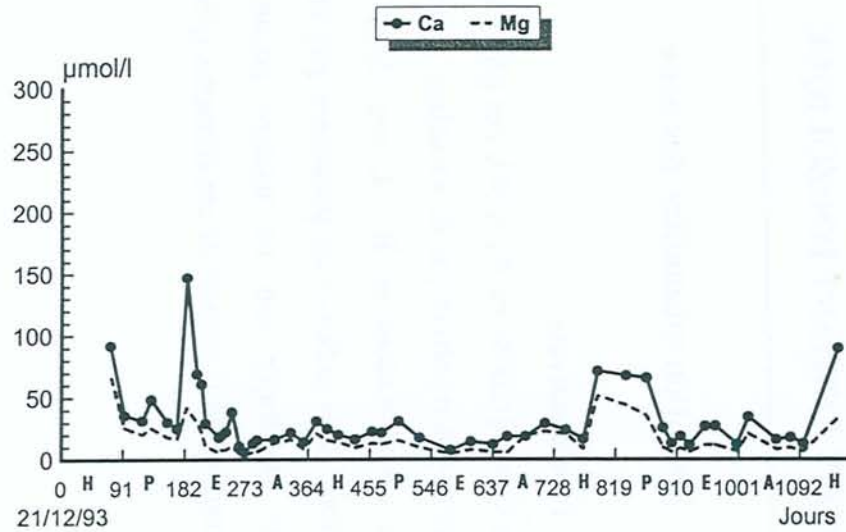
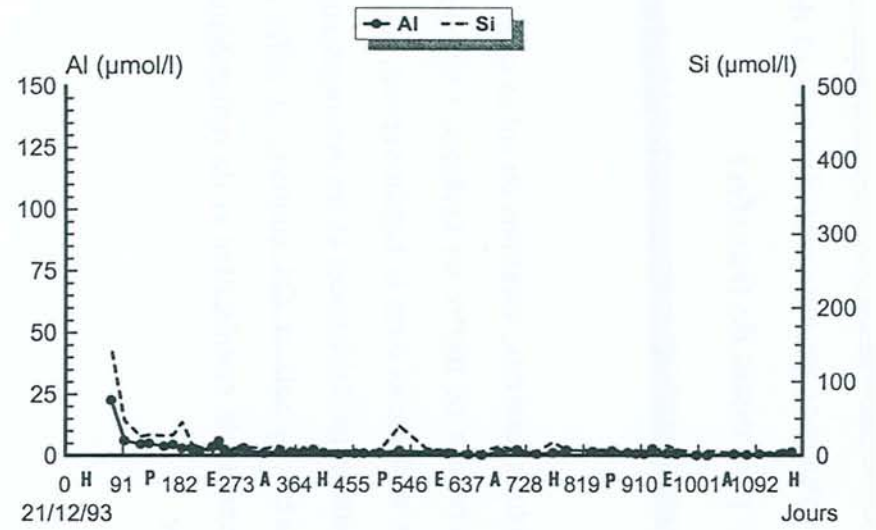
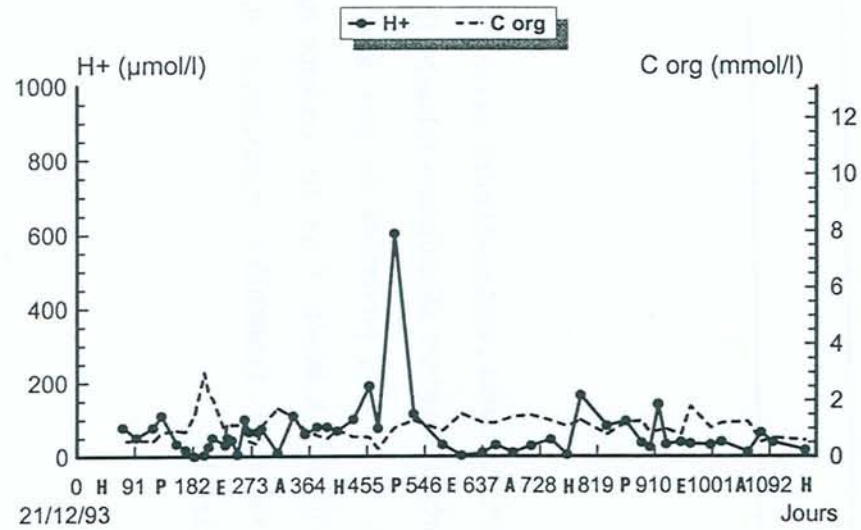


Planche II : teneurs des principaux éléments chimiques mesurées en continu (de février 94 à février 97) dans les pluviollessivats dans la station du podzol.

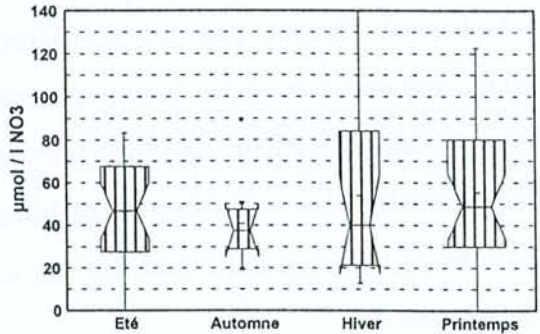
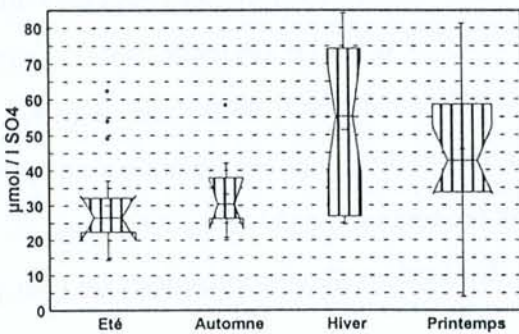
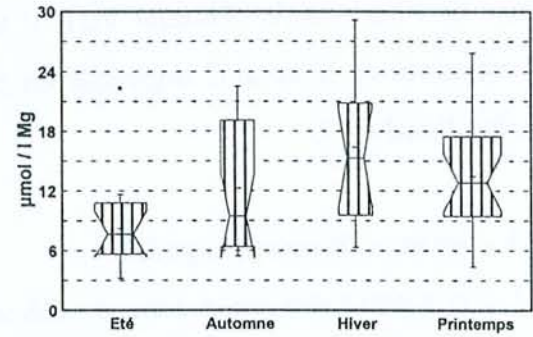
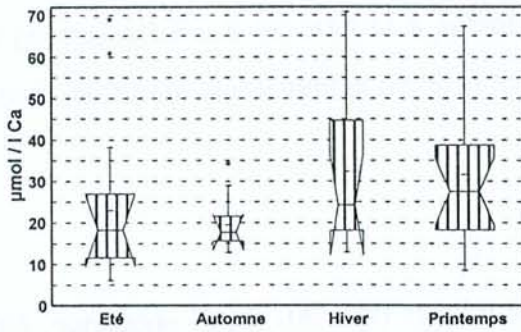
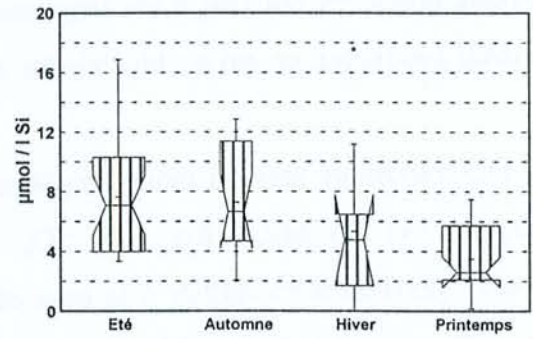
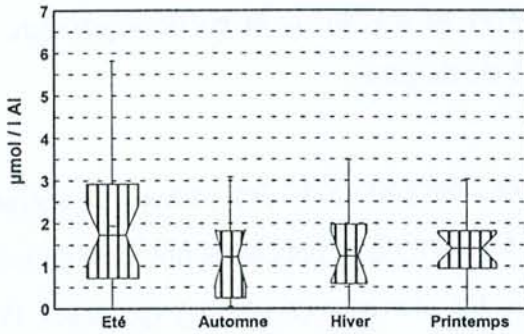
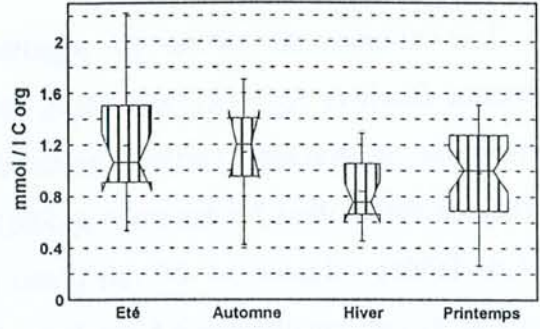
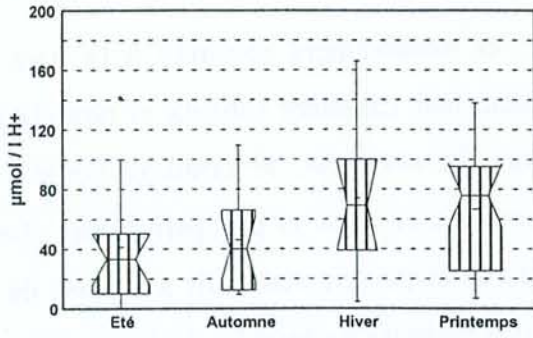


Planche III : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques dans les pluviocessivats dans la station du podzol (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le t de Student au seuil de 95 %).



## 2 – Solutions du sol

Les solutions du sol ont été régulièrement et massivement récoltées à la base des horizons éluviaux  $A_0$  et  $A_2$  du podzol, étant donné leur caractère sableux et non cimenté permettant un drainage vertical rapide de l'eau. En revanche, le drainage vertical est fortement freiné dans les horizons spodiques, cimentés en alios et peu perméables. De ce fait de faibles volumes ( $< 60$  ml) d'eau gravitaire ont pu être recueillis à la base de cet horizon, et ceci uniquement à 5 reprises, durant des périodes prolongées de fortes pluies ou de fonte de neige. La plus grande partie des eaux gravitaires circulant dans les horizons éluviaux donne en fait lieu à un écoulement latéral au niveau de la partie supérieure des horizons spodiques, ce qui est bien visible en période de pluie.

Des variations plus ou moins importantes des concentrations des principaux éléments chimiques (Al, Ca, Mg, C org,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{H}^+$  et Si) sont observées au cours du temps dans les eaux gravitaires recueillies à la base des horizons éluviaux ( $A_0$  et  $A_2$ ) (planches IV et VI). Ces variations ne semblent pas être soumises à un rythme saisonnier et aucune différence significative des concentrations entre les saisons ne peut être mise en évidence à la base de l'horizon  $A_2$  (Planche VII). Il en est de même à la base de  $A_0$ , à l'exception des concentrations en Si et en C organique un peu plus forte en automne que durant le reste de l'année (Planche V).

## 3 – Sources drainant le podzol

Les concentrations des principaux éléments chimiques ( $\text{H}^+$ , Al, Si, C organique,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{SO}_4$ , Ca, Mg) restent, pour la plupart d'entre eux, sensiblement du même ordre de grandeur, toute l'année dans l'une des sources (Planche VIII), et varient au cours de l'année dans l'autre en relation avec les alternances de crue et d'étiage (Planche X). L'analyse statistique montre que seules les concentrations médianes de  $\text{NO}_3$  dans cette dernière en période d'étiage semblent significativement différentes de celles enregistrées en saison estivale (Planche XII). C'est également le cas pour les teneurs en Al et en  $\text{NO}_3$  dans la 1<sup>ère</sup> de ces sources (Planche IX). Dans tous les cas les différences de concentrations ne sont pas très importantes.

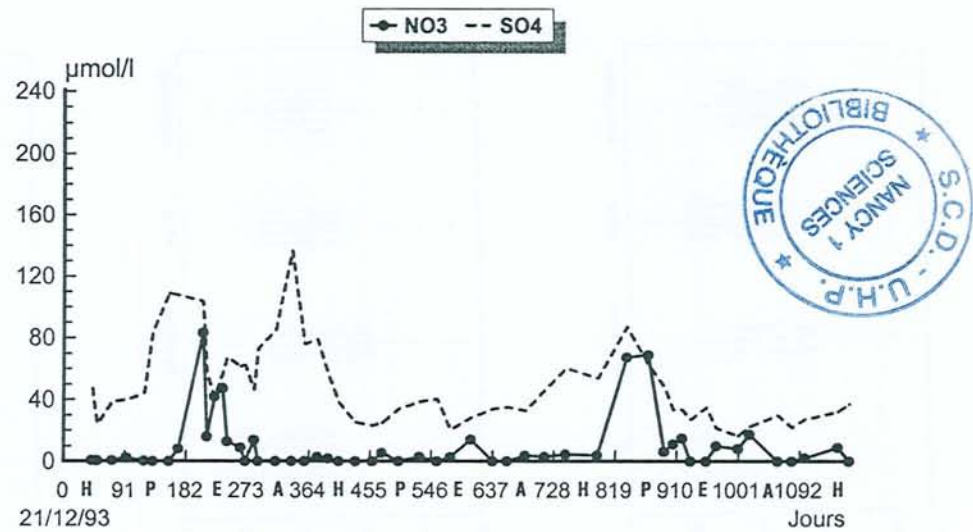
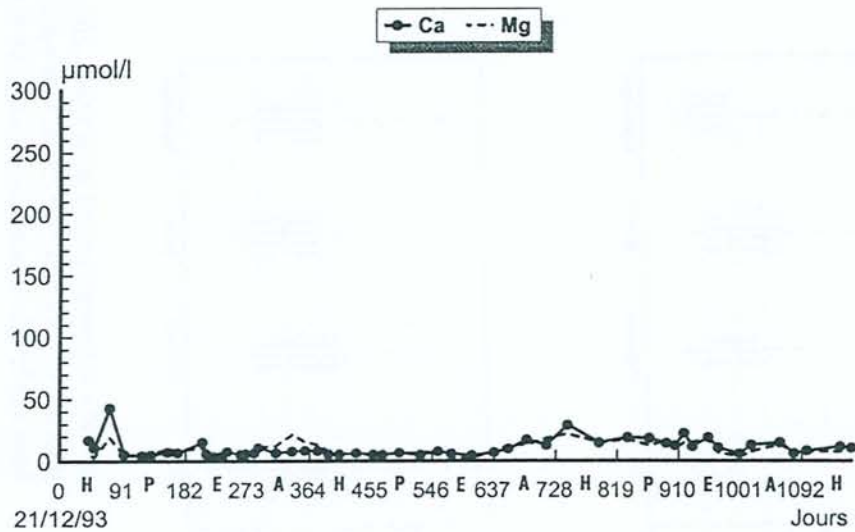
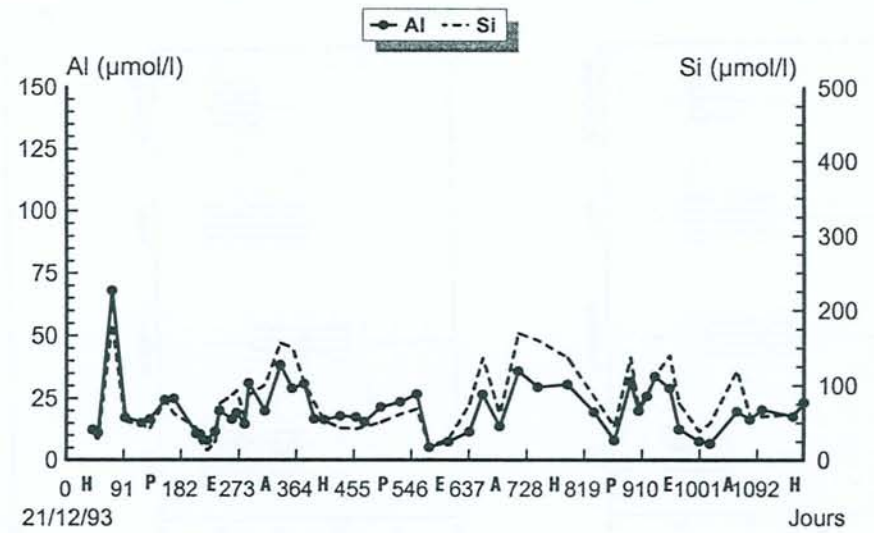
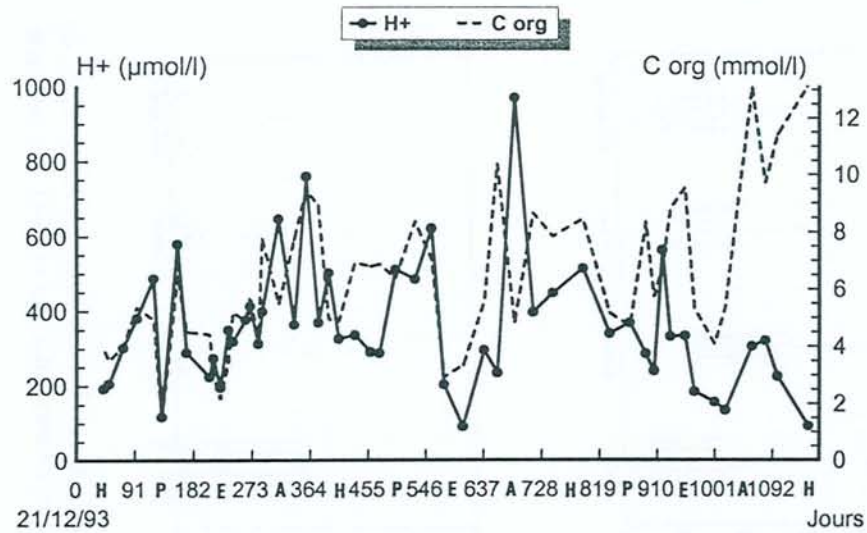


Planche IV : concentrations des principaux éléments chimiques mesurées en continu (de février 94 à février 97) dans les solutions du sol recueillies à la base de l'horizon A<sub>0</sub> du podzol.



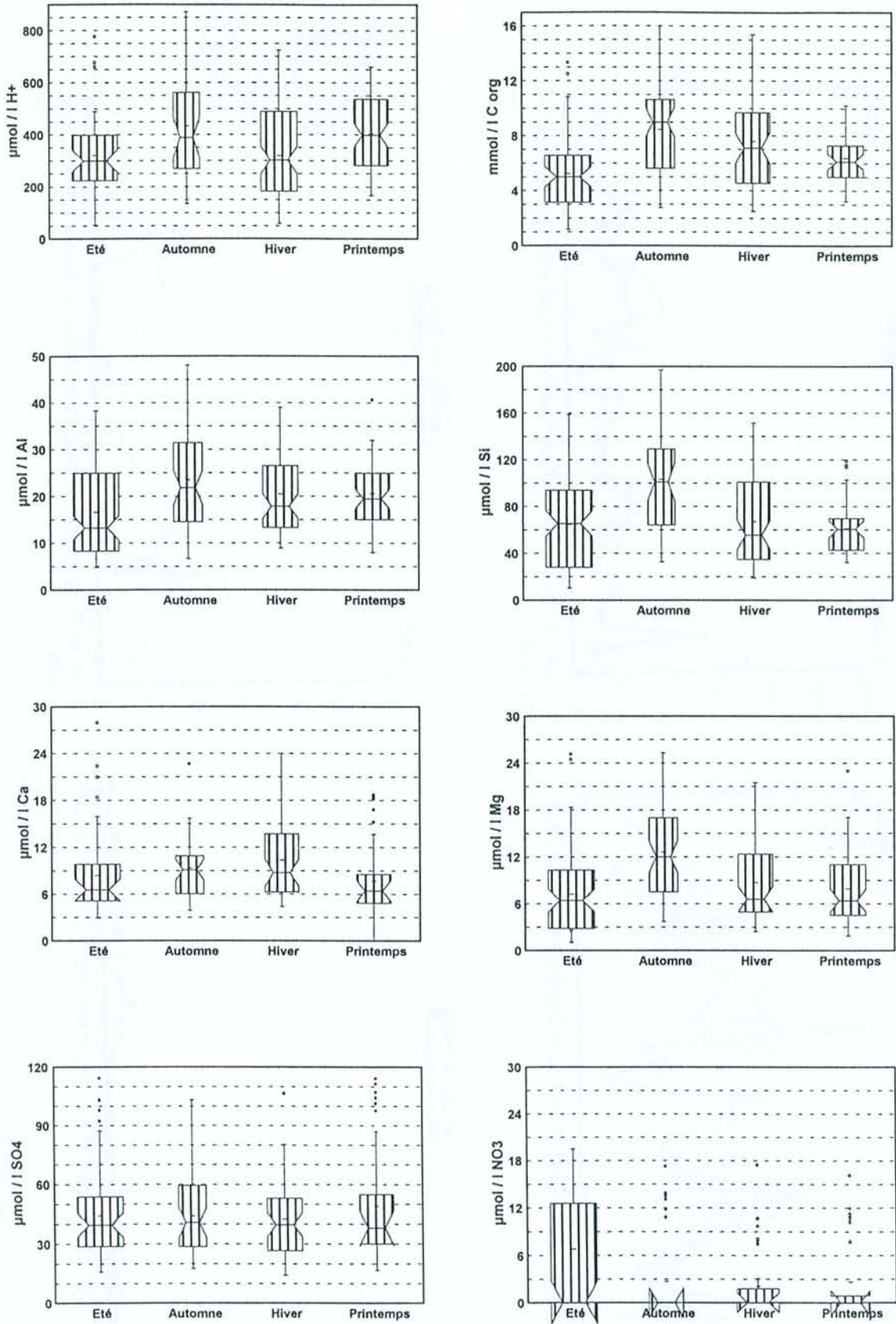


Planche V : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques des solutions de l'horizon A<sub>0</sub> du podzol (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le *t* de Student au seuil de 95 %).

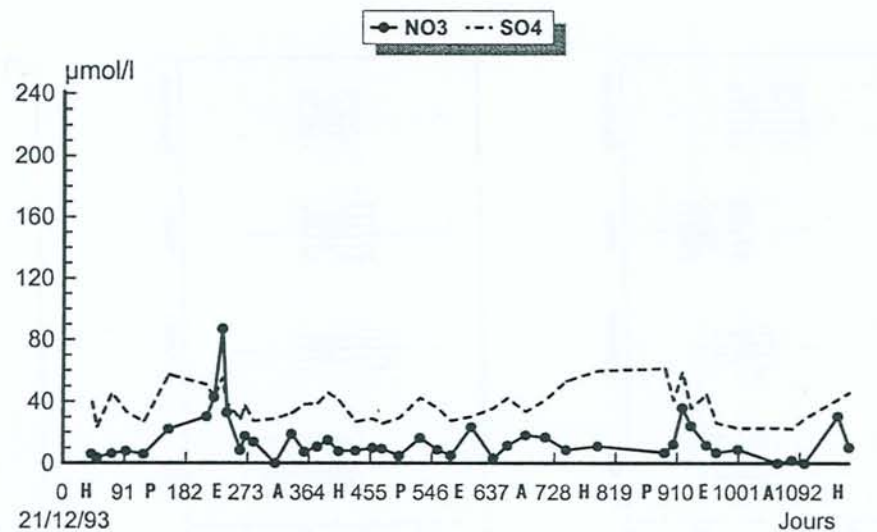
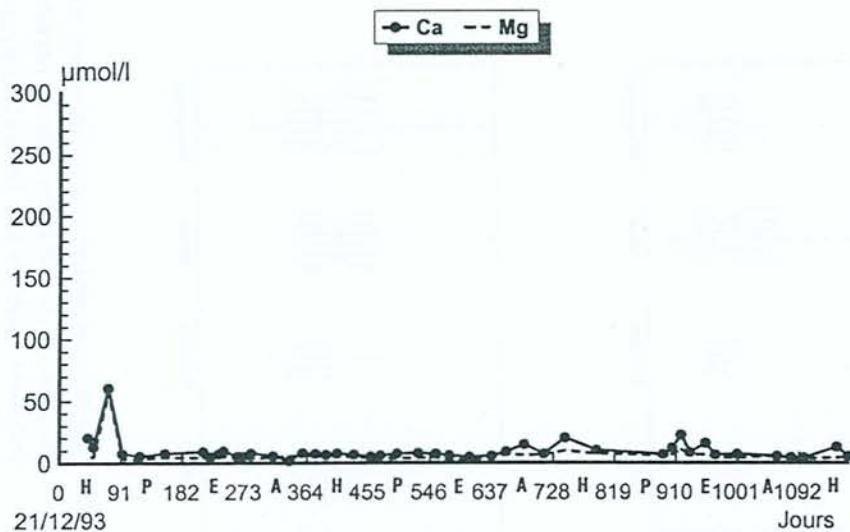
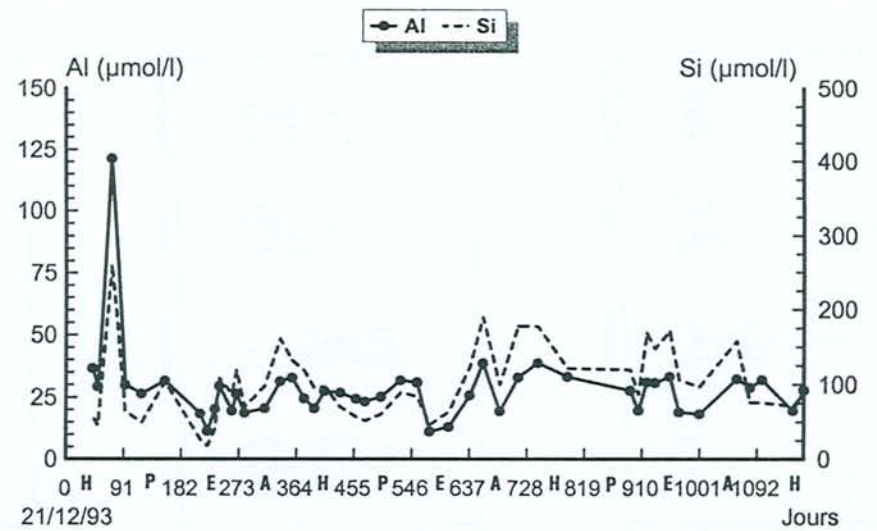
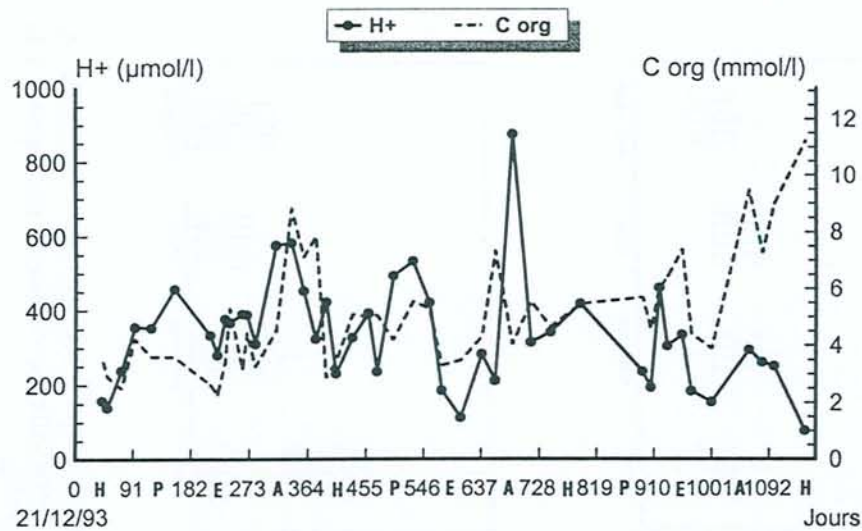


Planche VI : teneurs des principaux éléments chimiques mesurées en continu (de février 94 à février 97) dans les solutions du sol recueillies à la base de l'horizon A<sub>2</sub> du podzol.



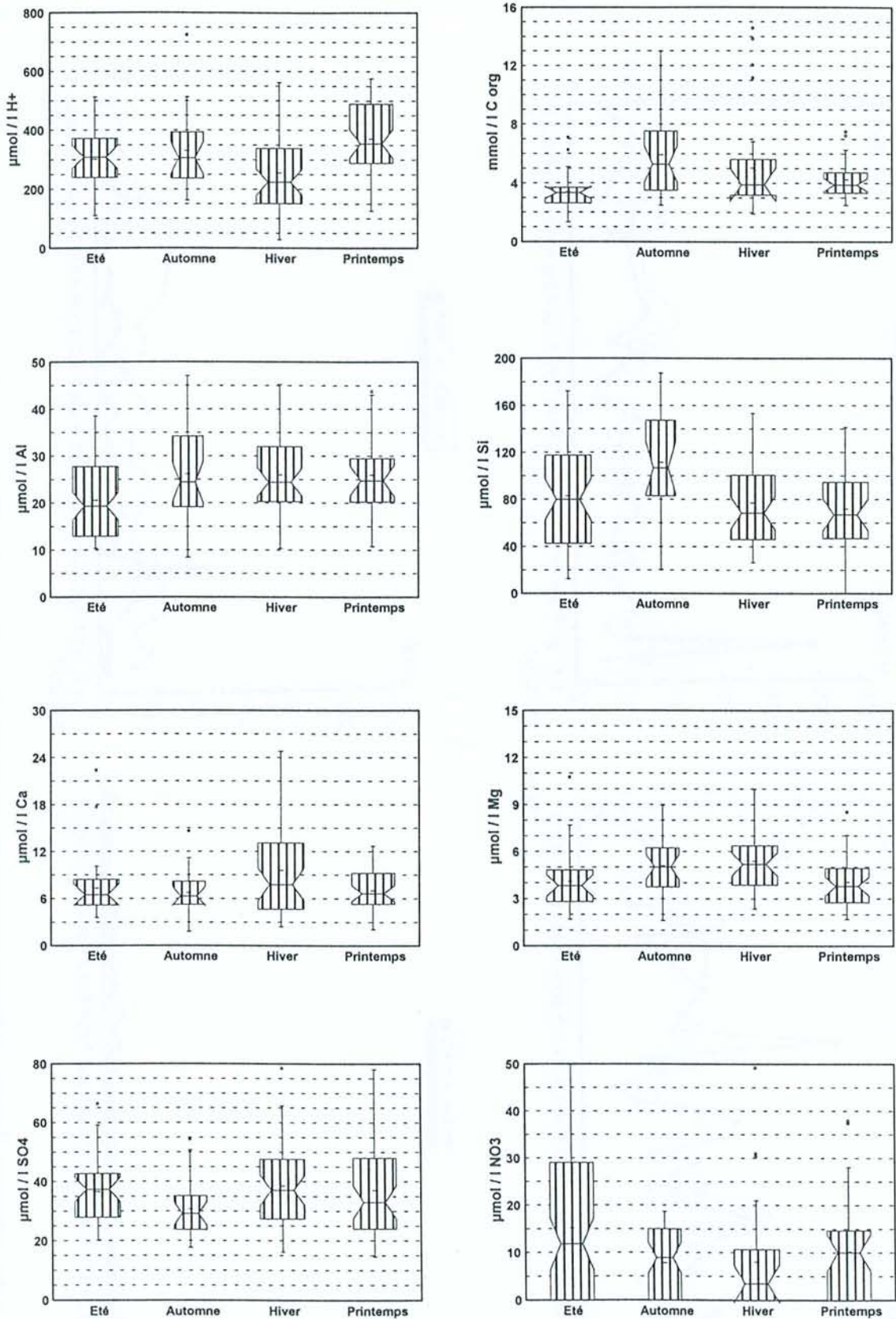


Planche VII : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques des solutions de l'horizon A<sub>2</sub> du podzol (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le t de Student au seuil de 95 %).

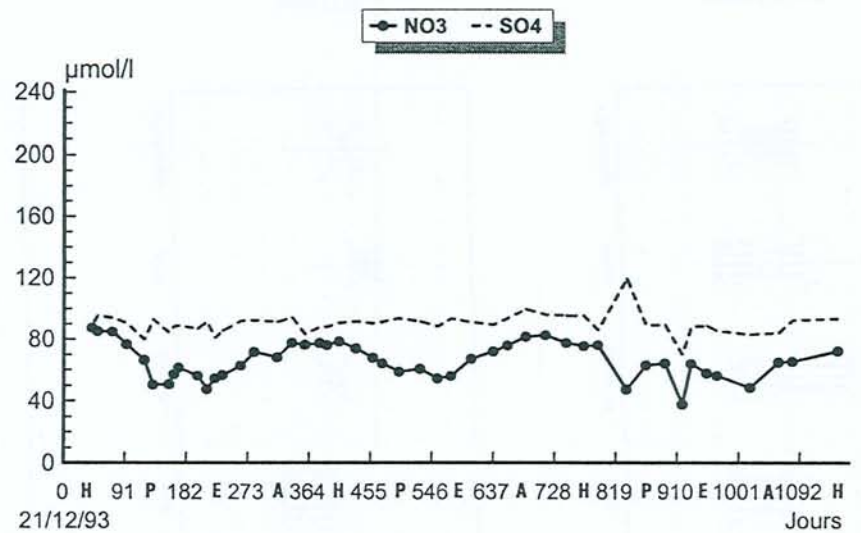
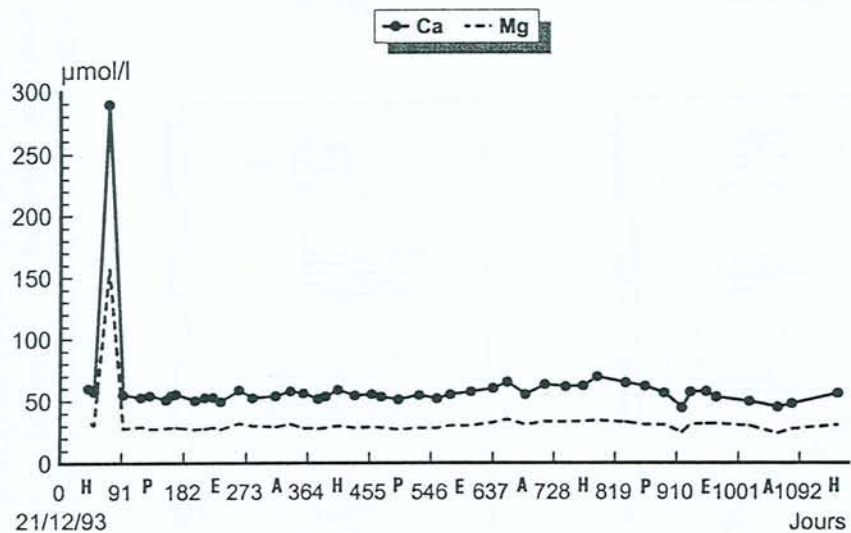
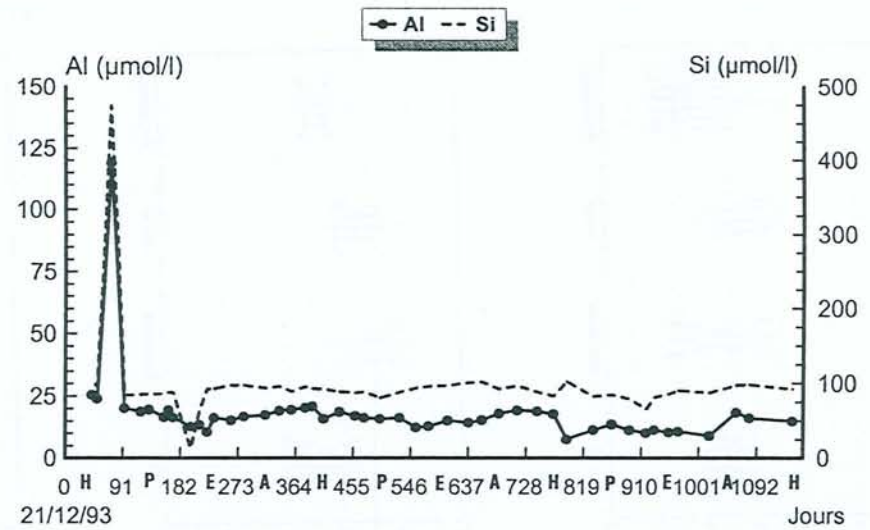
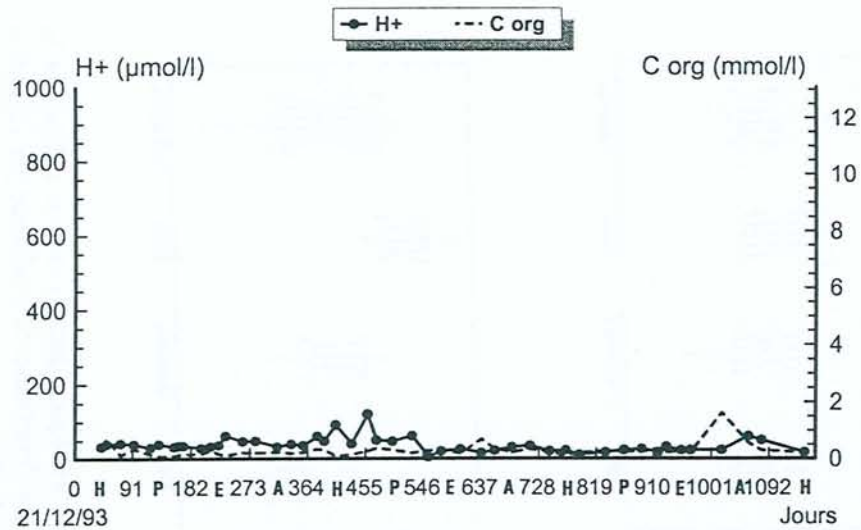


Planche VIII : teneurs des principaux éléments chimiques mesurées en continu (de février 94 à février 97) dans la source 1 drainant le bassin versant podzolique.



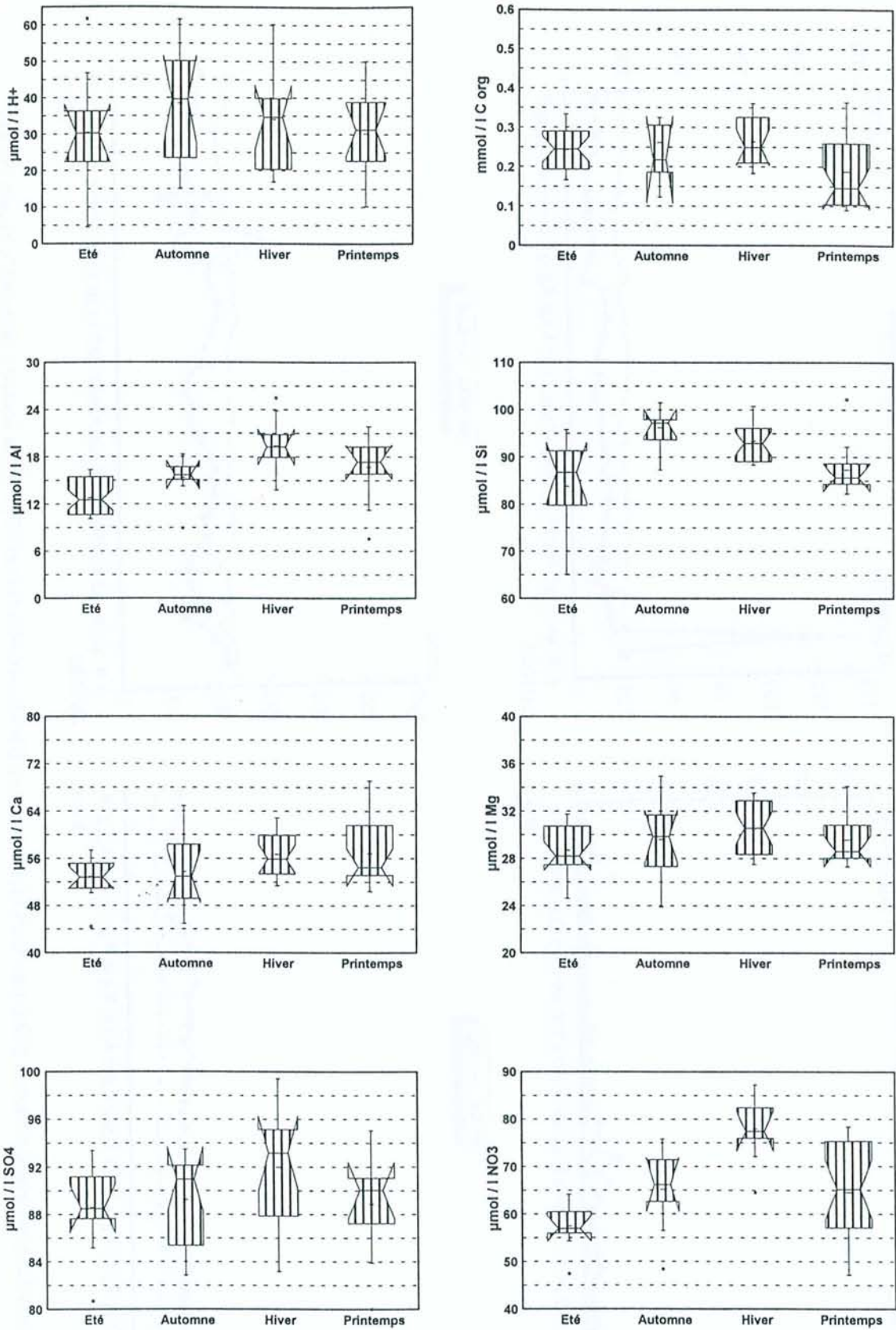


Planche IX : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques dans la source 1 drainant la zone podzolique (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le *t* de Student au seuil de 95 %).

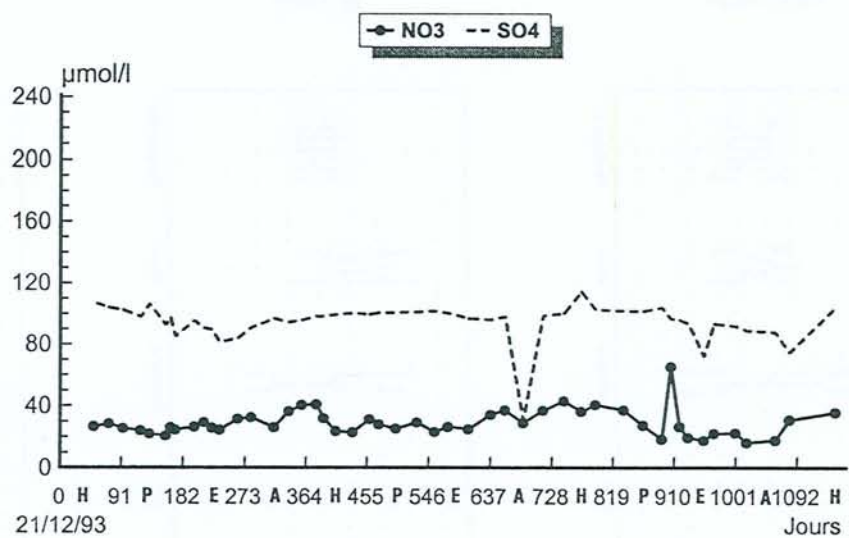
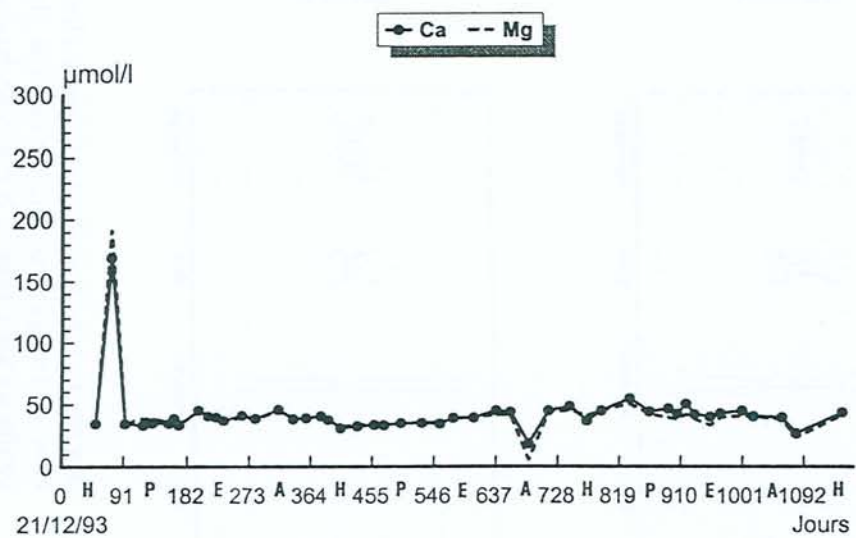
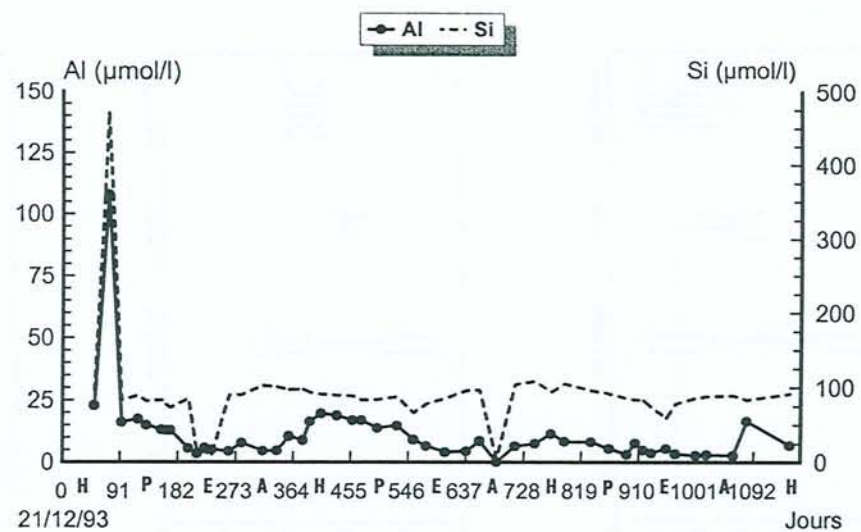
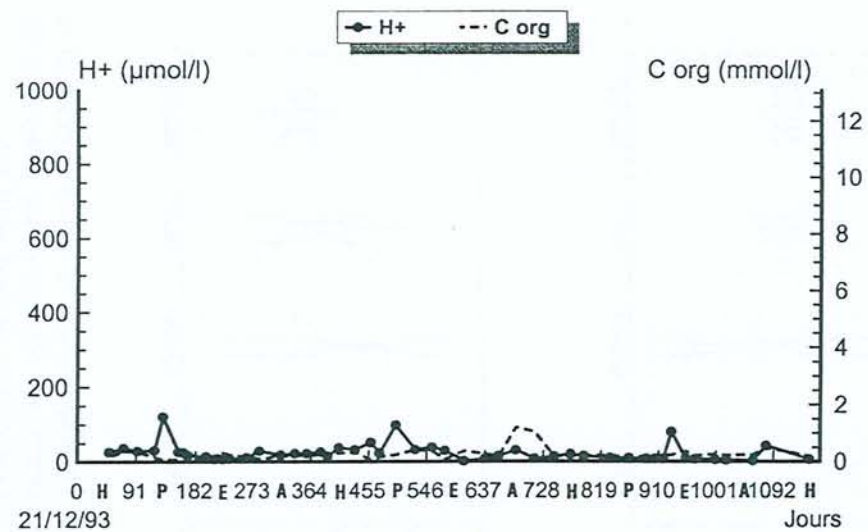


Planche X : teneurs des principaux éléments chimiques mesurées en continu (de février 94 à février 97) dans la source 2 drainant la zone podzolique.



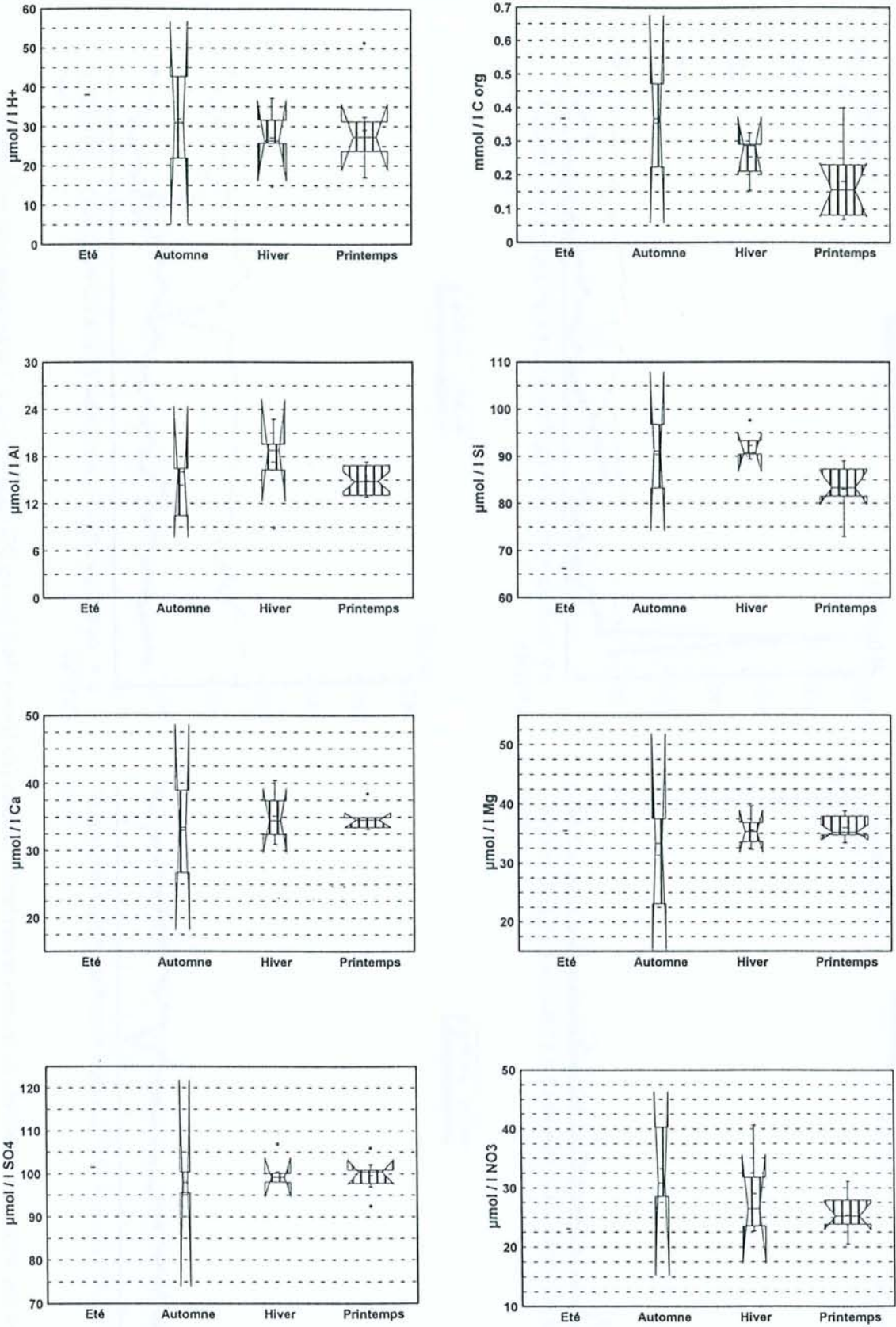


Planche XI : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques dans la source 2 drainant la zone podzolique en période de crue (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le  $t$  de Student au seuil de 95 %).

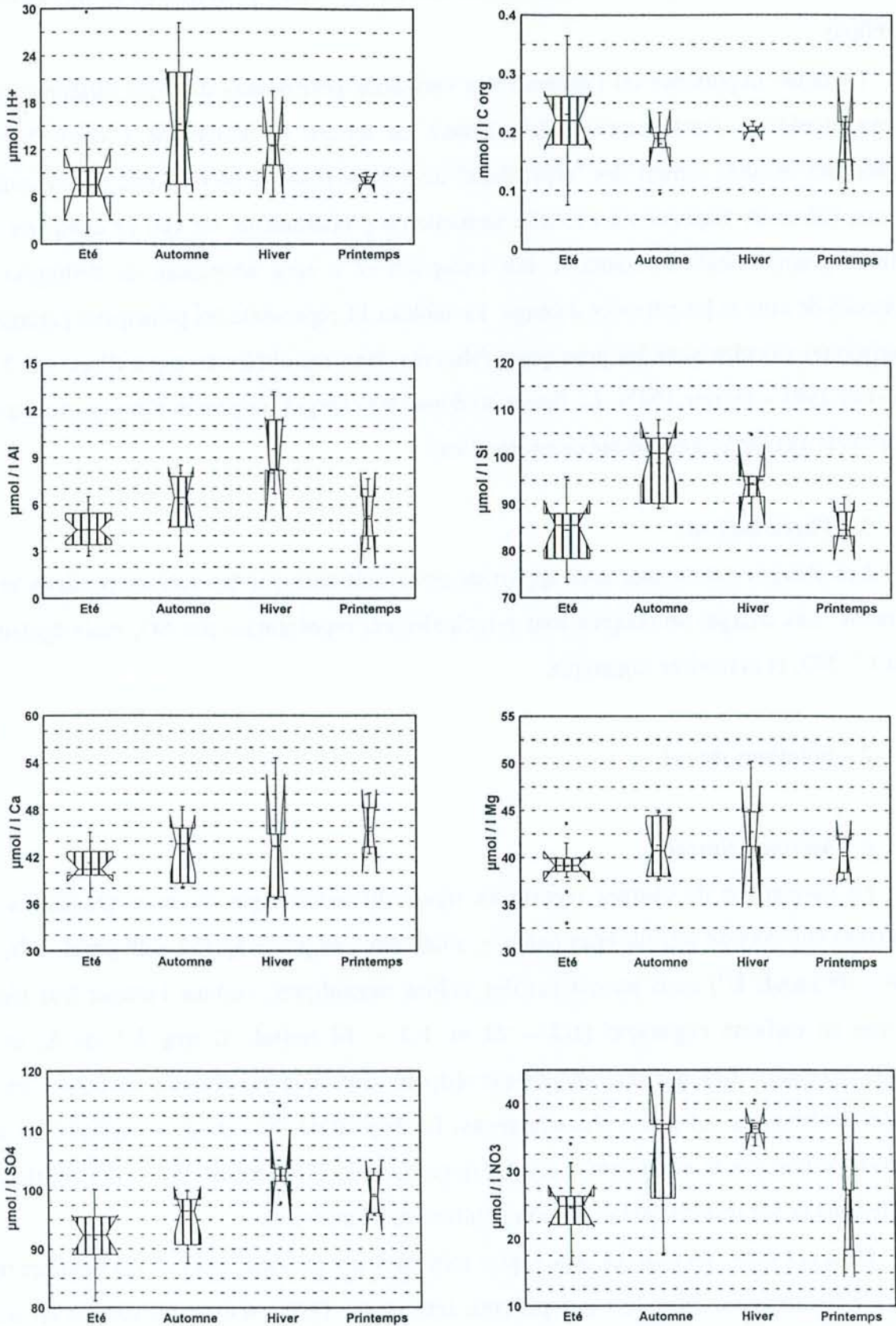


Planche XII : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques dans la source 2 drainant la zone podzolique en période d'été (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le t de Student au seuil de 95 %).



## B – Chimie comparée des pluviollessivats, des eaux gravitaires et des eaux de surface

La faible importance ou l'absence des variations périodiques dans les différents types d'eau considérés nous autorise généralement en termes de statistique à considérer les différentes récoltes comme des "répétitions" dont il est possible de tirer une valeur centrale et une valeur de dispersion à l'échelle annuelle ou pluriannuelle, en vue de comparer leur chimie propre. Seule la source 2 fait exception et il sera nécessaire de distinguer les périodes de crue et les périodes d'étiage. Le tableau 11 représente les principaux paramètres statistiques calculés pour les principaux éléments dans ces différents types d'eau sur 3 ans (février 1994 – février 1997). La figure 20 donne les charges moyennes développées par ces différents éléments dans chaque catégorie d'eau.

### 1 – Pluviollessivats

Les charges cationiques sont apportées essentiellement par les cations basiques et les protons. Les charges anioniques sont principalement représentées par  $\text{SO}_4$  mais également par  $\text{Cl}$ ,  $\text{NO}_3$  et la matière organique.

### 2 – Solutions du sol

#### *a – horizons éluviaux*

Le diagramme de charges reporté en figure 20 montre que les eaux gravitaires des horizons éluviaux de couleur brun noirâtre, sont dominées par  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $34 - 40 \mu\text{mol. L}^{-1}$ ),  $\text{Cl}^-$  ( $40 - 49 \mu\text{mol. L}^{-1}$ ) mais surtout par des **anions organiques**, comme l'atteste leur teneur élevée en carbone organique ( $1,2 - 21$  et  $1,3 - 14 \text{ mmol. C org L}^{-1}$  en  $A_0$  et  $A_2$  respectivement). Les nitrates ont presque disparu alors que les teneurs en  $\text{SO}_4$  et en  $\text{Cl}^-$  restent voisines de celles des pluviollessivats. La disparition des nitrates s'explique par leur consommation par la végétation et les micro-organismes alors même que la nitrification est nulle dans ce sol (expérimentations non publiées au laboratoire).

Dans ces eaux, les charges cationiques sont dues aux protons, aux cations basiques mais aussi à l'aluminium (Fig. 20). Les **pH sont très acides (2,9 – 4,6)** et les teneurs en Al de l'ordre de  $5$  à  $65 \mu\text{mol. Al L}^{-1}$  voire  $152 \mu\text{mol. L}^{-1}$ .

Tableau 11 : composition moyenne des pluviollessivats, des solutions gravitaires du sol et des eaux de surface sur 3 ans dans le bassin versant podzolique.

		pH	$\mu\text{mol} / \text{l}$												C org mmol / l	ANC $\mu\text{équiv} / \text{l}$
			Al total	Fe	Mn	Ca	Mg	K	Na	Si	SO <sub>4</sub>	Cl	F	NO <sub>3</sub>		
Pluviollessivats	nombre d'échantillons	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
	Moyenne	4.39	1.5	0.2	1.8	29.9	14.8	79.5	32.8	6.9	46.3	53.4	7.9	61.7	1.1	-61.8
	Médiane	4.30	1.3	0.1	1.4	22	11.6	63.9	26.1	5	35.4	40	6.9	47.8	1.0	-61.2
	Écart type	0.55	1.1	0.2	1.3	23.8	10.3	49	19.9	7.5	29.3	31	6.3	50.6	0.5	45.9
	Erreur standard	0.07	0.1	0.0	0.2	3.0	1.3	6.1	2.5	0.9	3.7	3.8	0.8	6.3	0.1	5.7
	Minimum	3.22	0	0	0	6.1	3.2	23	4.3	0	4	11.3	0	0	0.3	-192.0
	Maximum	6.6	5.8	0.7	6.6	147	51	245.5	87.9	45.2	138	122	27.4	241	3.0	35.1
Horizon A <sub>0</sub>	nombre d'échantillons	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	174	
	Moyenne	3.48	19.9	4.5	0.2	9.3	9.0	65.0	43.5	115.2	47	52.9	9.7	6.9	6.8	-320.8
	Médiane	3.46	18.1	4.1	0.1	7.4	7.4	48.6	34.8	65.7	39.6	44.7	7.6	0.0	6.4	-296.3
	Écart type	0.24	9.2	2.4	0.2	5.9	6.0	65.3	32.0	517.3	28.3	34.0	9.5	14.5	3.3	153.6
	Erreur standard	0.02	0.7	0.2	0.0	0.4	0.5	4.9	2.4	39.2	2.1	2.6	0.7	1.1	0.2	11.6
	Minimum	2.94	4.8	0.4	0.0	0.0	1.0	2.6	7.7	10.4	14.3	3.9	0.0	0.0	1.2	-1002.4
	Maximum	4.28	48.0	11.7	0.8	38.9	34.7	358.1	234.9	6870.8	200.6	228.1	51.2	86.8	20.5	0.9
	Coeff. médian de variabilité inter-lysimétrique <sup>1</sup>	1.1	1.7	1.7	2.7	1.6	2.1	4.9	1.6	1.8	1.6	1.9	1.4	1.3	1.5	0.6
Horizon A <sub>2</sub>	nombre d'échantillons	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	121	
	Moyenne	3.55	26.2	2.7	0.1	7.9	4.7	37.0	59.2	92.8	36.5	51.9	9.1	11.5	4.6	-204.6
	Médiane	3.51	24.2	2.3	0.1	6.6	4.3	30.7	43.5	81.9	34.5	48.8	6.7	9.4	3.7	-180.2
	Écart type	0.22	11.4	1.6	0.1	4.6	2.1	28.1	47.3	57.6	13.8	19.9	9.1	14.3	2.5	122.7
	Erreur standard	0.02	1.0	0.1	0.0	0.4	0.2	2.6	4.3	5.2	1.3	1.8	0.8	1.3	0.2	11.2
	Minimum	3.14	8.5	0.2	0.0	1.8	1.6	7.7	6	0	14.6	9.3	0.0	0.0	1.3	-751.3
	Maximum	4.55	65.4	8.2	0.8	27.7	11.3	202.0	261.0	277.3	82.4	111.7	45.3	86.9	14.6	109.0
	Coeff. médian de variabilité inter-lysimétrique <sup>1</sup>	1.1	1.7	2.1	2	1.8	3	1.8	2	1.4	1.4	1.7	1E+13	1.7	0.6	
Horizon B <sub>s</sub>	nombre d'échantillons	5	4	4	4	4	4	2	2	4	5	5	5	5	3	4
	Moyenne	6.69	25.9	2.6	0.9	104.5	34.1	1438.6	245.5	601.4	494.0	690.2	9.9	171.8	9.779	-804.8
	Médiane	7.13	20.9	1.8	0.9	82.6	36.9	1438.6	245.5	461.7	538.9	608.0	8.9	117.2	11.0045	-851.3
	Écart type	1.39	19.0	2.5	0.6	72.0	10.2	587.7	169.5	495.9	262.1	527.4	7.8	142.6	2.2793	1239.0
	Erreur standard	0.62	9.5	1.3	0.3	36.0	5.1	415.6	119.8	247.9	117.2	235.9	3.5	63.8	1.3159	619.5
	Minimum	4.24	9.9	0.7	0.3	45.2	19.6	1023.0	125.7	179.1	209.1	226.5	0.0	43.4	7.1492	-2264.0
	Maximum	7.51	51.9	6.2	1.5	207.6	43.2	1854.2	365.4	1303.0	865.1	1510.4	20.1	383.8	11.1833	747.5
Source 1	nombre d'échantillons	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	49	
	Moyenne	4.50	15.9	0.4	4.0	55.0	29.5	37.9	48.4	86.7	89.9	54.8	7.6	65.2	0.3	-25.9
	Médiane	4.48	16.2	0.4	3.9	54.4	29.1	38.4	47.8	88.6	90.0	55.6	6.1	64.7	0.2	-25.6
	Écart type	0.24	3.8	0.3	0.7	5.0	2.4	6.5	8.8	16.7	6.5	12.3	5.5	11.2	0.2	24.2
	Erreur standard	0.03	0.5	0.0	0.1	0.7	0.3	0.9	1.3	2.4	0.9	1.8	0.8	1.6	0.0	3.5
	Minimum	3.92	7.6	0.0	2.7	44.4	23.9	23.0	5.2	12.9	69.8	12.1	0.0	37.7	0.1	-113.3
	Maximum	5.34	25.5	1.0	6.8	69.1	35.0	51.2	69.6	102.2	119.3	87.2	19.9	87.2	1.6	25.3
Source 2 (crue)	nombre d'échantillons	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	
	Moyenne	4.49	15.1	0.7	2.9	34.5	35.1	38.1	46.0	85.7	97.9	52.6	6.8	27.5	0.2	-33.5
	Médiane	4.52	16.0	0.8	2.9	34.4	35.3	35.8	47.8	87.2	99.3	51.3	4.4	25.8	0.2	-30.4
	Écart type	0.22	3.5	0.5	0.4	3.0	3.5	6.1	10.9	7.8	7.3	8.4	8.8	5.6	0.1	23.2
	Erreur standard	0.05	0.8	0.1	0.1	0.7	0.8	1.4	2.5	1.8	1.7	1.9	2.0	1.3	0.0	5.3
	Minimum	3.92	8.9	0.0	1.9	26.7	23.1	26.6	4.9	66.2	74.5	34.7	0.0	20.5	0.1	-82.9
	Maximum	4.83	22.8	1.6	3.5	40.4	39.7	53.7	59.6	97.5	106.9	77.8	39.7	40.6	0.5	6.3
Source 2 (étiage)	nombre d'échantillons	29	29	290	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	
	Moyenne	5.00	5.8	0.7	2.0	42.6	40.4	47.0	58.6	81.4	94.9	51.6	8.6	29.9	0.2	-4.1
	Médiane	5.09	5.4	0.6	1.9	42.4	39.7	46.0	56.5	87.9	95.8	52.2	7.2	27.3	0.2	-2.3
	Écart type	0.33	2.5	0.6	0.5	4.2	3.3	7.8	6.6	25.9	8.0	12.2	5.8	10.0	0.2	22.8
	Erreur standard	0.06	0.5	0.1	0.1	0.8	0.6	1.5	1.2	4.8	1.5	2.3	1.1	1.9	0.0	4.2
	Minimum	4.10	2.7	0.0	1.2	36.7	33.0	30.7	47.8	9.9	72.0	19.7	0.0	16.1	0.1	-62.3
	Maximum	5.86	13.2	2.0	3.2	54.6	50.2	66.5	73.9	107.9	114.2	75.6	18.0	65.1	1.0	22.9

<sup>1</sup> Médiane des rapports des valeurs maximales aux minimales dans les différents lysimètres par horizon pendant toute la période d'étude.



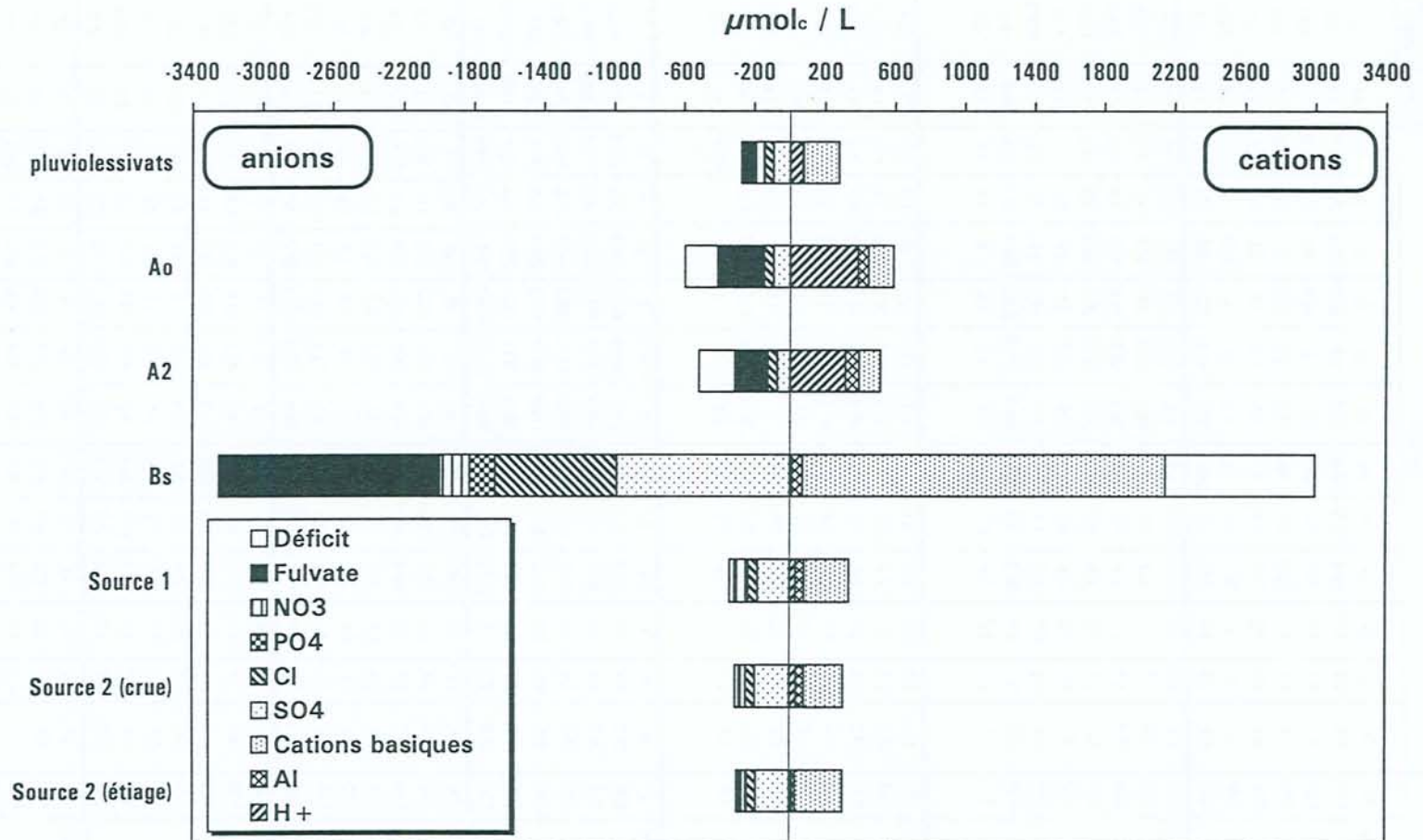


Figure 20 : diagramme de charges dans les pluviollessivats, les solutions du sol et les sources dans le bassin versant podzolique (les cations sont exprimés en valeurs positives, les anions en valeurs négatives) (moyenne sur 3 ans).

Un déficit très important en charges anioniques est enfin observé dans les eaux gravitaires (Fig. 20). Il pourrait s'expliquer par une mauvaise appréciation des charges organiques dissociées par le modèle triprotique.

L'analyse de la spéciation de l'Al montre que cet élément est essentiellement présent dans les eaux gravitaires des horizons éluviaux sous forme de complexes Al-F, d'Al organique et d'Al polymérique et/ou colloïdal (= "Al non monomérique"). L'espèce  $Al^{3+}$  reste toujours en très faible concentration (Fig. 21 a et b).

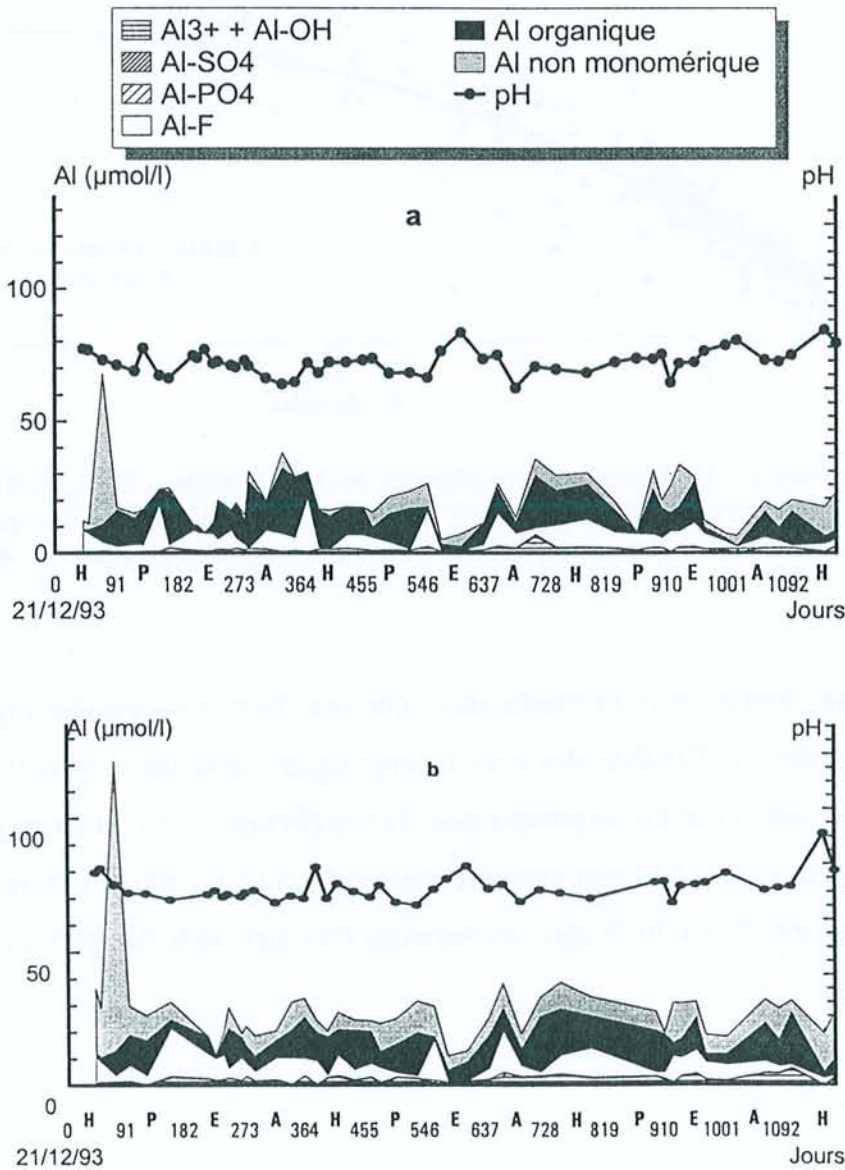


Figure 21 : spéciation de l'Al et pH dans les horizons de surface du podzol : A<sub>0</sub> (a) et A<sub>2</sub> (b) (H, P, E, A représentent les saisons).



Les proportions respectives des complexes Al-F et de l'Al organique sont très variables. La proportion de complexes Al-F est très fortement corrélée au rapport  $F/Al_{total}$  des solutions ( $R^2 = 0,92$ ) indépendamment de leurs variations de pH et de leur teneur en matière organique (Fig. 22). Autrement dit, les variations du rapport  $F/Al_{total}$  régule en grande partie les variations de la spéciation de l'Al en solution dans ces horizons.

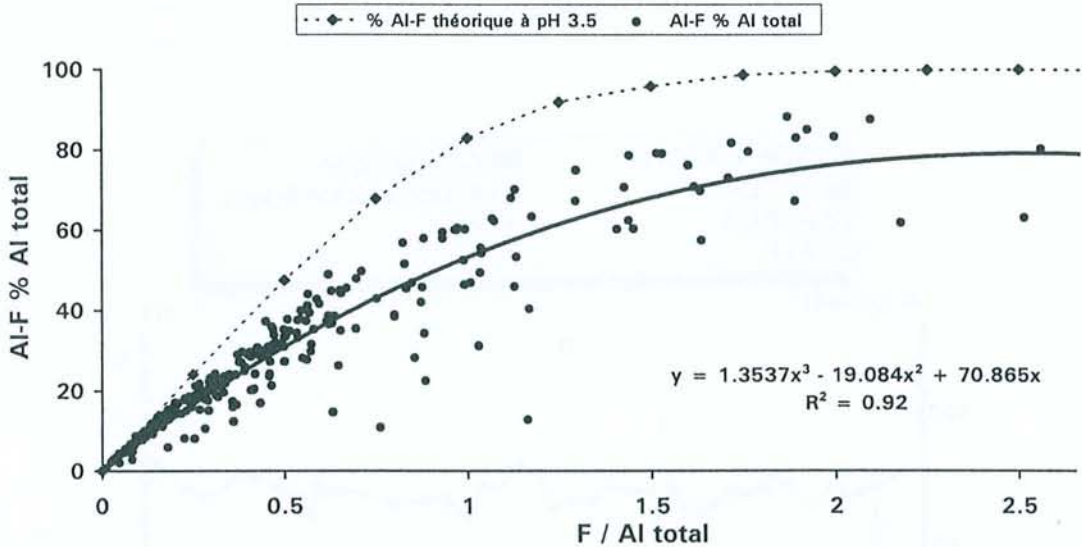


Figure 22 : relation entre la proportion de complexes Al-F et le rapport  $F/Al_{total}$  (●) dans les eaux lysimétriques récoltées à la base des horizons  $A_0$  et  $A_2$  du podzol. Comparaison avec la distribution théorique des espèces Al-F en absence de C organique (----◆----).

Le décalage observé entre la courbe théorique (en absence de matière organique) et la courbe réelle (basée sur l'analyse des eaux lysimétriques) témoigne néanmoins du rôle non négligeable que joue la matière organique pour la complexation de l'Al en compétition avec  $F^-$  (Fig. 22). D'autre part, l'Al non monomérique représente une proportion non négligeable de l'Al total et varie de 0 à 30 % dans les horizons éluviaux, avec des pics exceptionnels de 80 – 90 (Fig. 21).

### b – Horizons spodiques

Les eaux lysimétriques récoltées à la base de l'horizon Bs sont surprenantes par leur neutralité (pH 7,09 – 7,51) et par leur forte teneur en la plupart des éléments. Les teneurs en Al y sont du même ordre de grandeur qu'à la base des horizons éluviaux (10 – 52  $\mu\text{mol. L}^{-1}$ ) (Fig. 20, tableau 11). On note par ailleurs un excès de charges anioniques (Fig. 20), qui peut être attribué à une mauvaise simulation du degré de dissociation des molécules organiques par le modèle triprotique, plutôt qu'à une sous-estimation analytique des cations. La spéciation de l'Al en solution montre que cet élément est présent essentiellement sous forme d'Al organique (45 à 69 %), de monomères Al-PO<sub>4</sub> (13 à 31 %) et d'Al polymérique et/ou colloïdal (0 à 40 %) (Fig. 23).

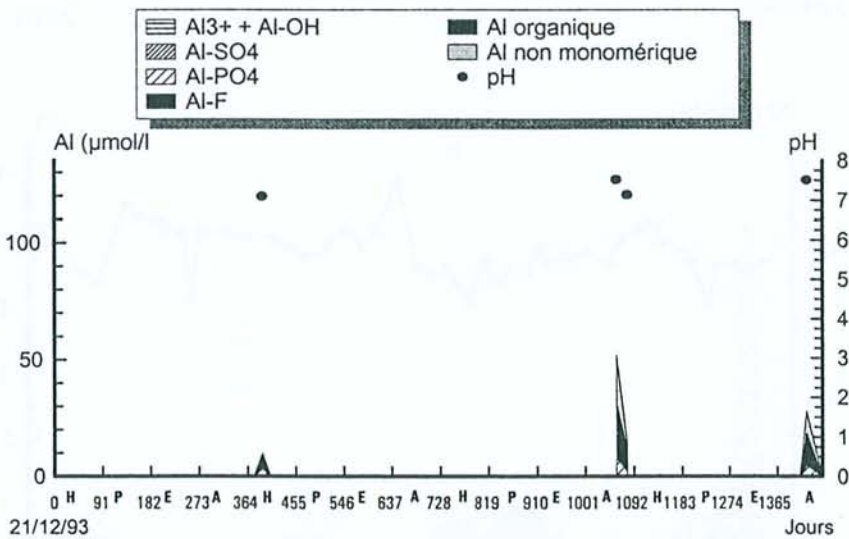


Figure 23 : spéciation de l'Al et pH dans l'horizon spodique Bs du podzol (H, P, E, A représentent les saisons).

### 3 – Sources drainant le podzol

Les sources drainant le podzol ont des pH variant de 3,9 à 5,3 pour la première, de 3,9 à 5,9 pour la seconde (tableau 11 et Fig. 24 a et b). Bien que ces valeurs soient plus élevées que les pH notés dans les eaux gravitaires à la base des horizons éluviaux, elles sont très acides pour des eaux de surface. Leur ANC est par ailleurs très faible et bascule de -113 à 25  $\mu\text{equiv. L}^{-1}$  (tableau 11).



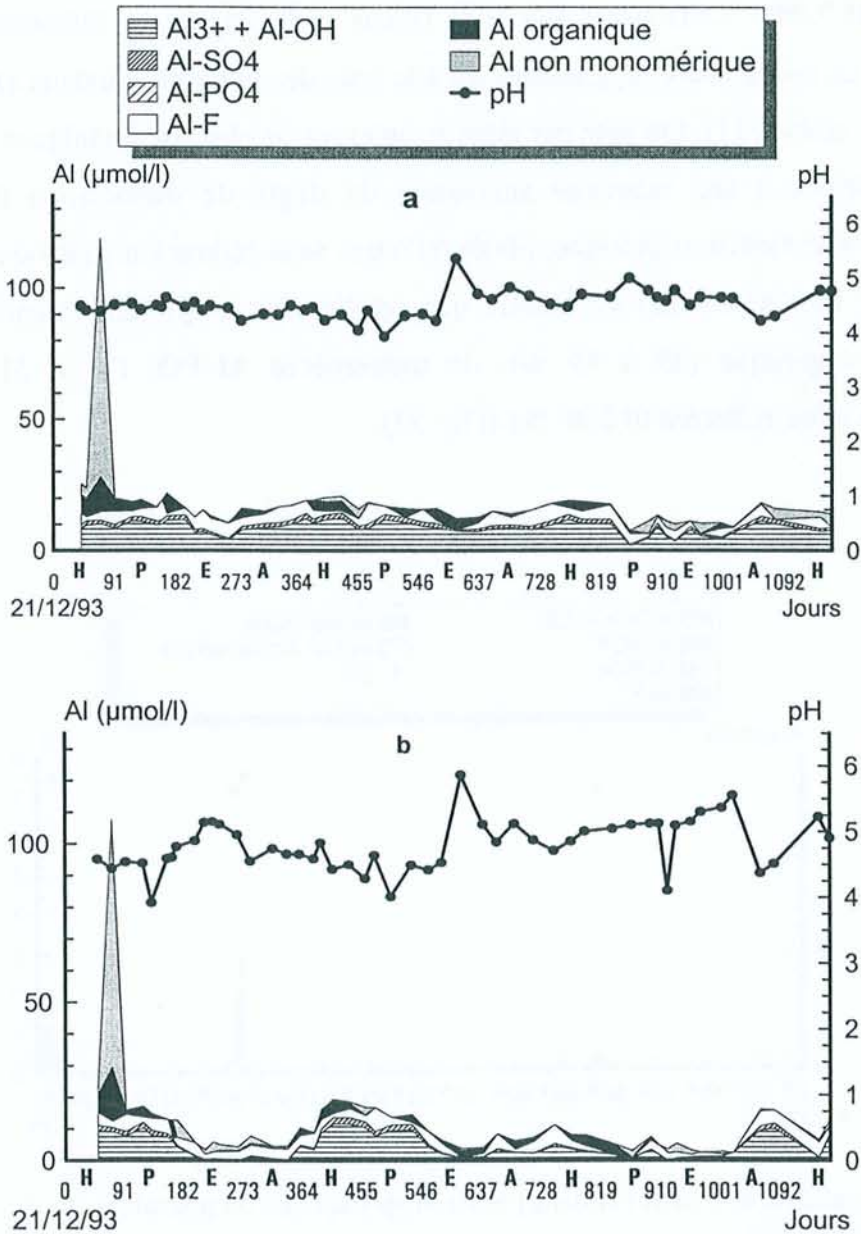


Figure 24 : spéciation de l'Al et pH dans les sources drainant le podzol : a = source 1 ; b = source 2 (H, P, E, A représentent les saisons).

Du fait de leur pH, ces sources renferment des concentrations en Al anormalement élevées, à peine plus faibles que dans les eaux gravitaires du sol (3 à 26  $\mu\text{mol. Al L}^{-1}$ ) (tableau 11 et Fig. 20). Les cations à caractère basique dominent les cations à caractère acide ( $\text{H}^+$  et Al) (Fig. 20). En revanche, la majeure partie des charges anioniques est

apportée par  $\text{SO}_4^{2-}$  (Fig. 20) dont les teneurs [90 – 99  $\mu\text{mol. L}^{-1}$  (tableau 11)] sont 2 fois plus importantes que celles notées dans les pluviollessivats et les eaux gravitaires des horizons éluviaux. Les chlorures gardent une concentration moyenne à peu près constante des pluviollessivats à la base des horizons éluviaux et aux sources, ce qui est conforme à son comportement conservatif. A l'inverse, le rapport  $\text{SO}_4/\text{Cl}$ , qui reste également constant des pluviollessivats à la base des horizons éluviaux, se met à doubler entre la base de l'horizon  $\text{A}_2$  et les sources. Cela suggère un relargage de sulfates de la partie supérieure des horizons spodiques dans les eaux à circulation latérale.

L'Al présent dans ces eaux présente une spéciation tout à fait différente de celle observée dans les eaux à la base des horizons éluviaux.

Si les complexes Al-F subsistent en quantité appréciable (Fig. 24 a et b), l'Al organique est toujours en faible concentration et est souvent absent, tandis que de nouvelles espèces d'Al inorganique apparaissent ( $\text{Al}^{3+}$  et accessoirement  $\text{AlSO}_4^+$ ). Enfin, la corrélation observée dans le sol entre le rapport  $\text{F}/\text{Al}_{\text{total}}$  et la proportion des complexes Al-F tend à s'estomper (Fig. 25 et 26).

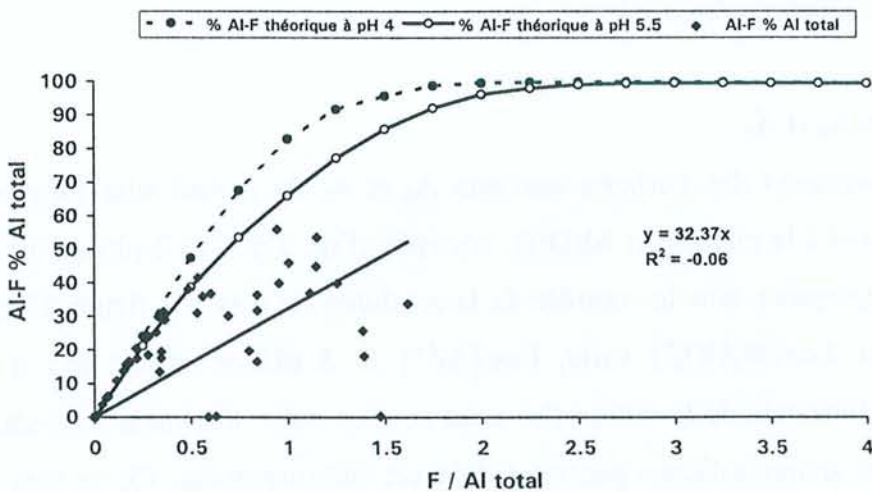


Figure 25 : relation entre la proportion de complexes Al-F et le rapport Al/F dans la source 1 drainant le podzol (les courbes théoriques sont calculées aux pH maximaux, 4 et 5,5, observés dans les eaux durant la période d'étude).



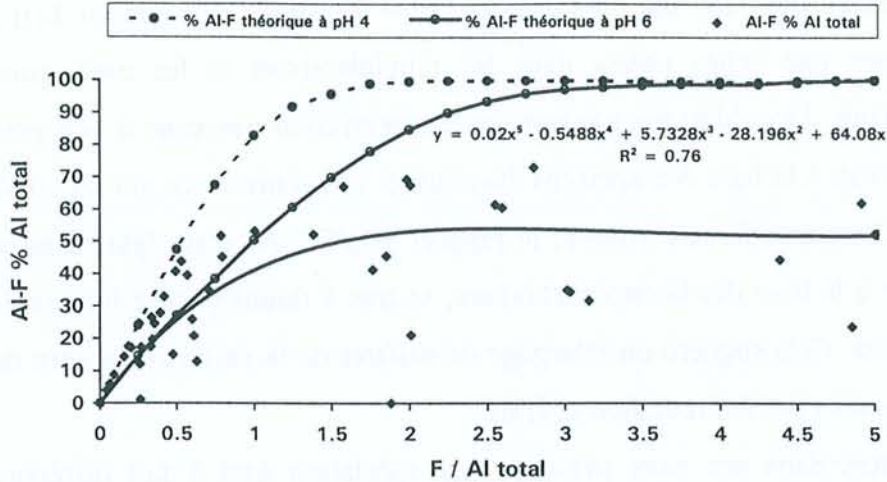


Figure 26 : relation entre la proportion de complexes Al-F et le rapport Al/F dans la source 2 drainant le podzol (les courbes théoriques sont calculées aux pH maximaux, 4 et 6, observés dans les eaux durant la période d'étude).

## C – Contrôle de la solubilité de l'Al dans le bassin versant podzolique

Des diagrammes d'équilibre dans différents systèmes (Al-Si-H<sub>2</sub>O et Al-SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O, Al-SO<sub>4</sub>-K-H<sub>2</sub>O) ont été établis à 20°C dans le but d'identifier les phases minérales qui contrôlent la solubilité de l'Al dans les différents horizons du podzol et dans les sources qui prennent naissance à partir de ce sol.

### 1 – Horizons A<sub>0</sub> et A<sub>2</sub>

Les eaux gravitaires des horizons éluviaux A<sub>0</sub> et A<sub>2</sub> du podzol sont fortement sous-saturées par rapport à la gibbsite et Al(OH)<sub>3</sub> amorphe (Fig. 27). Ces 2 phases minérales ne sont donc pas impliquées dans le contrôle de la solubilité de l'Al. La figure 27 montre en outre que lorsque  $\text{Log}\{\text{H}_4\text{SiO}_4^0\}$  varie,  $\text{Log}\{\text{Al}^{3+}\} + 3 \text{pH}$  ne change pas et est donc **indépendant de l'activité de la silice**. Ces eaux sont en outre fortement sous-saturées par rapport à tous les aluminosilicates possibles dans cet environnement. Ce ne sont donc pas des aluminosilicates qui contrôlent la solubilité de l'Al. Le calcul de l'activité de Al<sup>3+</sup> dans les systèmes Al-SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O et Al-SO<sub>4</sub>-K-H<sub>2</sub>O montre que les eaux gravitaires de A<sub>0</sub> et A<sub>2</sub> sont fortement sous-saturées par rapport à la jurbanite (Fig. 28), la basaluminite (Fig. 29) et l'alunite (Fig. 30). Aucun de ces minéraux n'est donc susceptible de contrôler la solubilité de l'Al.

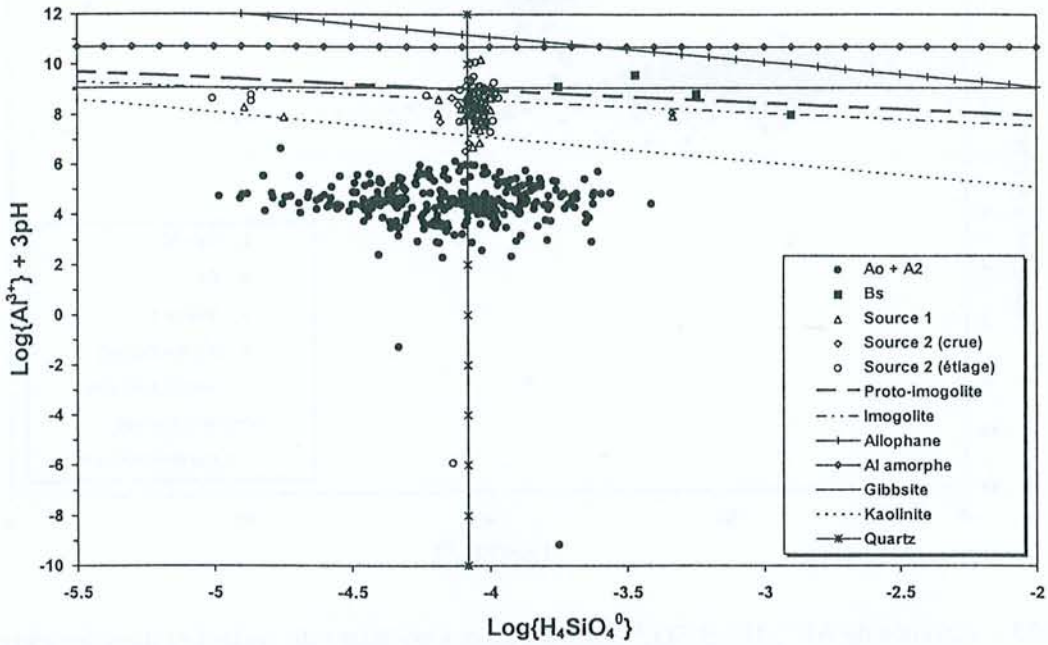


Figure 27 : activités de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$  et  $\text{H}_4\text{SiO}_4^0$  dans les solutions du podzol (symboles pleins) et les eaux de surface correspondantes (symboles creux) dans le système Al-Si-H<sub>2</sub>O par rapport à la solubilité de quelques phases minérales (lignes) (les {} représentent les activités ; calculs à 20°C).

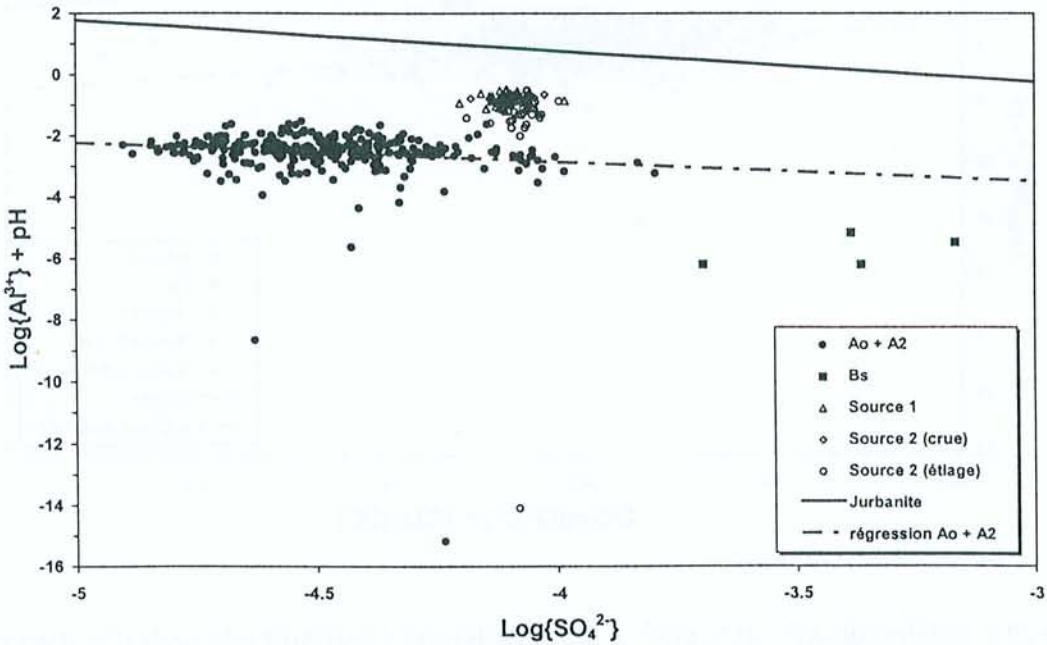


Figure 28 : activités de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  dans les eaux gravitaires du podzol et dans les eaux de surface correspondantes dans le système Al-H<sub>2</sub>O-SO<sub>4</sub> par rapport à la solubilité de la jurbanite (les {} représentent les activités ; calculs à 20°C).



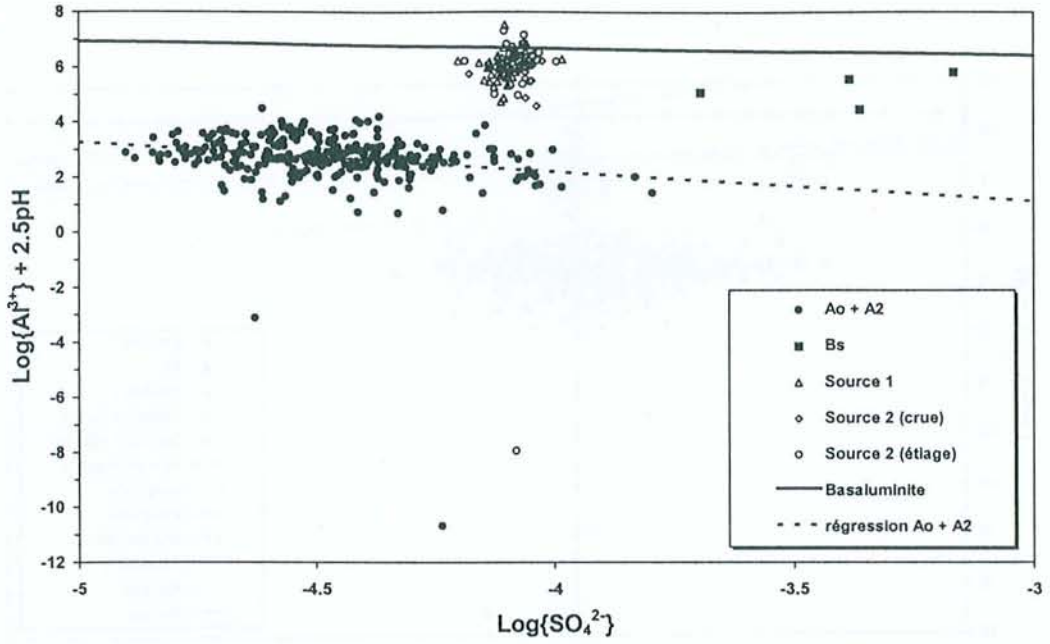


Figure 29 : activités de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  dans les eaux gravitaires du podzol et dans les eaux de surface à correspondantes dans le système  $\text{Al-H}_2\text{O-SO}_4$  par rapport à la solubilité de la basaluminite (les  $\{ \}$  représentent les activités ; calculs à  $20^\circ\text{C}$ ).

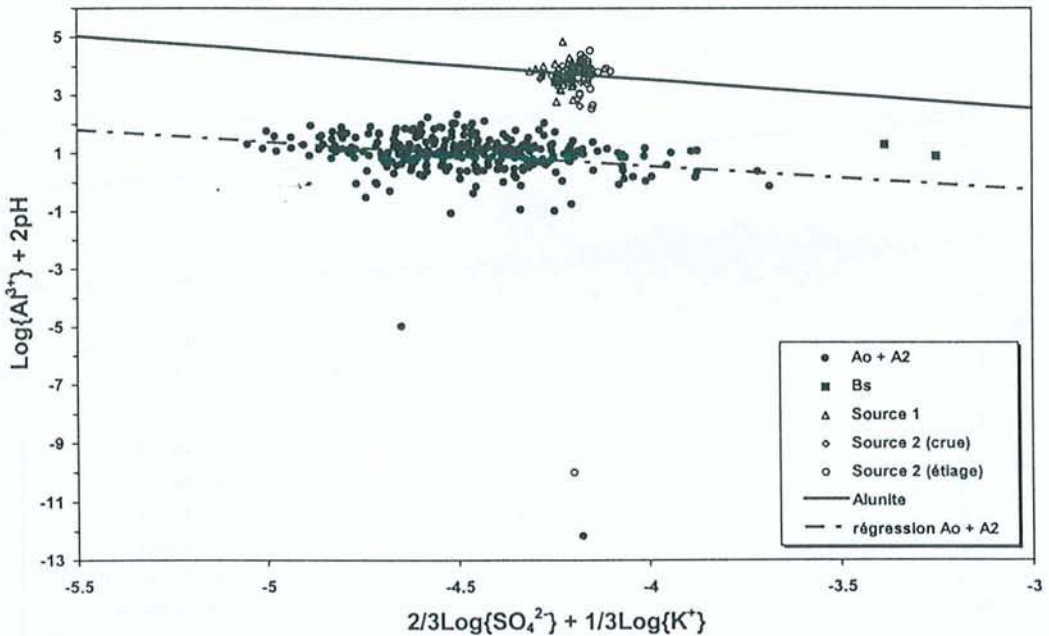


Figure 30 : activités de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{K}^+$  dans les eaux gravitaires du podzol et dans les eaux de surface correspondantes dans le système  $\text{Al-SO}_4\text{-K-H}_2\text{O}$  par rapport à la solubilité de l'alunite (les  $\{ \}$  représentent les activités ; calculs à  $20^\circ\text{C}$ ).

L'activité de  $\text{Al}^{3+}$  dans les horizons éluviaux du podzol semble donc plus compatible avec l'hypothèse d'un contrôle de la solubilité de l'Al par des processus d'échange entre  $\text{Al}^{3+}$  et  $\text{H}^+$  au niveau des phases solides du sol (Bloom *et al.*, 1979 ; Driscoll *et al.*, 1985 ; Dahlgren et Ugolini, 1989b ; Cronan *et al.*, 1986 ; Walker *et al.*, 1990), qu'avec l'hypothèse d'un contrôle par une phase minérale particulière.

## 2 – Horizon Bs

Étant donné la rareté des récoltes à la base de l'horizon Bs (seulement 4 récoltes), il est difficile d'identifier les phases minérales susceptibles de contrôler l'activité de  $\text{Al}^{3+}$ . Néanmoins, ces 4 points sont au voisinage de la ligne de la gibbsite, de la proto-imogolite et de l'imogolite (Fig. 27) et indiquent en outre une forte sous-saturation par rapport à la jurbanite (Fig. 28), et, à un degré moindre, par rapport à la basaluminite (Fig. 29) et à l'alunite (Fig. 30). Étant donné la présence de minéraux allophaniques dans l'horizon Bs, la proto-imogolite et l'imogolite paraissent pouvoir être de bons candidats pour le contrôle de la solubilité de l'Al dans cet horizon.

## 3 – Sources drainant le podzol

Ces sources présentent globalement des teneurs en silice peu variables ( $\text{Log}\{\text{H}_4\text{SiO}_4^0\} \approx 10^{-4} \text{ M}$ ), indépendantes de  $\text{Log}\{\text{Al}^{3+}\} + 3 \text{ pH}$  (Fig. 27). La solubilité de l'Al et de la silice n'est donc pas contrôlée par un aluminosilicate. En fait l'activité de  $\text{H}_4\text{SiO}_4^0$  correspond très généralement à la solubilité du quartz, si bien que la solubilité de cet élément dans les eaux de surface peut lui être attribuée (Fig. 27). En ce qui concerne l'Al, la majorité des points ne correspond ni à la solubilité de la gibbsite, ni à celle de  $\text{Al}(\text{OH})_3$  amorphe, et ces phases minérales ne paraissent donc pas non plus être impliquées dans le contrôle de la solubilité de l'Al (Fig. 31).

Par ailleurs,  $\text{Log}\{\text{SO}_4^{2-}\}$  est peu variable et la plupart des points sont trop regroupés pour que l'on puisse dire si  $\text{Log}\{\text{Al}^{3+}\} + n \text{ pH}$  est dépendant de l'activité des sulfates. Par ailleurs, ces eaux sont fortement sous-saturées par rapport à la jurbanite (Fig. 28), légèrement sous-saturées par rapport à la basaluminite (Fig. 29), mais paraissent être en équilibre avec l'alunite (Fig. 30). Cette dernière phase minérale paraît donc pouvoir contrôler la solubilité de l'Al dans les sources drainant le podzol.



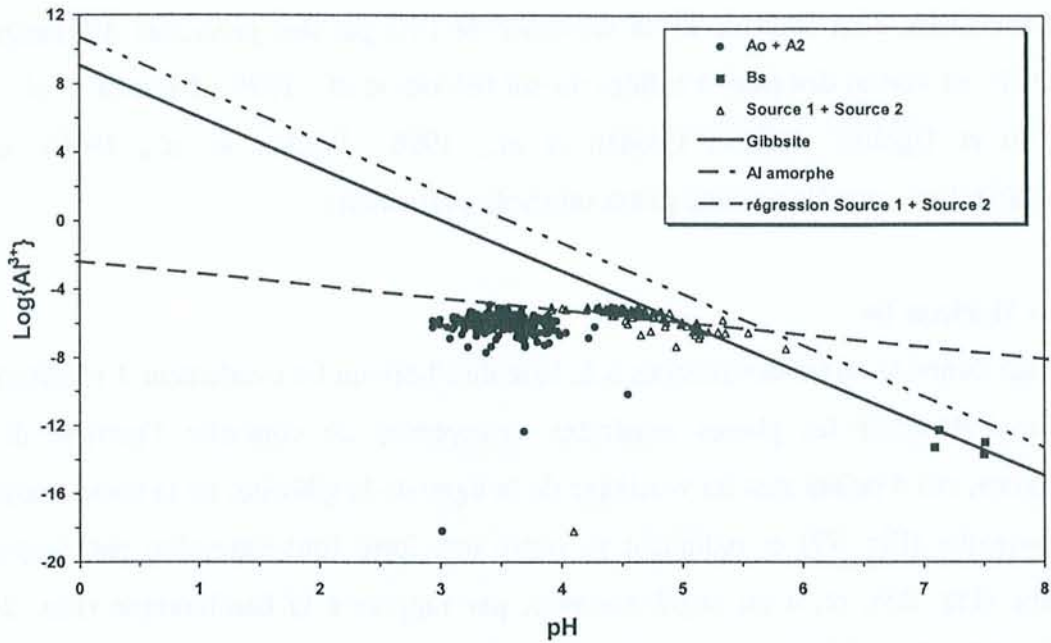


Figure 31 : activités de  $\text{Al}^{3+}$  et  $\text{H}^+$  dans les solutions du podzol (symboles pleins) et les eaux de surface correspondantes (symboles creux) dans le système  $\text{Al}-\text{H}_2\text{O}$  par rapport à la solubilité de la gibbsite et de l'Al amorphe (lignes) (les  $\{ \}$  représentent les activités ; calculs à  $20^\circ\text{C}$ ).

## II – BASSIN VERSANT DU SOL BRUN ACIDE

### A – Évolutions saisonnières

#### 1 – Pluiolessivats

La concentration des principaux éléments chimiques ( $\text{H}^+$ , Al,  $\text{NO}_3$ , Ca, Mg, et  $\text{SO}_4$ , Si, C org) dans les pluiolessivats (planches XIII et XIV) ne montre aucune variation saisonnière significative.

#### 2 – Solutions du sol

L'horizon  $\text{A}_1$  du sol brun acide et dans une moindre mesure l'horizon  $\text{A}_3$  présentent une structure macroaggrégée qui crée une macroporosité importante et est due à la bioturbation

et aux caractéristiques physico-chimiques du matériel parental. L'horizon (B) quant à lui est très compact, n'offre qu'une faible macroporosité et est peu perméable. Il limite le drainage vertical en profondeur et favorise la formation d'une nappe perchée temporaire à écoulement latéral au sein de l'horizon  $A_3$  en périodes de fortes pluies prolongées. De ce fait, les eaux gravitaires ont été récoltées fréquemment à la base de l'horizon  $A_1$ , un peu moins souvent à la base de l'horizon  $A_3$  et très rarement à la base de l'horizon (B).

Les solutions du sol recueillies à la base de l'horizon  $A_1$  ont une concentration assez peu variable au cours du temps en Mg et en  $SO_4$  et montrent des fluctuations plus marquées de leurs concentrations en C org,  $H^+$  et Si (Planche XV). Les concentrations en Al,  $NO_3$  et Ca présentent leurs teneurs maximales au printemps, mais ceci est trop bref, ponctuel et irrégulier pour que les teneurs en ces éléments soient significativement élevées au printemps que durant le reste de l'année. Celles en Si sont significativement plus fortes en automne que durant le reste de l'année (Planche XVI). Le C organique présente sa concentration la plus faible et le Mg sa concentration la plus forte au printemps, notamment si l'on se réfère à l'été et à l'automne (Planche XVI). Les concentrations en  $H^+$  et en  $SO_4$  ne sont quant à elles pas significativement différentes d'une saison à l'autre (Planche XVI).

Une relation évidente existe entre les concentrations en  $NO_3$  et l'Al total (ou mieux en Al monomérique, déterminé lors de la spéciation) d'une part (Fig. 32), en  $NO_3$  et en Ca d'autre part (Fig. 33) dans les eaux gravitaires de l'horizon  $A_1$ . Cette relation disparaît en profondeur ( $R^2 = 0,001$ ). En revanche les corrélations entre les teneurs en Al monomérique et celles des autres anions sont plus faibles ( $SO_4 : R^2 = 0,04$  ; Cl :  $R^2 = 0,09$  ; F :  $R^2 = 0,0002$  ; C org. :  $R^2 = 0,03$ ). Ceci suggère que la nitrification, très importante dans les 15 premiers centimètres du sol brun acide, est responsable de la mobilisation de l'Al.



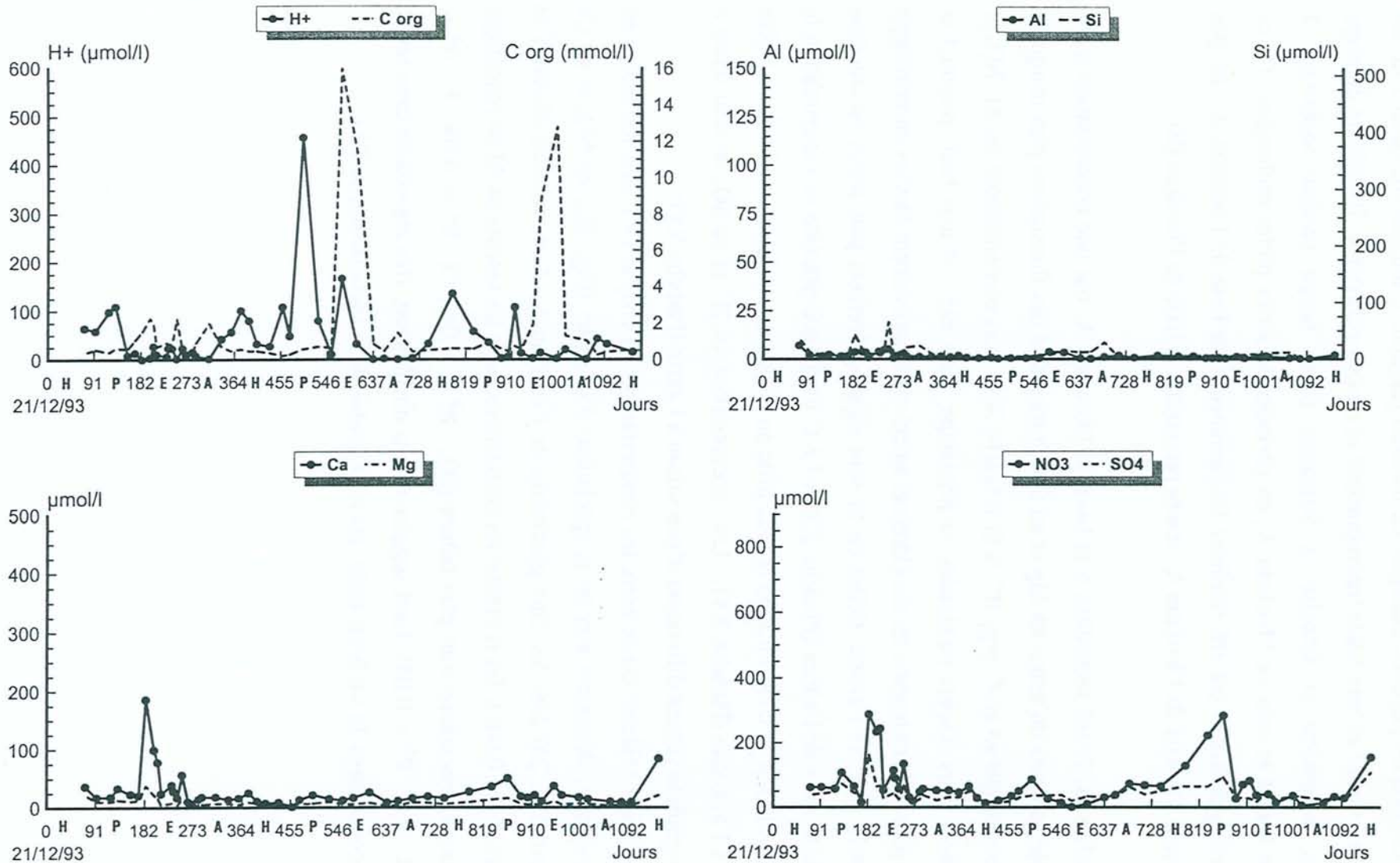


Planche XIII : teneurs des principaux éléments chimiques mesurées en continu (de février 94 à février 97) dans les pluviollessivats dans la station du sol brun acide.

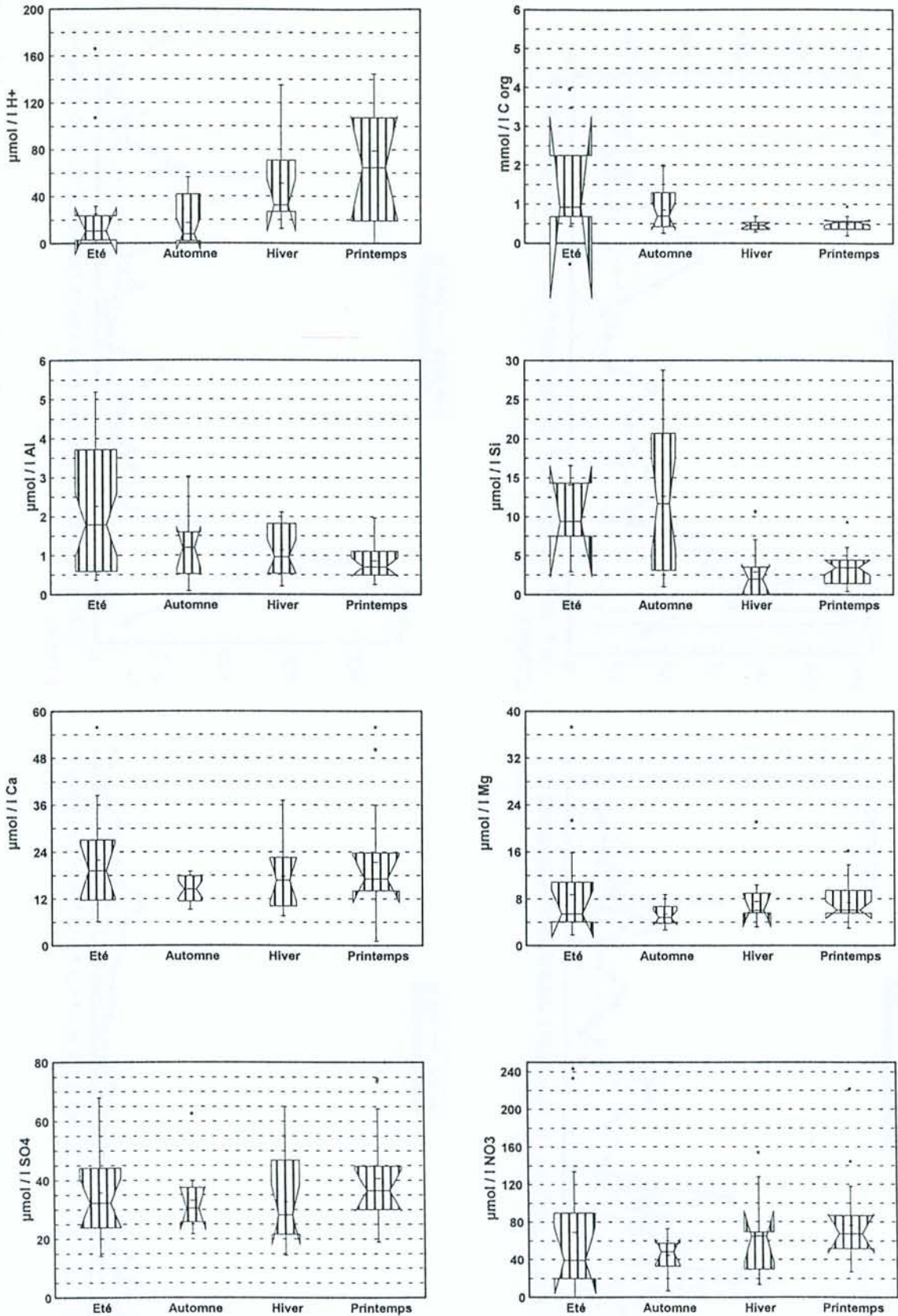


Planche XIV : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques dans les pluviollessivats dans la station du sol brun acide (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le t de Student au seuil de 95 %).



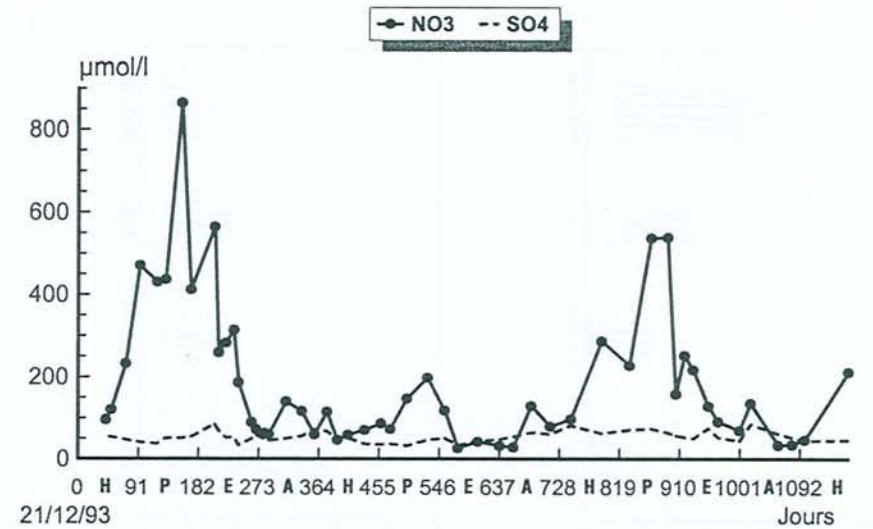
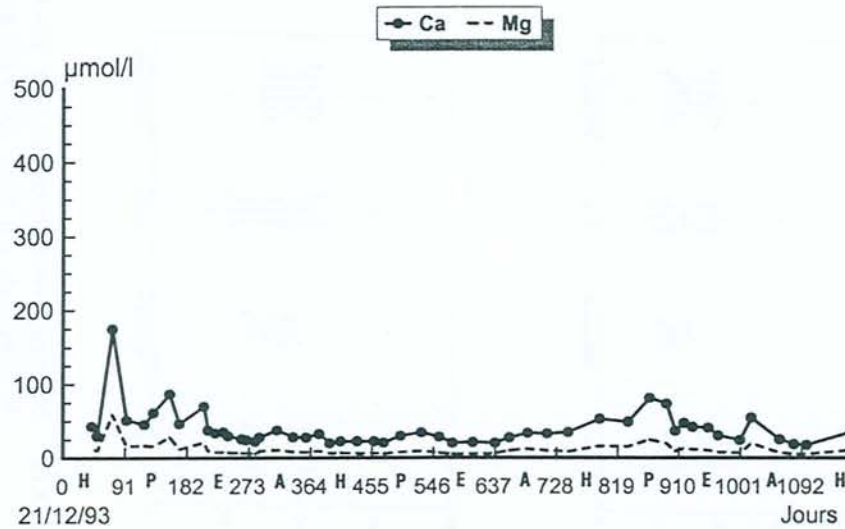
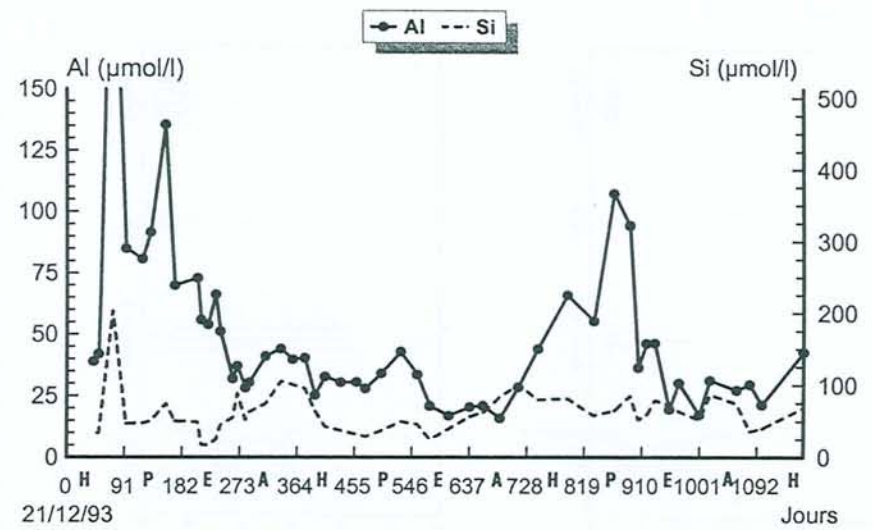
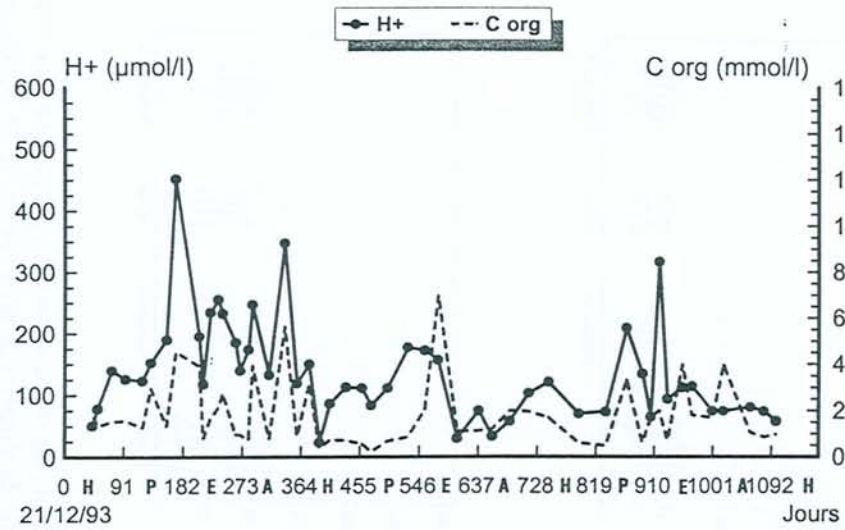


Planche XV : teneurs des principaux éléments chimiques mesurées en continu (de février 94 à février 97) dans les solutions du sol recueillies à la base de l'horizon A<sub>1</sub> du sol brun acide.

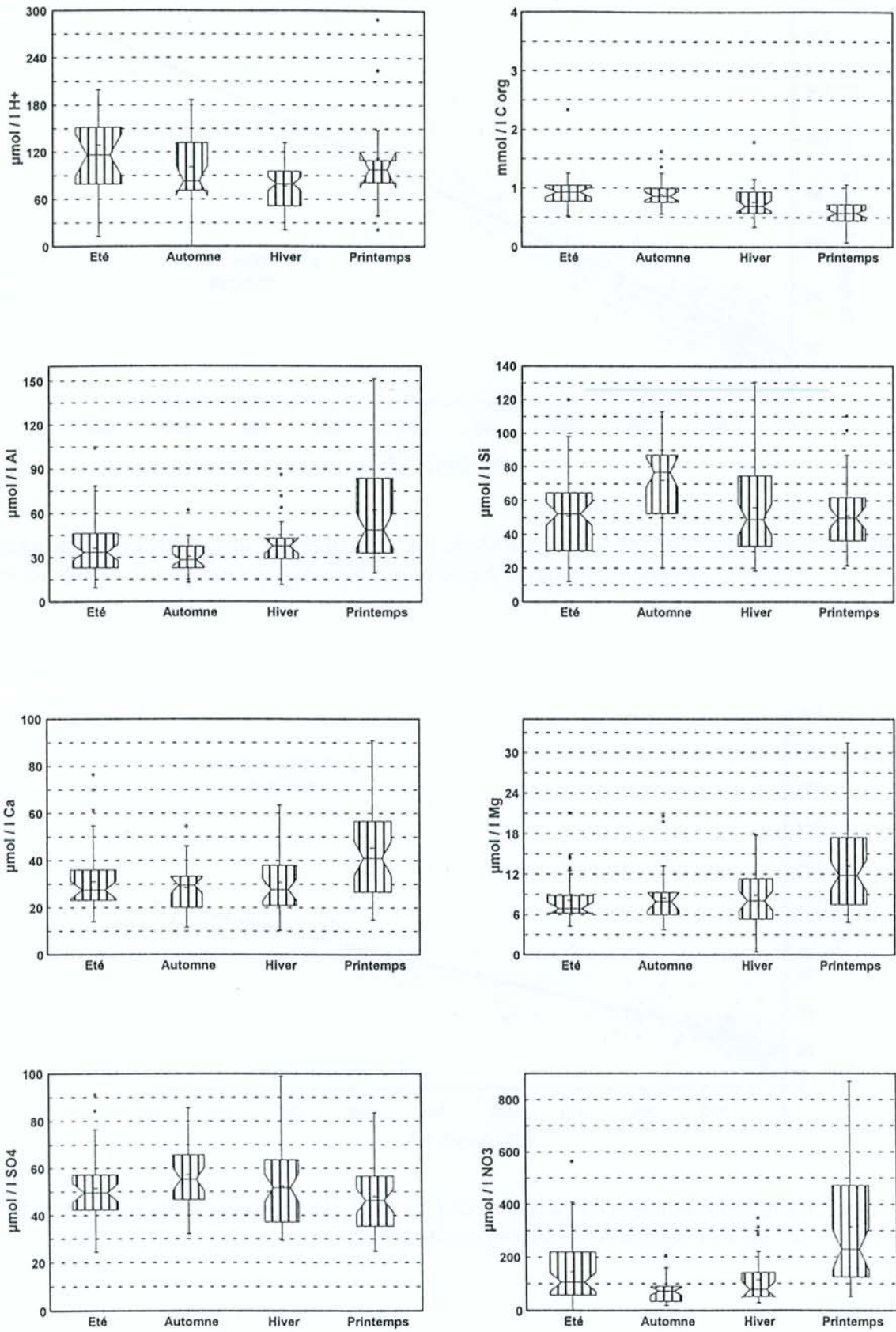


Planche XVI : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques dans les solutions de l'horizon  $A_1$  du sol brun acide (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le t de Student au seuil de 95 %).



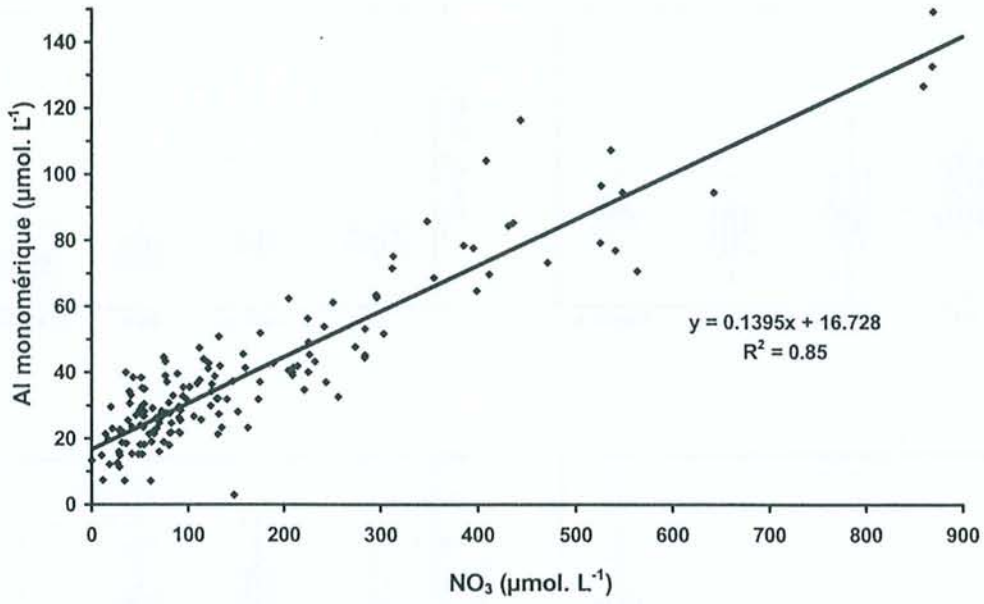


Figure 32 : corrélation entre les concentrations de l'Al monomérique (organique et inorganique) et  $\text{NO}_3$  dans les eaux lysimétriques récoltées à la base de l'horizon  $\text{A}_1$  du sol brun acide.

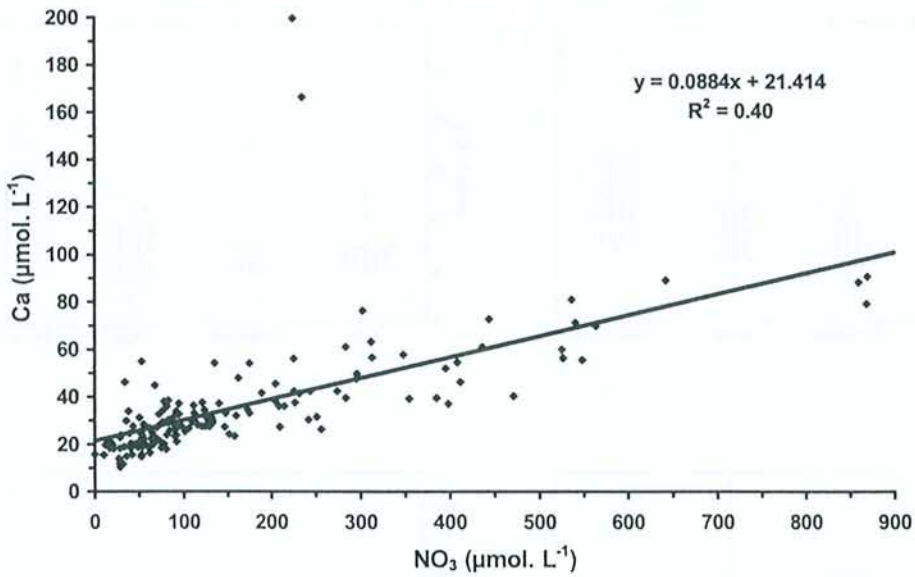


Figure 33 : corrélation entre les concentrations de Ca et  $\text{NO}_3$  dans les eaux lysimétriques récoltées à la base de l'horizon  $\text{A}_1$  du sol brun acide.

Les solutions du sol recueillies à la base de l'horizon A<sub>3</sub> ne présentent pas de variation saisonnière significative de leurs concentrations en H<sup>+</sup>, Al, NO<sub>3</sub>, Ca, Mg, Si, SO<sub>4</sub> et C org (Planches VII et VIII).

### **3 – Source drainant le sol brun acide**

La composition chimique globale de la source de la Blanche Fontaine a été quasiment constante tout au long de ces 3 années d'étude (planche XIX). Ceci est confirmé par les résultats de l'analyse statistique qui montrent que les teneurs saisonnières des concentrations médianes des principaux éléments (H<sup>+</sup>, Al, NO<sub>3</sub>, Ca, Mg, Si, SO<sub>4</sub>, C org) ne sont pas significativement différentes entre elles (Planche XX).



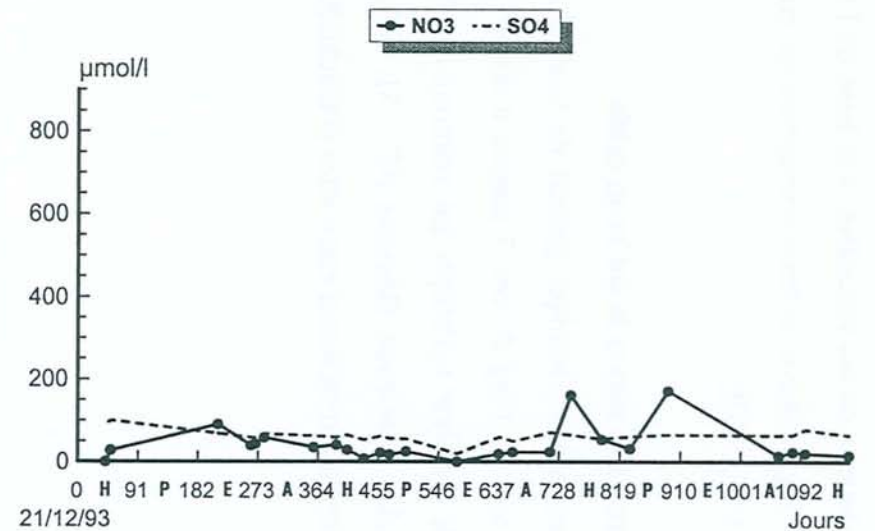
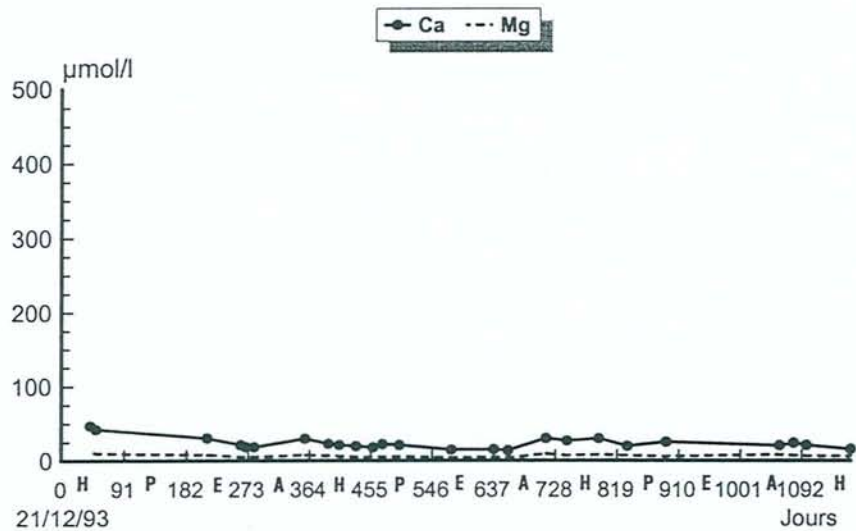
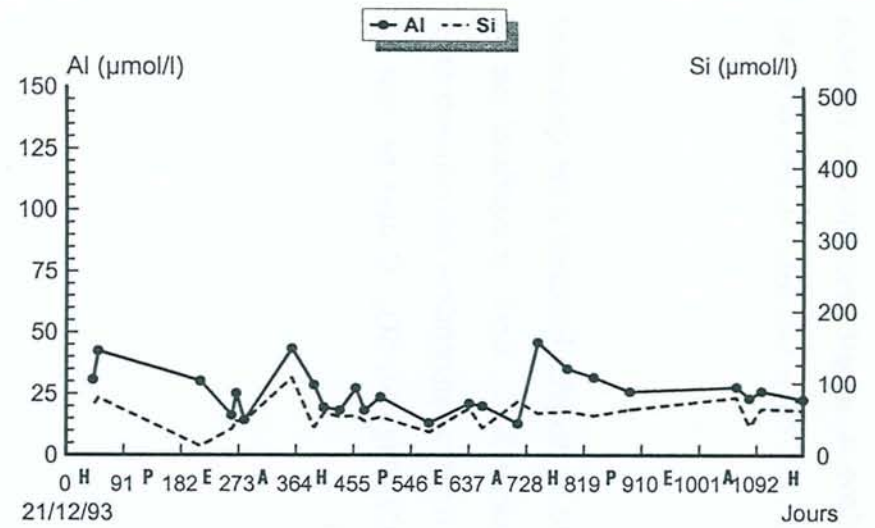
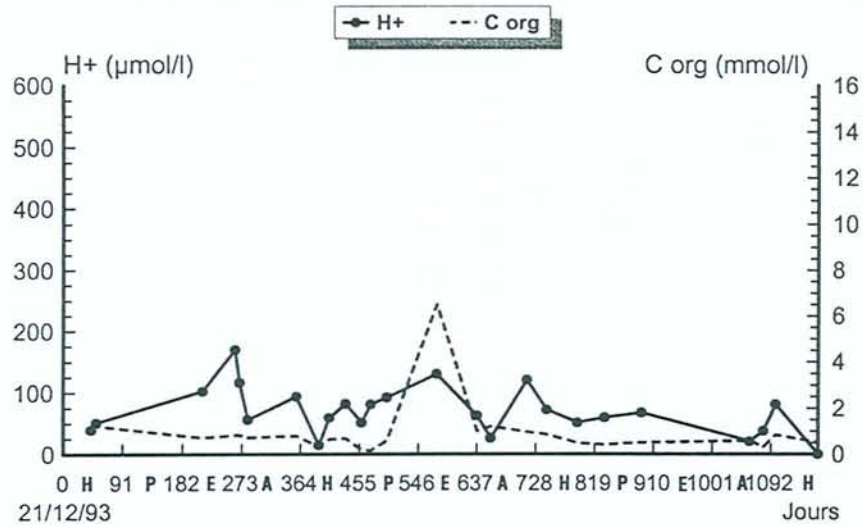


Planche XVII : teneurs des principaux éléments chimiques mesurés en continu (de février 94 à février 97) dans les solutions du sol recueillies à la base de l'horizon A<sub>3</sub> du sol brun acide.

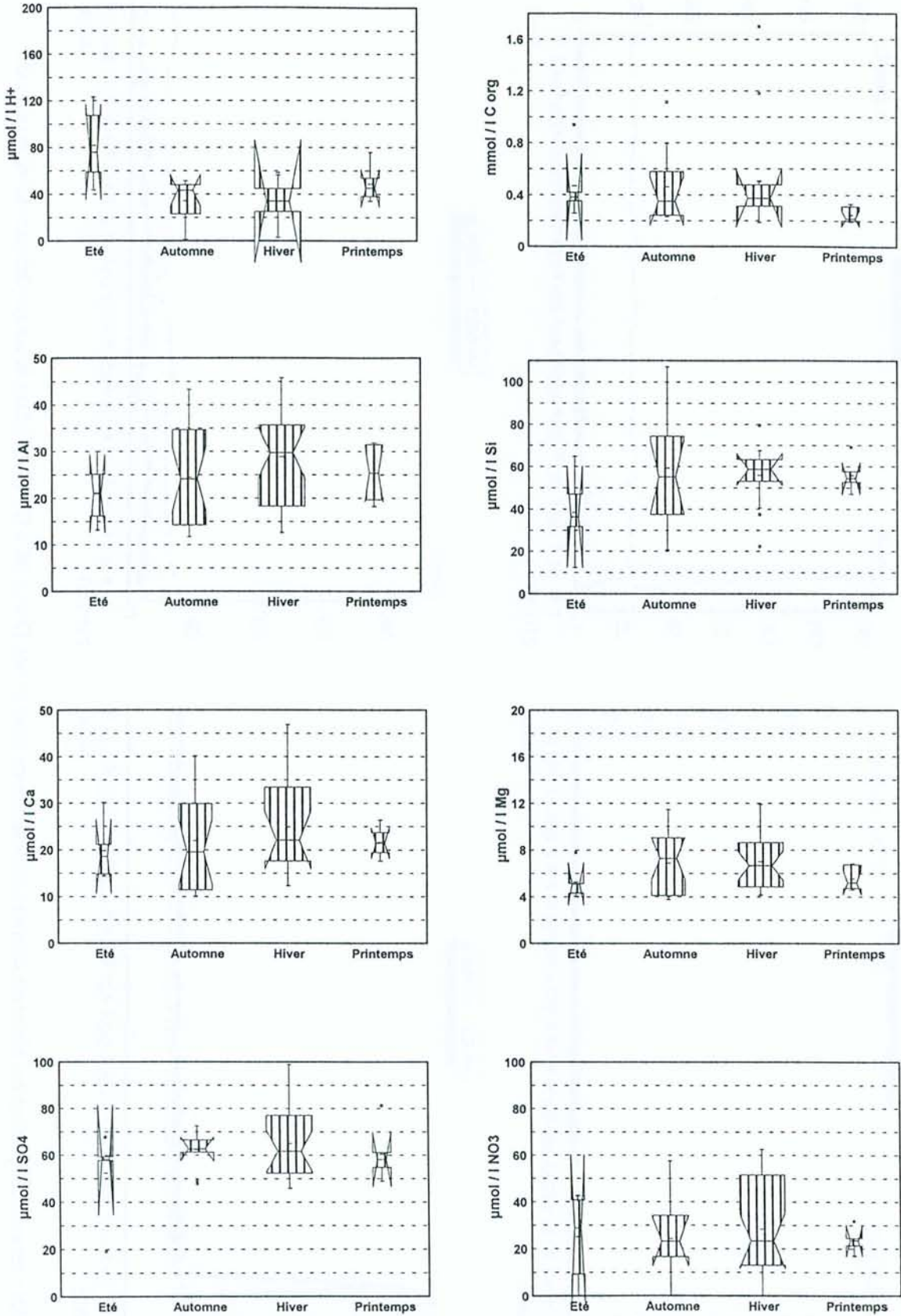


Planche XVIII : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques dans les solutions de l'horizon  $A_3$  du sol brun acide (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le  $t$  de Student au seuil de 95 %).



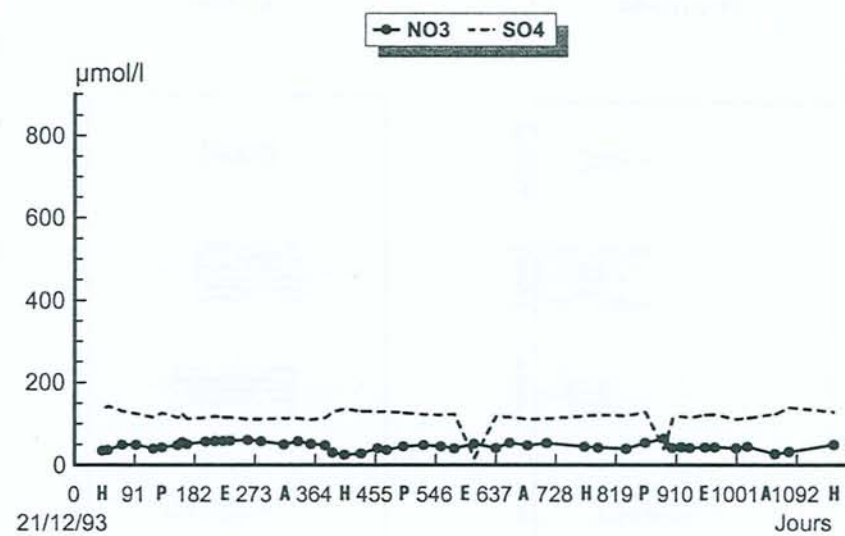
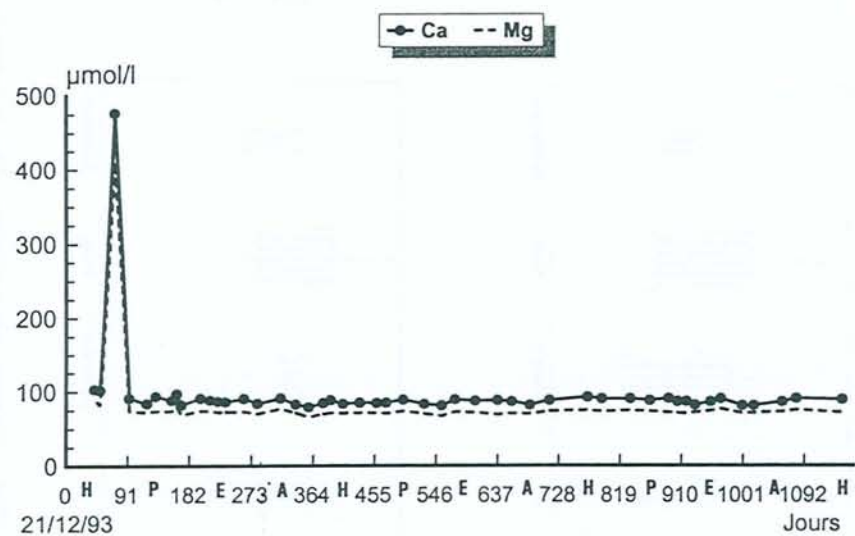
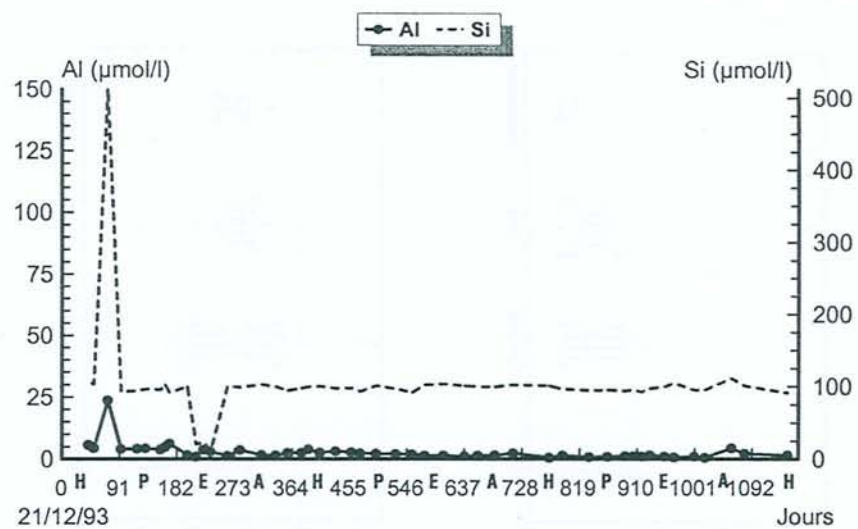
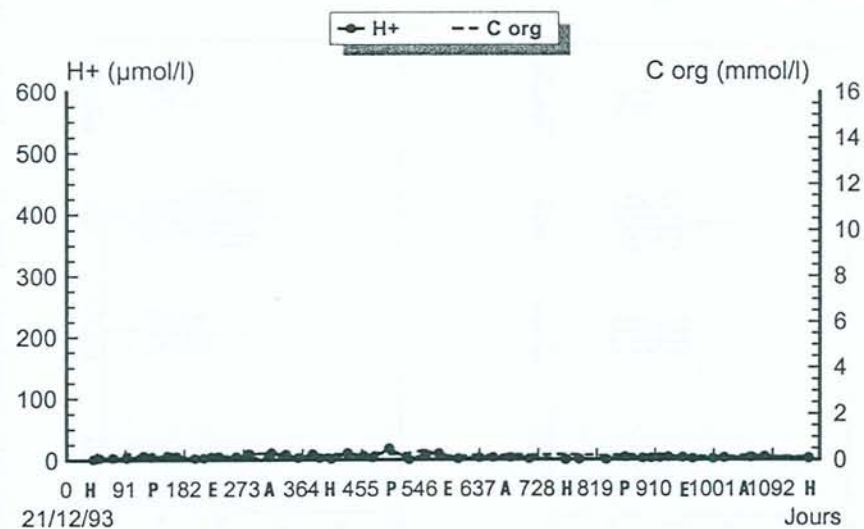


Planche XIX : teneurs des principaux éléments chimiques mesurées en continu (de février 94 à février 97) dans la source drainant le sol brun acide.

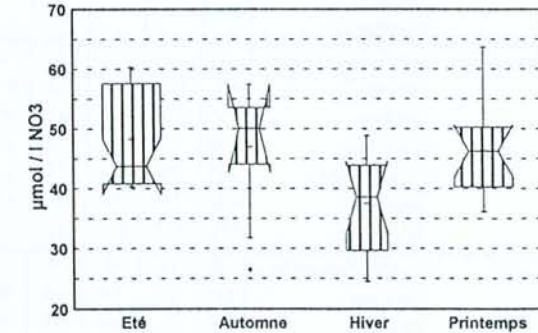
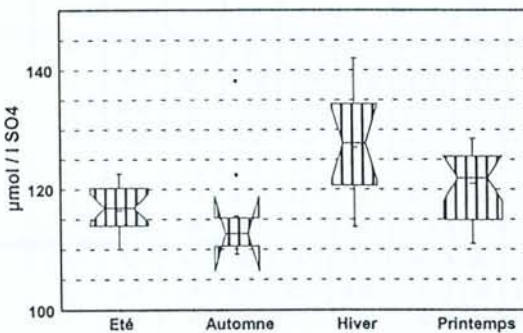
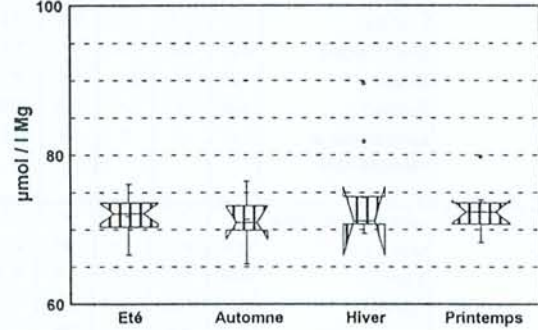
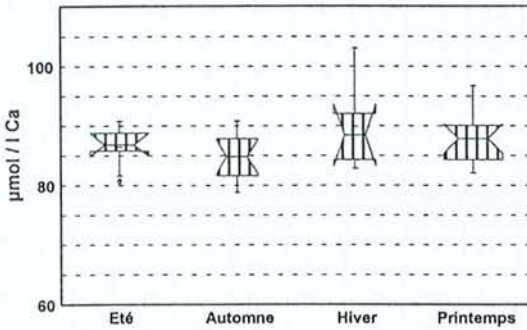
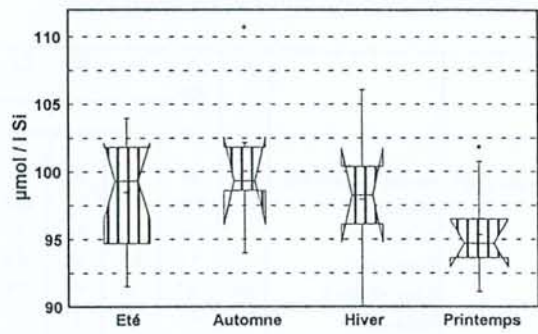
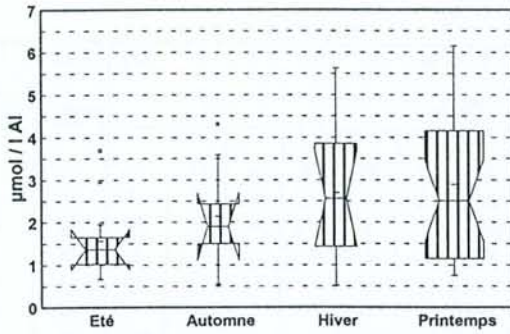
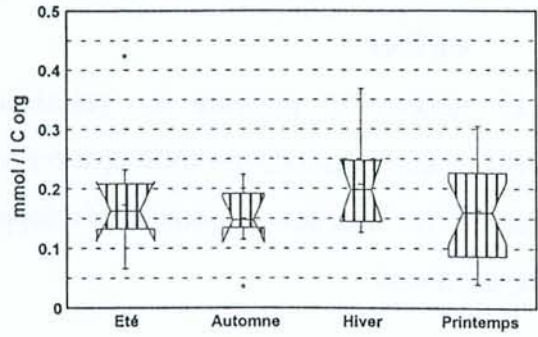
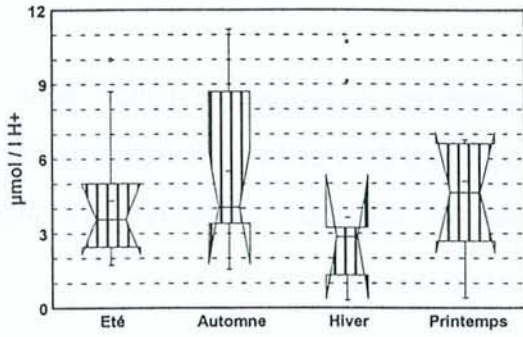


Planche XX : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques dans la source drainant le sol brun acide (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le  $t$  de Student au seuil de 95 %).



## B – Chimie comparée des pluviolessivats, des eaux gravitaires et des eaux de surface

Le tableau 12 présente les principaux paramètres statistiques calculés pour les principaux éléments dans les différents types d'eau étudiés dans ce bassin versant. La figure 34 donne les charges moyennes développées par ces différents éléments dans chaque catégorie d'eau.

Tableau 12 : chimie des pluviolessivats, des solutions gravitaires du sol et des eaux de surface sur 3 ans dans le bassin versant du sol brun acide.

		pH	μmol / l												C org mmol / l	ANC μéquiv / l	
			Al total	Fe	Mn	Ca	Mg	K	Na	Si	SO <sub>4</sub>	Cl	F	NO <sub>3</sub>			
Pluviolessivats	nombre d'échantillons	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64
	Moyenne	4.75	1.4	0.2	8.5	25.3	7.5	83.7	25	8	40.2	40.1	8.5	73	1.4	-82.5	
	Médiane	4.60	1.0	0.1	6.0	17.1	6	61.4	26.1	5	33.5	36.1	5.7	55.2	0.6	-57.5	
	Écart type	0.73	1.2	0.2	6.5	27.3	5.5	80.6	13.5	10.3	24.2	21.9	10.0	63.3	2.9	145	
	Erreur standard	0.09	0.1	0.0	0.8	3.4	0.7	10.1	1.7	1.3	3.0	2.7	1.3	7.9	0.4	18.1	
	Minimum	3.34	0.1	0.0	0.1	1.1	1.9	10.2	0.0	0	14.2	8.7	0.0	0.0	0.2	-773	
	Maximum	6.49	5.2	1.0	30.9	185	37.3	409.2	56.5	64.8	161.8	129.6	61.1	286.7	16	153	
Horizon A <sub>1</sub>	nombre d'échantillons	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	154	153	153		
	Moyenne	4.05	41.7	1.1	18.3	33.9	9.6	22.8	39.5	56.7	52.0	46.0	7.6	163.4	0.9	-101	
	Médiane	4.03	35.4	1.0	15.1	29.4	7.9	19.2	30.4	53.9	50.0	44.4	6.1	94.3	0.8	-75.2	
	Écart type	0.34	25.4	0.6	13.6	16.6	5.1	14.9	36.7	25.5	15.1	25.6	6.4	169.1	1.1	92.9	
	Erreur standard	0.03	2.0	0.1	1.1	1.3	0.4	1.2	3.0	2.1	1.2	2.1	0.5	13.6	0.1	7.5	
	Minimum	3.27	9.4	0.0	0.2	10.4	0.5	5.1	0.0	12.2	24.5	5.6	0.0	0.0	0.0	-524.5	
	Maximum	6.69	151.6	5.0	146	90.8	31.5	97.2	348	130.7	98.9	152.8	30.8	869.4	10	121	
	Coeff. médian de variabilité inter-lysimétrique <sup>1</sup>	1.02	1.6	2	1.5	1.6	1.4	2.3	1.5	1.7	1.4	1.6	1.8	2.1	1.4	0.6	
Horizon A <sub>3</sub>	nombre d'échantillons	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37		
	Moyenne	4.42	25.9	0.1	6.8	22.8	6.5	13.5	48.2	54.5	61.8	57.2	6.6	39.2	0.4	-64.1	
	Médiane	4.36	25.5	0.0	5.9	20.8	5.5	7.7	47.8	55.2	61.3	52.5	5.5	23.9	0.3	-52.4	
	Écart type	0.48	9.2	0.1	3.3	9.3	2.2	18.7	28.2	18.7	13.8	27.7	5.5	55.3	0.3	61.3	
	Erreur standard	0.08	1.5	0.0	0.5	1.5	0.4	3.1	4.6	3.1	2.3	4.6	0.9	9.1	0.1	10.1	
	Minimum	3.38	11.7	0.0	3.5	10.1	3.7	2.6	5.5	12.4	19.3	21.2	0.0	0.0	0.2	-360.0	
	Maximum	5.90	45.8	0.6	16.7	46.9	11.9	104.9	178.3	107	98.8	124.1	22.6	318	1.7	50.8	
	Coeff. médian de variabilité inter-lysimétrique <sup>1</sup>	1.1	2	1	1.2	2	1.7	4	1.6	1.2	1.2	1.6	2.7	5.2	1.3	0.3	
Horizon (B)	nombre d'échantillons	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4		
	Moyenne	4.70	13.6	0.0	5.2	67.6	5.6	7.9	45.2	32.7	92.6	63.3	7.8	42.9	0.3	-28.0	
	Médiane	4.63	13.9	0.0	5.8	46.7	6.4	10.2	47.8	37.4	88.0	60.3	1.5	36.8	0.2	-35.8	
	Écart type	0.20	7.7	0.0	3.4	31.7	3.4	5.0	28.8	19.9	17.4	24.3	12.3	42.6	0.4	21.8	
	Erreur standard	0.09	3.5	0.0	1.5	14.2	1.5	2.2	12.9	8.9	7.8	10.9	5.5	19.1	0.2	10.9	
	Minimum	4.55	5.6	0.0	0	43.7	0.0	0.0	0.0	0	73.6	35.0	0.0	5.1	0.0	-44.0	
	Maximum	5.06	24.9	0.1	9.2	109.7	9.2	12.8	73.9	54	117.3	101.9	28.7	114.4	1.0	3.7	
Source	nombre d'échantillons	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48		
	Moyenne	5.45	2.3	0.0	0.6	87.2	72.4	49.4	56.7	92.8	116.0	63.9	5.2	45.2	0.2	77.0	
	Médiane	5.45	1.8	0.0	0.5	86.8	71.8	48.6	56.5	97.4	117.6	64.7	4.1	44.3	0.2	71.4	
	Écart type	0.36	1.4	0.1	0.3	4.9	3.8	5.9	9.4	20.0	20.4	15.5	4.7	9.2	0.1	52.6	
	Erreur standard	0.05	0.2	0.0	0.0	0.7	0.5	0.8	1.4	2.9	2.9	2.2	0.7	1.3	0.0	7.6	
	Minimum	4.75	0.5	0.0	0.1	78.8	65.4	35.5	6.7	11.1	16.4	5.6	0.0	24.5	0.0	4.8	
	Maximum	6.50	6.2	0.6	1.4	103	89.6	66.5	73.9	110.7	142.0	124.1	17.9	63.7	0.4	328.2	

<sup>1</sup> : Médiane des rapports des valeurs maximales aux minimales dans les différents lysimètres par horizon pendant toute la période d'étude.

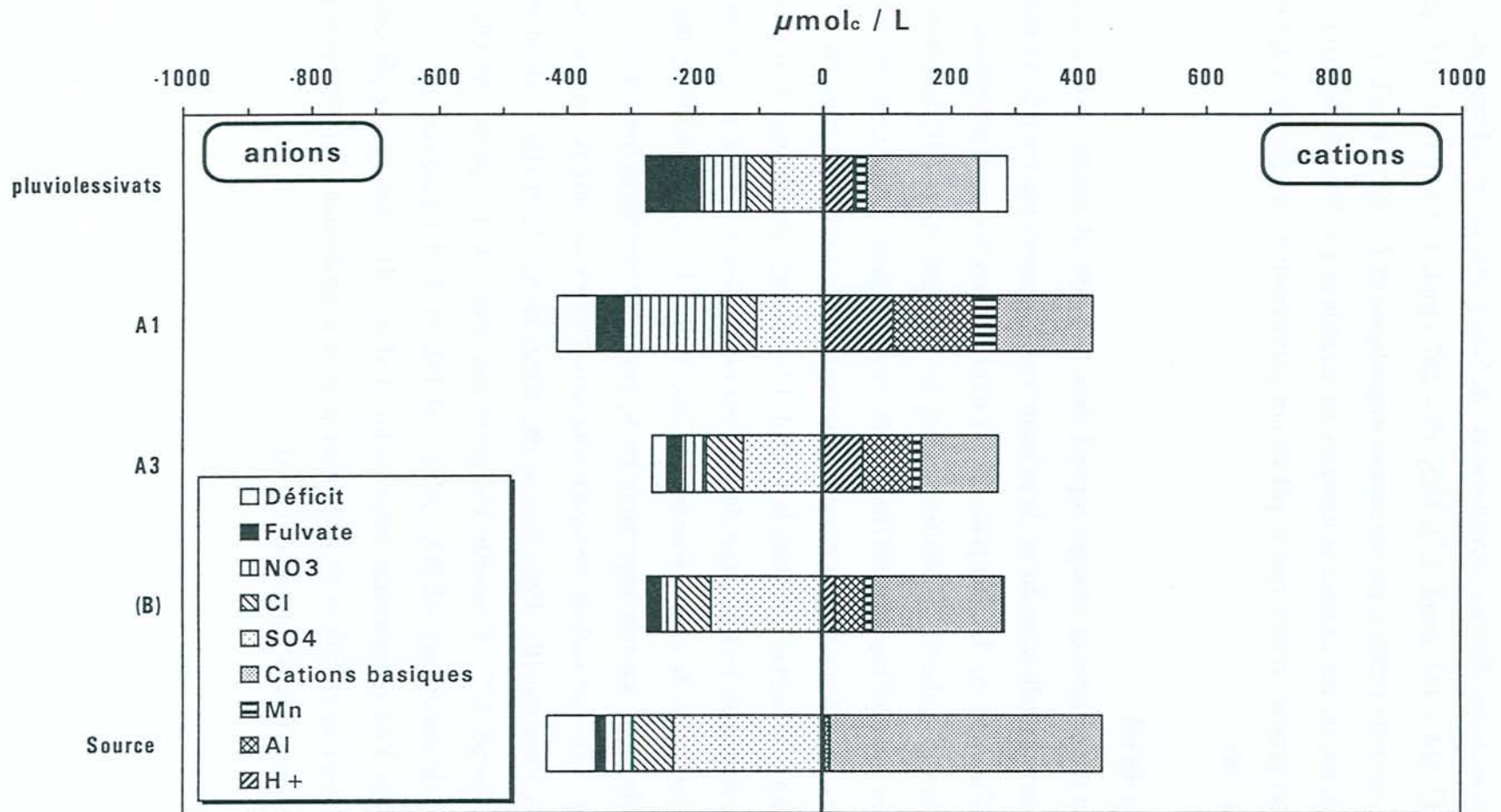


Figure 34 : diagramme de charges dans les pluvioléssivats, les solutions du sol et la source de Blanche Fontaine dans le bassin versant du sol brun acide (les anions et cations sont respectivement exprimés en valeurs négatives et positives) (moyenne sur 3 ans).



## 1 - Pluvioléssivats

Les charges anioniques dans les pluvioléssivats du bassin versant du sol brun acide sont apportées par  $\text{SO}_4^{2-}$  (14 – 161  $\mu\text{mol. L}^{-1}$ ),  $\text{NO}_3^-$  (0 – 287  $\mu\text{mol. L}^{-1}$ ) et  $\text{Cl}^-$  (9 – 130  $\mu\text{mol. L}^{-1}$ ), et, dans une moindre mesure, par les **anions organiques** (0,2 – 16  $\text{mmol. L}^{-1}$ ).

Une grande partie de ces charges anioniques est équilibrée par les cations basiques, le reste l'étant par les protons si bien que le **pH** de ces pluvioléssivats oscille entre 3,3 et 6,5 (tableau 12 et Fig. 34).

## 2 – Solutions du sol

L'examen du diagramme de charges reporté dans la figure 34 montre que les charges anioniques des eaux lysimétriques du sol brun acide sont dominées par les nitrates puis par les sulfates dans l'horizon  $A_1$ . La part prise par les nitrates décroît avec la profondeur tandis que celle prise par les sulfates, qui dominent dans les horizons  $A_3$  et (B), augmente. Les chlorures n'augmentent qu'imperceptiblement avec la profondeur (faible concentration par évapotranspiration). L'influence de la matière organique sur la chimie des eaux du sol brun acide est beaucoup plus réduite que dans le podzol. L'abondance des nitrates dans l'horizon  $A_1$ , dont les concentrations font plus que doubler par rapport aux pluvioléssivats, s'explique par le caractère nitrifiant de ce sol (Becquer *et al.*, 1990). La teneur moyenne des eaux gravitaires Al, Mn et  $\text{H}^+$  est très importante en  $A_1$  et décroît nettement avec la profondeur (tableau 12, Fig. 34). Les cations basiques sont minoritaires en surface puis deviennent majoritaires dans l'horizon (B). Dans chacun des horizons  $A_1$ ,  $A_3$  et (B), l'Al est surtout présent sous sa forme  $\text{Al}^{3+}$ , à laquelle s'ajoutent des traces de complexes Al-OH et de faibles quantités de complexes Al- $\text{SO}_4$ , Al-F, Al- $\text{PO}_4$  et d'Al organique, ainsi que des quantités variables d'Al polymérique et/ou colloïdal (Fig. 35). Bien que le pH des eaux augmente et que les concentrations en Al diminuent avec la profondeur, on n'observe pas de changements notables dans la spéciation de l'Al.

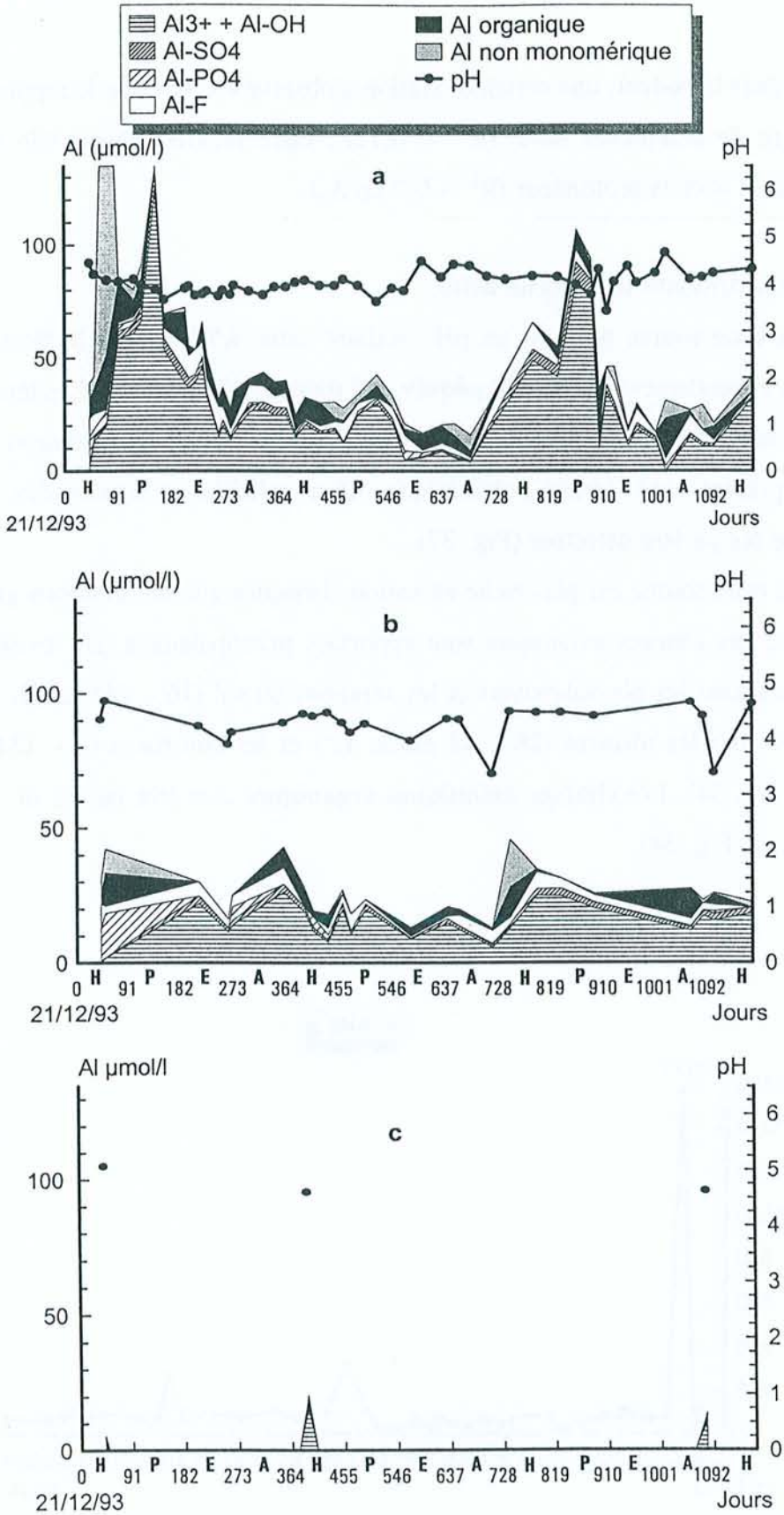


Figure 35 : spéciation de l'Al et pH dans les eaux gravitaires du sol brun acide [a = A<sub>1</sub>, b = A<sub>3</sub>, c = (B)] (H, P, E, A représentent les saisons).



Comme dans le podzol, une certaine relation s'observe en  $A_1$  entre le rapport  $F/Al_{total}$  et le pourcentage de complexes Al-F ( $R^2 = 0,72$ ) ; cette relation plus faible que dans le podzol, disparaît avec la profondeur ( $R^2 = 0,2$  en  $A_3$ ).

### 3 – Source drainant le sol brun acide

L'eau de cette source présente un pH oscillant entre **4,75** et **6,50** (tableau 12) et une ANC variant généralement de **5** à **328  $\mu\text{equiv. L}^{-1}$**  (tableau 12, Fig. 36). Les teneurs en Al y sont généralement très faibles et comprises entre **0,5** et **6,2  $\mu\text{mol. L}^{-1}$**  (tableau 12). Cet Al est surtout présent sous forme polymérique et/ou colloïdal et seules des traces d'Al monomérique ont pu être détectées (Fig. 37).

L'eau de cette source est plus riche en cations basiques que les solutions gravitaires du sol (Fig. 34). Les charges anioniques sont apportées principalement par les **sulfates**, plus concentrés que dans les pluviollessivats et les solutions du sol (**16 – 142  $\mu\text{mol. L}^{-1}$** ), et à un moindre degré par les **nitrate**s (**25 – 64  $\mu\text{mol. L}^{-1}$** ) et les **chlorures** (**6 – 124  $\mu\text{mol. L}^{-1}$** ) (tableau 12, Fig. 34). Les **charges anioniques organiques** sont très faibles (**0 – 0,4 mmol. L<sup>-1</sup>**) (tableau 12, Fig. 34).

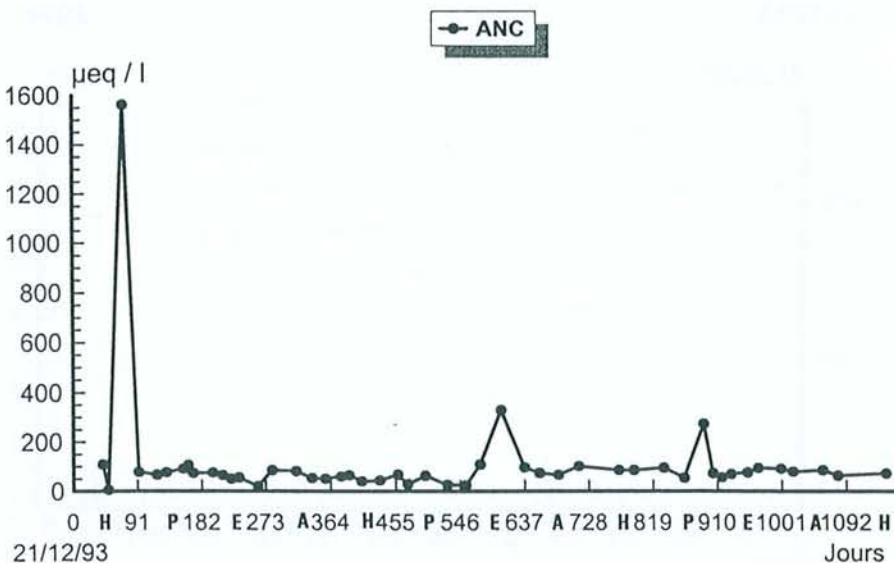


Figure 36 : ANC de la source drainant le sol brun acide.

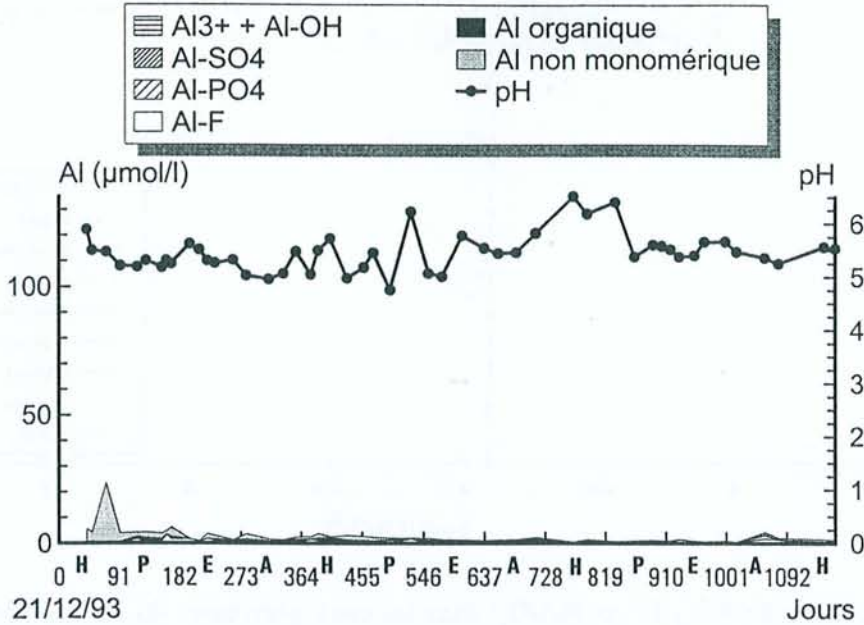


Figure 37 : spéciation de l'Al et pH dans les eaux de la source drainant le sol brun acide (H, P, E, A représentent les saisons).

## C – Contrôle de la solubilité de l'Al dans le bassin versant du sol brun acide

### 1 – Eaux gravitaires du sol

Les eaux gravitaires des horizons A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub> et (B) du sol brun acide sont sous-saturées par rapport à la gibbsite, à Al(OH)<sub>3</sub> amorphe, et aux silicoaluminates paracrystallins (Fig. 38). En outre, lorsque  $\text{Log}\{\text{H}_4\text{SiO}_4^0\}$  varie,  $\text{Log}\{\text{Al}^{3+}\} + 3 \text{pH}$  ne paraît pas changer et semble rester indépendant de l'activité de la silice (Fig. 38). Ces phases minérales ne contrôlent donc pas la solubilité de l'Al, pas plus qu'aucun autre aluminosilicate. Ces eaux sont également nettement sous-saturées par rapport à la jurbanite (Fig. 39) et à la basaluminite (Fig. 40). Ces 2 minéraux ne contrôlent donc pas solubilité de l'Al. Par contre la majorité des points forment un nuage dont la droite de régression constitue une parallèle située à toute proximité de la ligne de l'alunite (Fig. 41). Ceci suggère que la solubilité de l'Al est très probablement contrôlée par un minéral de composition et de stoechiométrie identiques à l'alunite mais de solubilité plus faible.



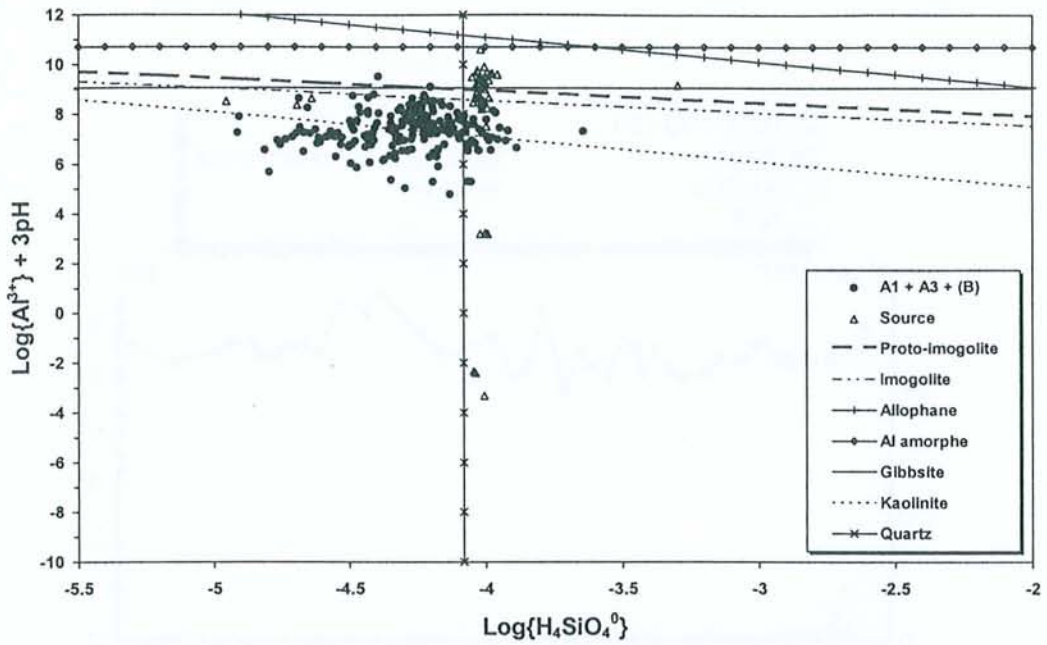


Figure 38 : activités de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$  et  $\text{H}_4\text{SiO}_4^0$  dans les eaux gravitaires du sol brun acide (symboles pleins) et les eaux de surface correspondantes (symboles creux) dans le système Al-Si- $\text{H}_2\text{O}$  par rapport à la solubilité de quelques phases minérales (lignes) (les {} représentent les activités ; calculs à  $20^\circ\text{C}$ ).

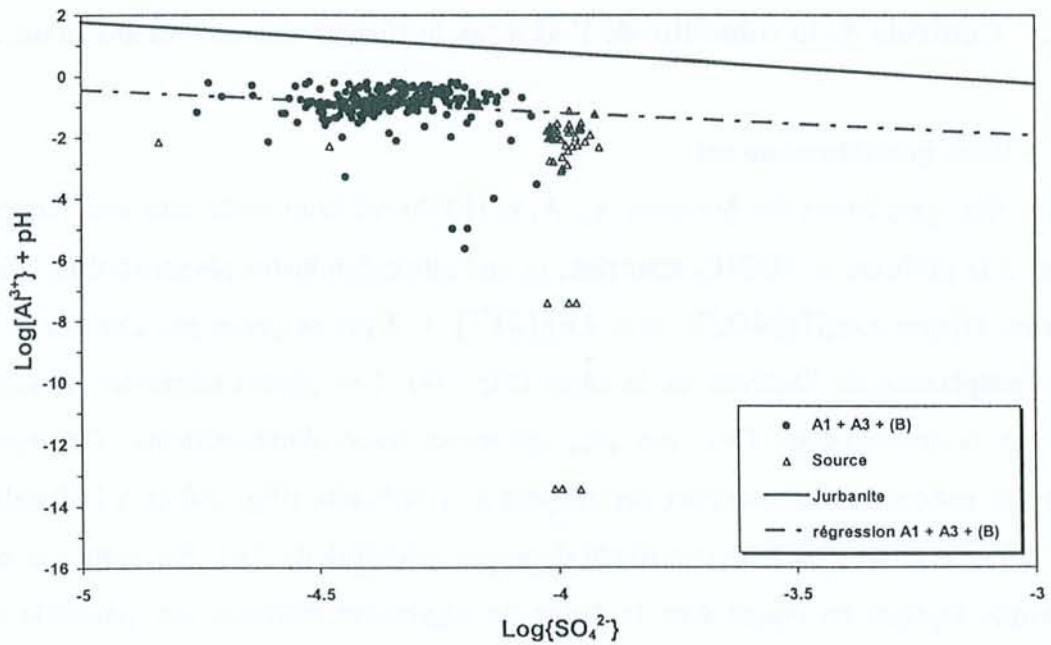


Figure 39 : activités de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  dans les eaux gravitaires du sol brun acide et dans les eaux de surface correspondantes dans le système Al- $\text{H}_2\text{O}$ - $\text{SO}_4$  par rapport à la solubilité de la jurbanite (les {} représentent les activités ; calculs à  $20^\circ\text{C}$ ).

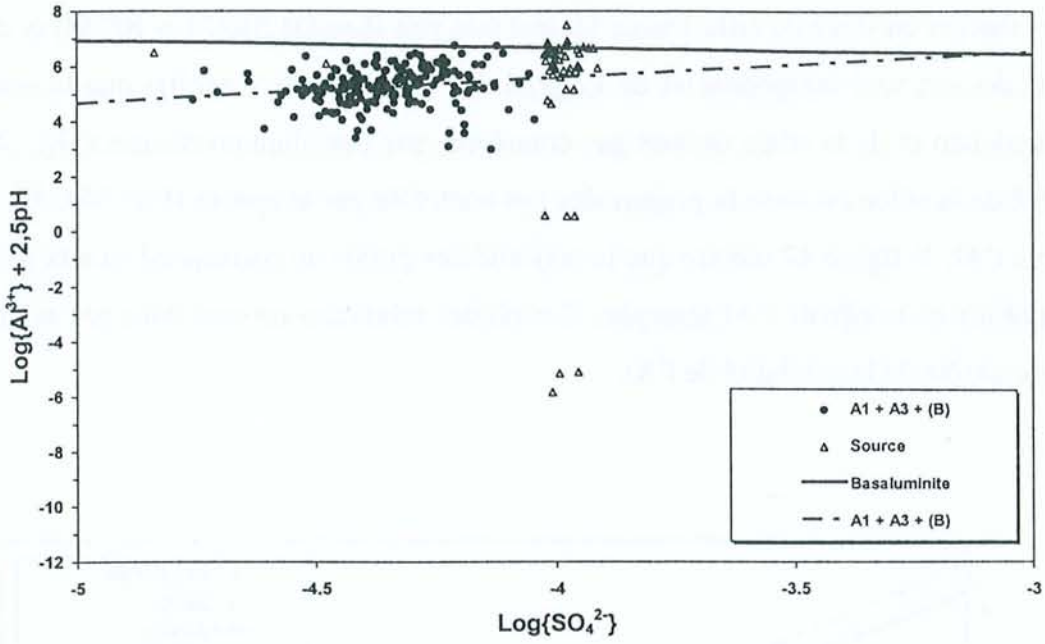


Figure 40 : activités de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  dans les eaux gravitaires du sol brun acide et dans les eaux de surface correspondantes dans le système  $\text{Al-H}_2\text{O-SO}_4$  par rapport à la solubilité de la basaluminite (les {} représentent les activités ; calculs à  $20^\circ\text{C}$ ).

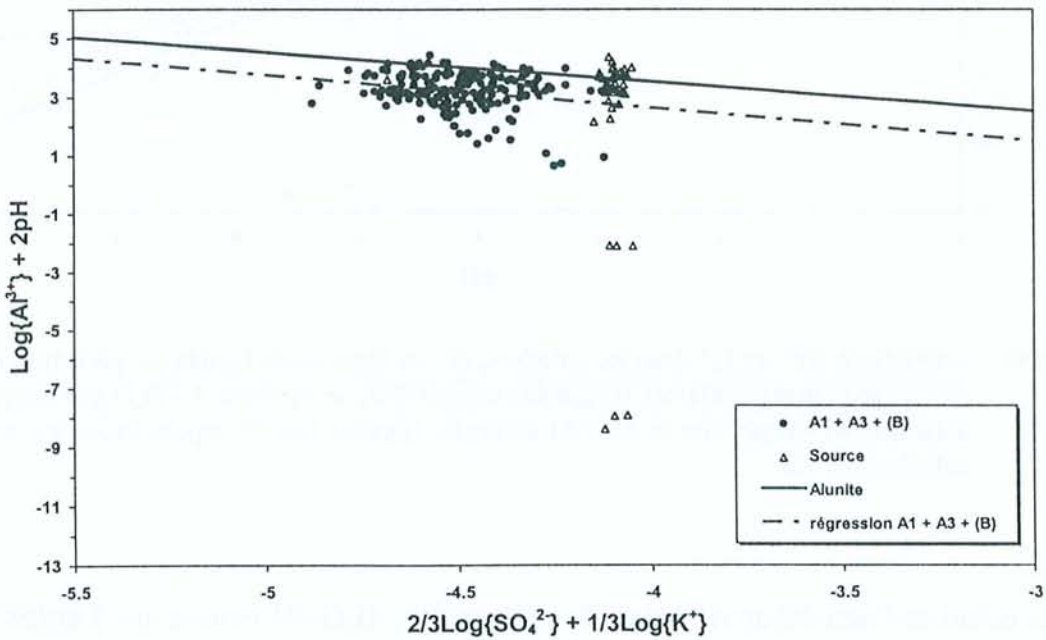


Figure 41 : activités de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{K}^+$  dans les eaux gravitaires du sol brun acide et dans les eaux de surface correspondantes dans le système  $\text{Al-SO}_4\text{-K-H}_2\text{O}$  par rapport à la solubilité de l'alunite (les {} représentent les activités ; calculs à  $20^\circ\text{C}$ ).



## 2 – Source drainant le sol brun acide

Les teneurs en silice de cette source varient très peu ( $\text{Log}\{\text{H}_4\text{SiO}_4^0\} \approx 10^{-4} \text{ M}$ ) et dans la majorité des cas sont indépendantes de  $\text{Log}\{\text{Al}^{3+}\} + 3 \text{ pH}$  ; ceci signifie que la solubilité de l'aluminium et de la silice ne sont pas contrôlées par des aluminosilicates (Fig. 38). La solubilité de la silice est dans la plupart des cas contrôlée par le quartz (Fig. 38). En ce qui concerne l'Al, la figure 42 montre que la majorité des points ne correspond ni à la solubilité de la gibbsite ni à celle de l'Al amorphe. Ces phases minérales ne sont donc pas impliquées dans le contrôle de la solubilité de l'Al.

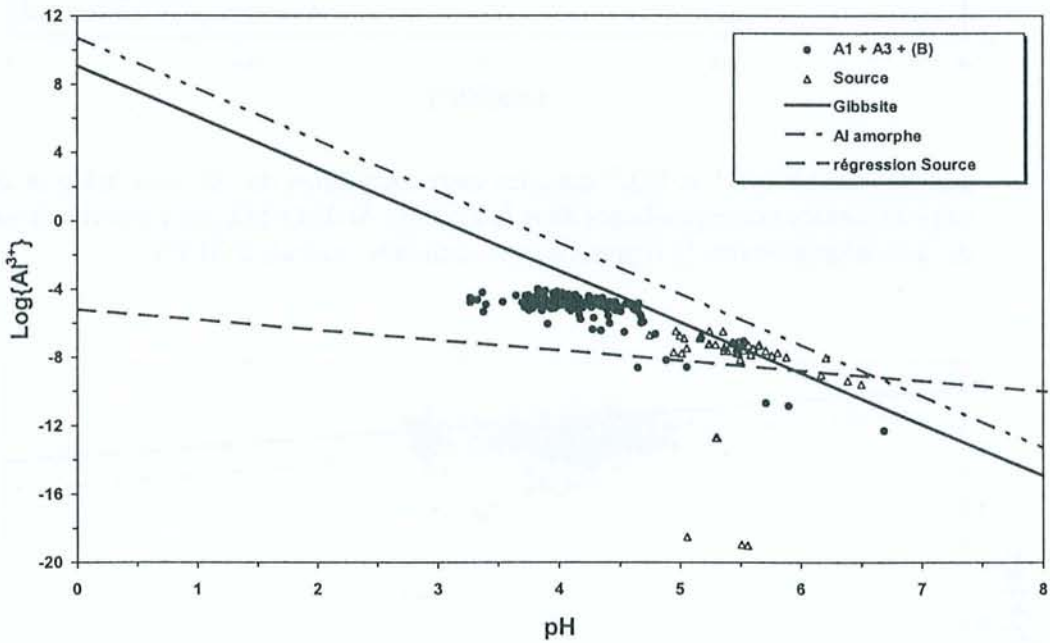


Figure 42 : activités de  $\text{Al}^{3+}$  et  $\text{H}^+$  dans les solutions du sol brun acide (symboles pleins) et les eaux de surface correspondantes (symboles creux) dans le système  $\text{Al-H}_2\text{O}$  par rapport à la solubilité de la gibbsite et de l'Al amorphe (lignes) (les  $\{\}$  représentent les activités ; calculs à  $20^\circ\text{C}$ ).

Le calcul de l'activité de  $\text{Al}^{3+}$  dans le système  $\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O-Al}$  montre que  $\text{Log}\{\text{SO}_4^{2-}\}$  est très peu variable et que ces eaux sont fortement sous-saturées par rapport à la jurbanite (Fig. 39) et légèrement sous-saturées par rapport à la basaluminite (Fig. 40), qui ne peuvent être impliquées dans le contrôle de la solubilité de l'Al. La majorité des points se regroupent cependant sur la ligne de l'alunite (Fig. 41), ce qui veut dire que cette phase minérale contrôle vraisemblablement la solubilité de l'Al dans cette source.

### III – DISCUSSION SUR LA CHIMIE DES EAUX ET LES PROCESSUS DE TRANSFERT DANS LES DEUX BASSINS VERSANTS ÉTUDIÉS

Le podzol étudié ici a atteint son maximum d'évolution : c'est un podzol humo-ferrugineux avec un horizon Bs aliotique. Il est fortement désaturé et, essentiellement quartzeux dans ses horizons éluviaux, n'a qu'une très faible réserve en minéraux primaires altérables. Sa CEC est dominée par l'Al échangeable et les protons. Ces derniers sont issus pour la plupart du métabolisme biologique et de la dissociation des acides organiques abondants dans les litières et l'humus. Ce sol se caractérise également par un fort déficit en Al et Fe dans ses horizons éluviaux et de fortes accumulations d'Al, de Fe et de Si dans ses horizons spodiques (Bh et Bs). Les mécanismes conduisant à ces redistributions en profondeur peuvent être identifiés par l'analyse des eaux gravitaires du sol. Un drainage vertical et rapide des horizons éluviaux  $A_0$  et  $A_2$  du podzol a permis de récolter régulièrement des eaux gravitaires riches en  $H^+$ , Al et en anions minéraux ( $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $F^-$  et parfois  $NO_3^-$ ). Ces anions ont une origine exogène, comme le montre la composition minéralogique de la roche mère, dépourvue de pyrites et de gypse, la constance des concentrations en F et en Cl des pluviolessivats au sol et aux sources et l'absence de nitrification dans ce sol.

Dans les horizons supérieurs ( $A_0$  et  $A_2$ ) du podzol, l'Al est mobilisé sous forme organique ce qui est en accord avec la "théorie des fulvates", mais également sous forme de complexes Al-F. L'origine atmosphérique du F, la présence de complexes Al-F et la très bonne corrélation existant entre eux et le rapport  $F/Al_{total}$  montre que la pollution atmosphérique est responsable d'une dérive de la spéciation de l'Al en solution par rapport à la situation qui prévaudrait en l'absence de pollution. A côté de ces 2 formes d'Al, on observe également dans les eaux gravitaires des horizons éluviaux des quantités variables d'Al polymérique et/ou colloïdal, ce qui, à première vue, pourrait être compatible avec la "théorie de la proto-imogolite". Ces eaux étant toujours largement sous-saturées par rapport à l'imogolite et la proto-imogolite, les conditions nécessaires à la formation de ces phases



minérales ne sont en réalité pas remplies, ce qui conduit à rejeter la théorie de la proto-imogolite de Farmer dans le cas présent. Ce résultat est en accord avec les observations reportées par Driscoll *et al.* (1985) et Dahlgren et Ugolini (1989) dans d'autres podzols aux U.S.A..

En fait, un tel compartiment d'Al polymérique et/ou colloïdal s'observe fréquemment dans les eaux des sols et les eaux de surface dans les Vosges, même lorsque celles-ci sont sous-saturées par rapport à toutes les phases minérales possibles (Boudot *et al.*, 1995b). Ceci montre que les compartiments Al monomérique et Al non monomérique ne sont pas en équilibre et suggère que le dernier d'entre eux provient de phénomènes d'arrachage mécanique affectant l'Al amorphe du sol lors de fortes pluies. Les **eaux gravitaires** (et les **eaux de rétention**) des horizons éluviaux sont en outre fortement sous-saturées par rapport à la gibbsite, à l'Al amorphe, et à tous les aluminosilicates et sulfates d'aluminium basiques possibles, si bien que l'activité de  $Al^{3+}$  est sans doute plus à mettre en rapport avec des processus d'échange entre  $Al^{3+}/H^+$  au niveau de la partie solide du sol (organique et/ou minérale) qu'avec un contrôle par une phase minérale donnée. De tels processus ont été déjà évoqués pour le contrôle de la solubilité de l'Al dans ce type de sols (Bloom *et al.*, 1979 ; Driscoll *et al.*, 1985 ; Dahlgren et Ugolini, 1989b ; Cronan *et al.*, 1986 ; Walker *et al.*, 1990).

En ce qui concerne l'horizon Bs, le calcul de l'activité de  $Al^{3+}$  dans le système Al-H<sub>2</sub>O-Si montre une possibilité du contrôle de la solubilité de l'Al par la gibbsite, la proto-imogolite ou l'imogolite. Parmi ces 3 phases minérales, la présence d'aluminosilicates paracrystallins et en particulier d'imogolite, fait classique dans les horizons Bs des podzols, est attestée dans le cas présent par les plus fortes quantités d'Al et de Si extraites au tampon oxalate qu'au tampon C.B.D. (annexe 6). Le contrôle de l'Al par de tels produits est donc tout à fait possible dans l'horizon Bs. Par ailleurs, la nature alliotique des horizons spodiques très peu perméables, favorise **la formation d'une nappe perchée à écoulement latéral à l'interface des horizons éluviaux et des horizons spodiques**. Dans les périodes de forte précipitations, ces eaux alimentent rapidement les sources drainant le bassin versant podzolique, et celles ci peuvent occasionnellement hériter d'une partie de l'Al qui préexistait à la base des horizons éluviaux. Si cet héritage peut expliquer la présence d'Al organique et de complexes Al-F dans les sources, il n'explique pas l'existence dans ces



dernières d' $\text{Al}^{3+}$  et de complexes  $\text{Al-SO}_4$ , qui ne préexistaient pas à la base des horizons éluviaux.

Une 1<sup>ère</sup> explication pouvant rendre compte de l'apparition de ces espèces dans les sources incriminerait une décomplexation partielle de l'Al organique et/ou des complexes Al-F à l'interface horizons éluviaux/horizons spodiques. Ceci impliquerait une variation importante du pH des solutions du sol, qui devrait être **< 2 ou > 5 pour obtenir une décomplexation des complexes Al-F, < 3 ou > 6 ou 7 pour une décomplexation de l'Al organique**. A la base des horizons éluviaux, le pH des eaux lysimétriques est compris entre 3,1 et 4,5 ; celui des horizons spodiques est du même ordre de grandeur (pH = 3,7 au niveau du Bh ; 4 et 4,4 au sommet et au milieu du Bs) et au niveau des sources, le pH est également très bas lors des périodes de stress Al (pH = 3,9 à 5,9). Ceci ne peut rendre compte d'une décomplexation des complexes Al-F et Al-org préexistant à la base des horizons éluviaux. La seule autre hypothèse pouvant expliquer l'apparition de nouvelles espèces d'Al dans les sources par rapport aux eaux gravitaires des horizons éluviaux impliquerait à la fois une adsorption d'une grande partie de l'Al organique à l'interface horizons éluviaux/horizons spodiques (poursuite de la formation de l'horizon Bh) et une redissolution progressive de la partie supérieure de l'horizon Bs. Le 1<sup>er</sup> terme de cette hypothèse est attesté par la bien plus faible teneur en C organique des sources par rapport aux eaux du sol à la base des horizons éluviaux. La redissolution du sommet du Bs et le transfert de l'Al inorganique aux eaux de surface sont quant à eux rendus possibles par la persistance de l'acidité dans les eaux entre la base du Bs et les sources et par la présence d'anions minéraux mobiles d'acides forts ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ) (Christophersen et Wright, 1981 ; Hendershot *et al.*, 1991) ; ceci est favorisé par les entrées atmosphériques, la production de  $\text{H}^+$  associée au déstockage de  $\text{SO}_4^{2-}$  à partir du sol (désorption des sulfates atmosphériques préalablement adsorbés et minéralisation du S organique) et par la pauvreté de la roche mère en minéraux altérables. Une preuve supplémentaire attestant de l'existence de processus de redissolution au niveau de l'horizon Bs est apportée par les caractéristiques chimiques des très faibles quantités d'eau traversant cet horizon, neutres mais riches en diverses formes d'Al stables à ce pH, et particulièrement concentrées en  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{NO}_3^-$ . Ceci ne peut être attribué qu'à une complète neutralisation de l'acidité initiale des eaux qui y percolent par redissolution des produits amorphes et paracristallins préalablement accumulés, avec relargage des anions minéraux associés. L'influence des sulfates, et donc



des dépôts atmosphériques, sur la chimie de l'Al dans le bassin versant podzolique est par ailleurs confirmée par le fait que la solubilité de l'Al dans les eaux de surface paraît être contrôlée par un sulfate d'aluminium basique, l'alunite.

Malgré leur pH sensiblement plus élevé que celui des eaux de drainage des horizons éluviaux du podzol, les eaux gravitaires recueillies à la base de l'horizon A<sub>1</sub> du **sol brun acide** sont plus concentrées en Al. Ceci peut être mis au compte de la plus grande richesse en Al échangeable, en Al amorphe et en minéraux altérables de ce sol. La forte corrélation observée entre les teneurs en NO<sub>3</sub> et en Al, surtout en Al monomérique, montre que la nitrification est le principal moteur de la mobilisation de l'Al dans ce sol. Cet Al migre essentiellement sous forme d'Al<sup>3+</sup>, auquel s'ajoutent en moindres proportions des complexes Al-SO<sub>4</sub> et Al-F. Pour les mêmes raisons que celles citées précédemment pour le podzol (nature minéralogique de la roche mère, constance des concentrations en fluor des pluviollessivats au sol et aux eaux de surface), les anions SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> et F<sup>-</sup>, dans le sol brun acide sont issus des dépôts atmosphériques, si bien que les faibles quantités des complexes Al-SO<sub>4</sub> et Al-F constituent ici aussi la signature de la pollution atmosphérique. La proportion des espèces Al-F dans ces solutions est toutefois moindre que dans les eaux gravitaires des horizons éluviaux du podzol, car bien que les apports en fluor soient comparables, le rapport F/Al<sub>total</sub> est plus bas. Les concentrations en Al diminuent avec la profondeur en réponse à l'élévation du pH, qui peut être attribuée à la disparition progressive des nitrates (immobilisation biologique et/ou dénitrification) et à la richesse en minéraux altérables et en argiles du sol.

A l'instar du podzol, les paramètres thermodynamiques des **eaux gravitaires** (et des **eaux de rétention** des 2 horizons supérieurs) montrent que la gibbsite, l'Al amorphe, les aluminosilicates, la jurbanite et la basaluminite ne contrôlent en aucun cas la solubilité de l'Al dans le sol brun acide. Cependant l'hypothèse d'un contrôle de l'activité de Al<sup>3+</sup> par un minéral de composition et de stœchiométrie identiques, mais un peu moins soluble que l'alunite, peut être retenue dans ce sol, en relation avec les apports atmosphériques en SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

L'étude de la fraction argileuse de ce sol aux rayons X nous a montré que les vermiculites, abondantes dans les horizons A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub>, (B) et (B)/C, ne sont pas des vermiculites alumineuses (planche I). On ne peut donc pas attribuer la disparition de l'Al avec la profondeur à la rétrogradation de l'Al entre les feuillettes des vermiculites et à la formation de vermiculites hydroxy-alumineuses, pourtant fréquentes dans les sols tempérés

acides, notamment dans les sols bruns acides des Vosges (Hetier et Tardy, 1969 ; Fichter, 1997). La formation d'un sulfate d'Al basique paraît plus vraisemblable.

La figure 43 suggère que la formation d'alunite peut précisément, dans certaines gammes de concentrations en K et  $\text{SO}_4$ , avoir un effet inhibiteur sur la formation de vermiculites alumineuses, en maintenant l'activité de l' $\text{Al}^{3+}$  à un niveau inférieur à celui qui est requis pour la formation du feuillet gibbsitique des vermiculites.

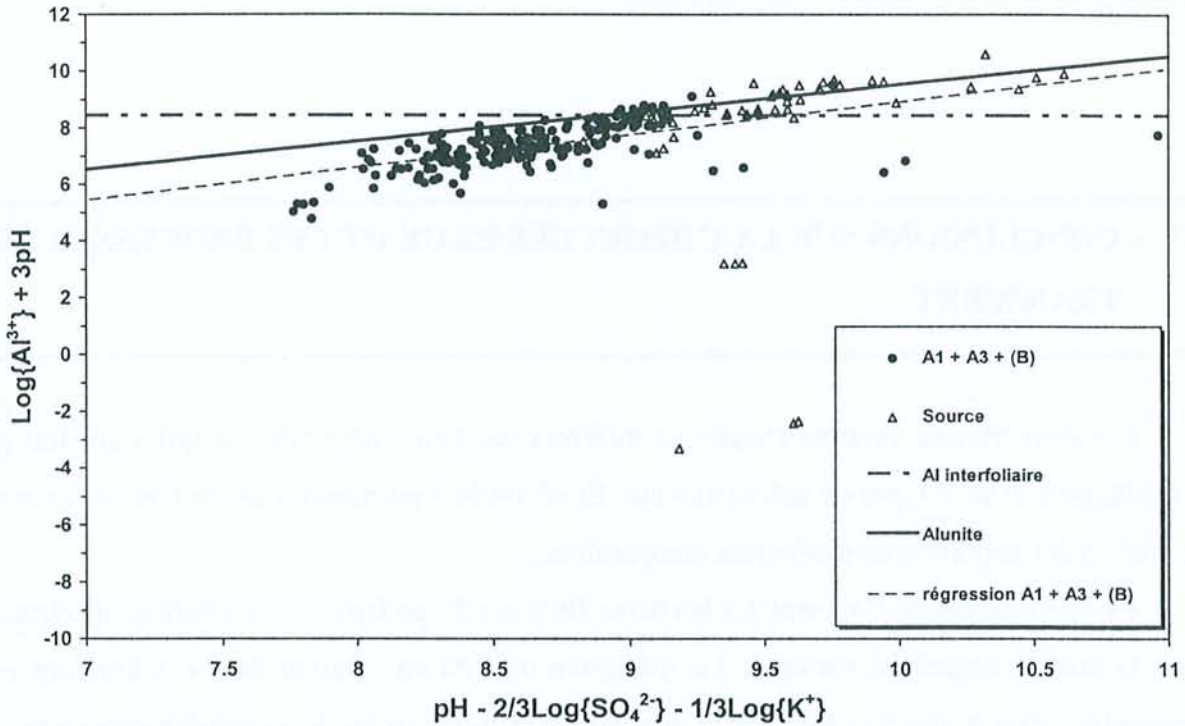


Figure 43 : activités de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{K}^+$  dans les eaux gravitaires du sol brun acide et dans les eaux de surface correspondantes dans le système  $\text{Al-SO}_4\text{-K-H}_2\text{O}$  par rapport à la solubilité de l'alunite et de l'Al interfoliaire des vermiculites (les {} représentent les activités ; calculs à  $20^\circ\text{C}$ ).

Un tel contrôle de la solubilité de l'Al par des sulfates d'Al basiques a été suggéré à plusieurs reprises dans le passé. Van Breemen (1973) et Khanna *et al.* (1987) attribuent le contrôle de la solubilité de l'Al à la jurbanite dans différents types de sols (sols sulfatés acides et des sols bruns tempérés). Adams et Rawajfih (1977), Wolt et Adams (1979), Adams et Hajek (1978), Wolt (1981), et Wolt *et al.* (1992) l'attribuent à la basaluminite et/ou à l'alunite dans des ultisols de climat humide et des andosols tropicaux, ainsi que dans



des sols alluviaux. D'autres études suggèrent que la rétention des sulfates dans les sols acides relève plus de mécanismes d'adsorption des sulfates sur les oxyhydroxydes d'Al et de Fe, et dépend du pH, que de réactions de précipitations/dissolution de sulfates d'Al basiques (Chao *et al.*, 1964 ; Gebhardt et Coleman, 1974 ; Rajan, 1979). Nos données paraissent très compatibles avec la première de ces hypothèses.

En conséquence de la disparition de l'Al des solutions du sol brun acide avec la profondeur, seules des traces d'Al monomérique parviennent la plupart du temps aux eaux de surface correspondantes. Là encore l'activité de l' $Al^{3+}$  paraît être compatible avec un contrôle de la solubilité de l'Al par l'alunite.

#### IV – CONCLUSIONS SUR LA CHIMIE DES EAUX ET LES PROCESSUS DE TRANSFERT

Les deux bassins versants étudiés ici diffèrent par leur roche mère ce qui a conduit au développement de 2 types de sols différents. Étant situés à proximité l'un de l'autre, ils sont soumis à des apports atmosphériques comparables.

La mobilisation de l'Al dans les horizons éluviaux du podzol est essentiellement assurée par la matière organique dissoute. La spéciation de l'Al en solution dans ces horizons est contrôlée quant à elle à la fois par la dissolution et dissociation de la matière organique et par la pollution atmosphérique en F. La majeure partie de l'Al organique précipite au niveau de l'horizon Bh, qui continue actuellement à se former, tandis qu'une grande part des complexes Al-F est transférée aux eaux de surface par écoulement latéral d'une nappe temporaire lors des épisodes pluvieux importants. Contrairement à l'horizon Bh, l'horizon Bs semble bien subir une redissolution progressive dans sa partie supérieure lors de l'écoulement de cette nappe, qui conduit à l'apparition de fortes concentrations d' $Al^{3+}$  en solution aisément transféré jusqu'aux cours d'eau. Ceci s'effectue essentiellement sous l'influence des ions minéraux d'acides forts apportés par la pollution atmosphérique. L'influence des faibles quantités de matière organique entraînée jusqu'aux cours d'eau ne peut être tenue pour responsable du transfert d'Al inorganique du sol aux cours d'eaux,

mais simplement de leur contamination en Al organique, qui reste faible. En d'autres termes les eaux courantes sont acides et contaminées par des formes toxiques d'Al minéral (surtout  $Al^{3+}$ ) non pas du seul fait de la présence de sols acides dans leur bassin versant, mais à cause des dépôts atmosphériques sur des sols acides. Cette influence des apports atmosphériques sur la chimie des eaux est confirmée par le fait que la solubilité de l'Al dans les eaux courantes paraît bien être assurée par un sulfate d'Al basique, l'alunite, alors même qu'elle reste régie par des processus d'échange entre  $H^+$  et Al au niveau des horizons éluviaux du sol, et par des silicoaluminates paracrystallins apparentés à l'imogolite dans l'horizon Bs.

Dans le sol brun acide, la mobilisation de l'Al est essentiellement assurée dans les horizons de surface par les nitrates restant en excès après les prélèvements biologiques, et s'effectue surtout sous forme d' $Al^{3+}$  ; quelques espèces mineures d'Al (Al organique, Al-F, Al- $SO_4$ , Al polymérique et/ou colloïdal) s'y ajoutent. Avec la profondeur, l'Al disparaît progressivement des solutions du sol du fait d'un environnement moins acide et pourrait contribuer à la formation d'un sulfate d'aluminium basique proche de l'alunite, qui contrôlerait sa solubilité.

En conséquence, le transfert de l'Al vers les eaux de surface est très limité et se résume à des quantités souvent très faibles d'Al polymérique et/ou colloïdal. La solubilité de l'Al dans cette source est là encore très probablement contrôlée par l'alunite. On notera toutefois que la source étudiée dans le bassin versant du sol brun acide présente une ANC souvent très faible ( $0 - 120 \mu\text{équiv. L}^{-1}$ ), trop peu importante en fait pour la mettre à l'abri de stress acides à l'occasion d'épisodes pluvieux particulièrement importants (Henrikson et Brodin, 1995). Il en est de même de la plupart des sources similaires issues de sols bruns acides sur grès intermédiaire (Guérol *et al.*, 1997).



## Chapitre 4 : Estimation de la toxicité aluminique dans les sols et les eaux de surface

### I – BASSIN VERSANT PODZOLIQUE

#### A – Toxicité aluminique et carences minérales chez les végétaux

##### 1 – Eaux gravitaires

La spéciation de l'Al dans les eaux recueillies à la base des horizons  $A_0$  et  $A_2$  du podzol (Fig. 21 a et b) a montré que l'Al y était présent essentiellement sous forme organique et de complexes Al-F, même si de faibles concentrations de  $Al^{3+}$  y étaient présentes. Ni l'Al organique, ni les complexes Al-F n'étant toxiques vis-à-vis des végétaux, il n'y a généralement pas de toxicité due à cet élément, hormis lors de très brèves périodes dans l'horizon  $A_2$ , où de très faibles concentrations d' $Al^{3+}$  peuvent être néfastes du fait du manque de calcium. Les valeurs très basses du rapport Ca/H indiquent effectivement l'existence de carences durables en Ca pour les arbres dans les 2 horizons  $A_0$  et  $A_2$  (Fig. 44 a et b), tandis que des carences magnésiennes sont évidentes tout au long de l'année (Fig. 45 a et b).

##### 2 – Eaux non gravitaires

Les eaux extraites des horizons  $A_0$  et  $A_2$  du podzol présentent des pH variant de 3,11 à 4,04 (Fig. 46 a et b) et des teneurs en Al total (15 – 24  $\mu M$  dans l'horizon  $A_0$  et 42 – 63  $\mu mol. L^{-1}$  dans l'horizon  $A_2$ ) à peu près similaires aux eaux gravitaires correspondantes. La spéciation de l'Al présente en outre la même variation des proportions Al organique / Al-F / Al non monomérique que dans les eaux gravitaires (Fig. 46 a et b). Les concentrations en Al toxique ne dépassent pas 0,025  $\mu M$  (Fig. 46 a et b), si bien que les valeurs prises par l'index de toxicité aluminique restent constamment basses (Fig. 47 a et b).

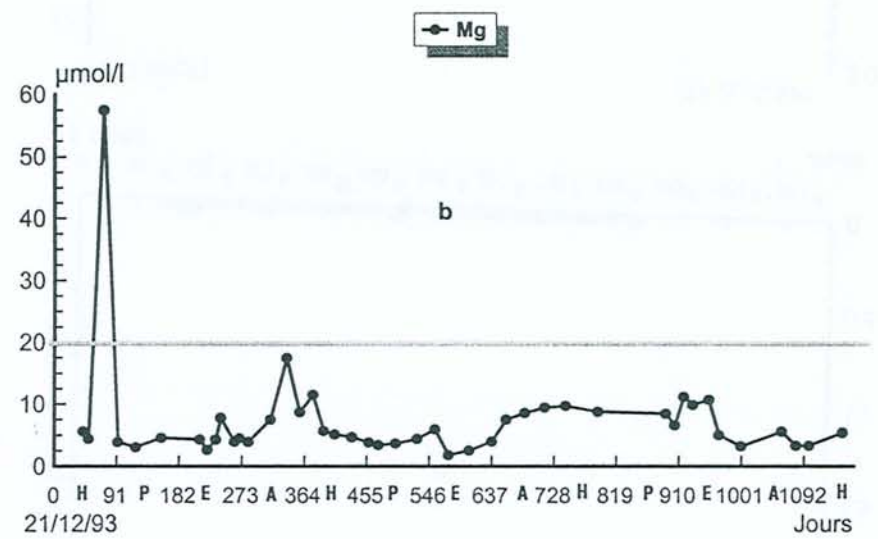
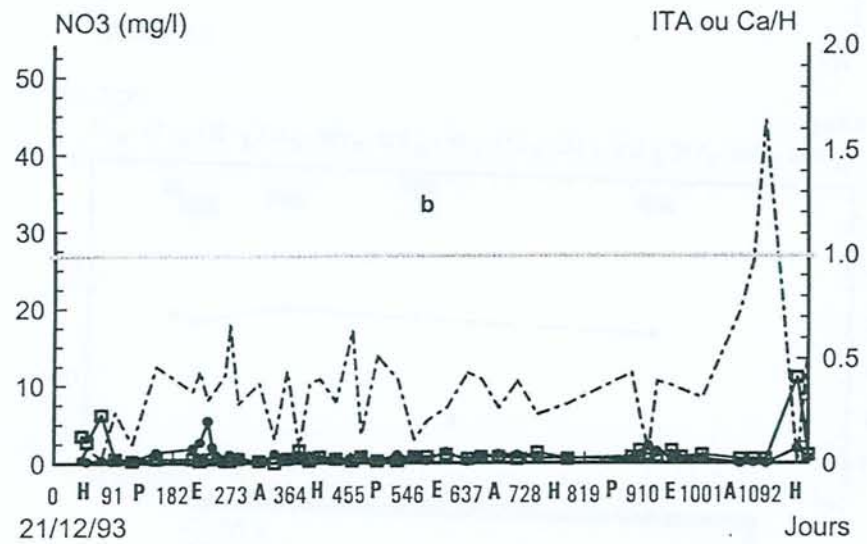
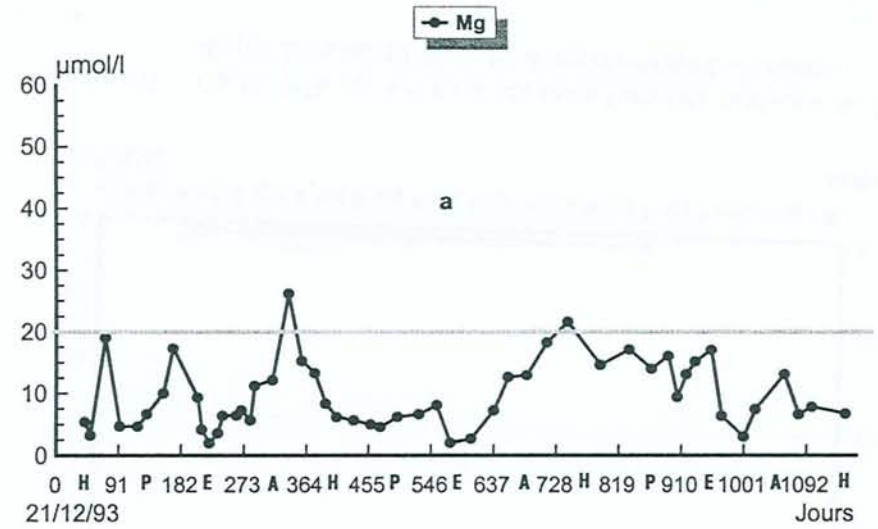
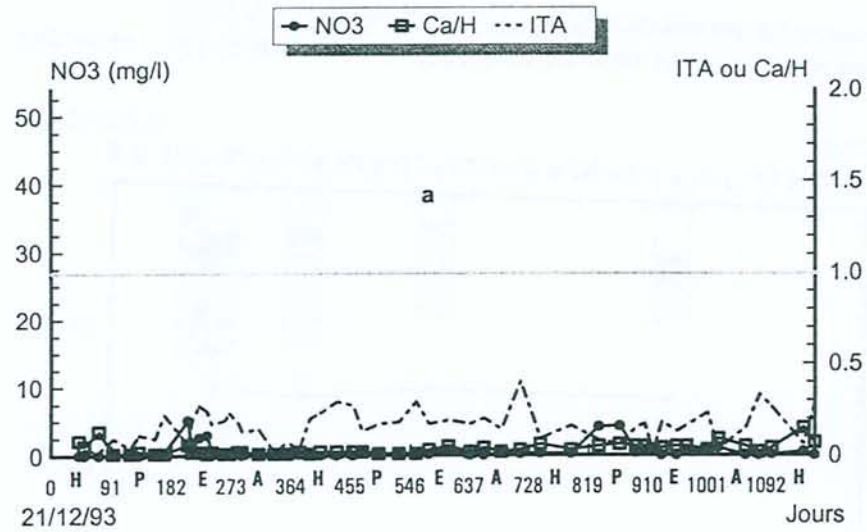


Figure 44 : NO<sub>3</sub>, Ca/H et ITA dans les eaux gravitaires récoltées à la base des horizons A<sub>0</sub> (a) et A<sub>2</sub> (b) du podzol (H, P, E, A représentent les saisons)

Figure 45 : teneurs en Mg dans les eaux gravitaires récoltées à la base des horizons A<sub>0</sub> (a) et A<sub>2</sub> (b) du podzol (H, P, E, A représentent les saisons).



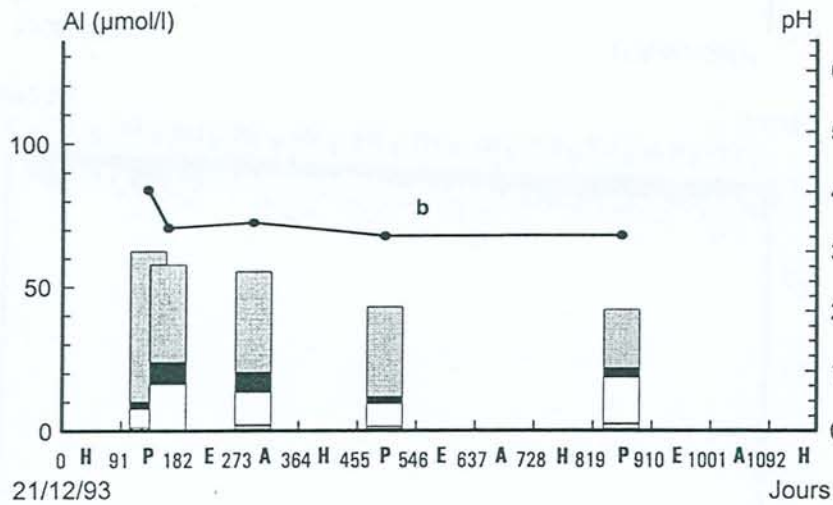
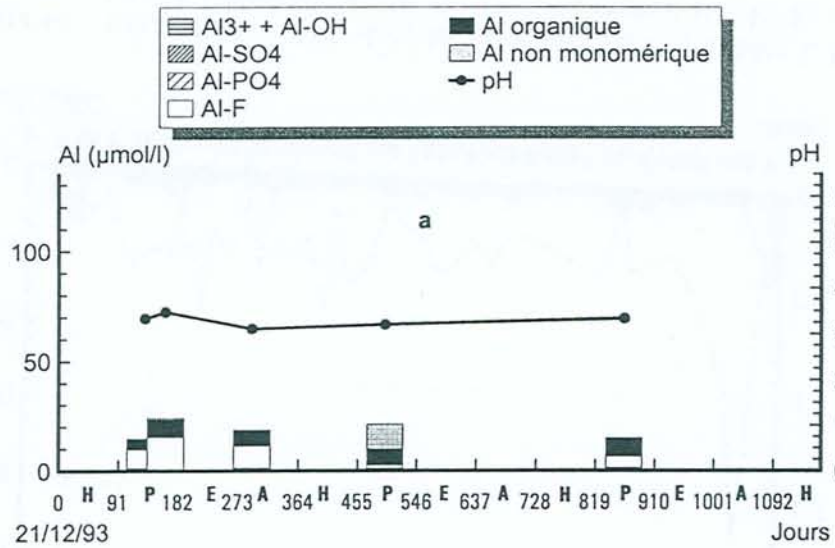


Figure 46 : pH et spéciation de l'Al dans les eaux liées des horizons A<sub>0</sub> (a) et A<sub>2</sub> (b) du podzol (H, P, E, A représentent les saisons).

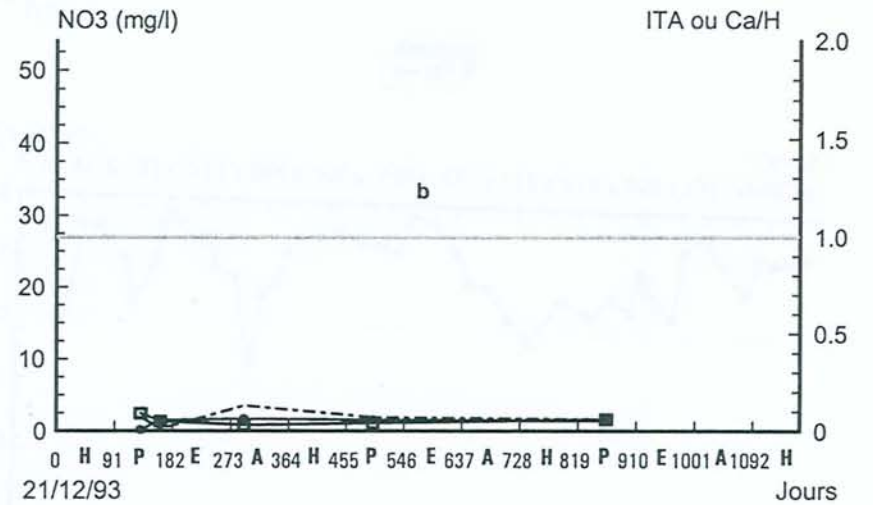
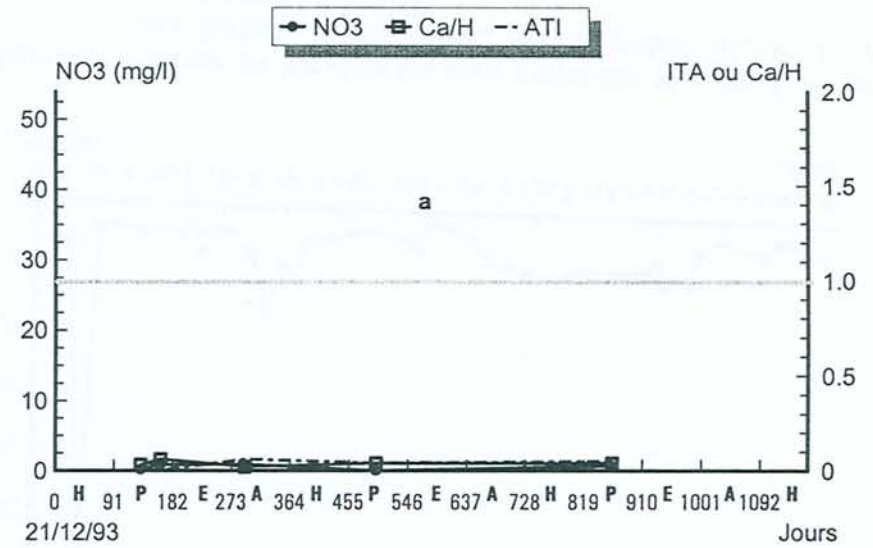


Figure 47 : Ca/H, NO<sub>3</sub> et ITA dans les eaux liées des horizons A<sub>0</sub> (a) et A<sub>2</sub> (b) du podzol (H, P, E, A représentent les saisons).

Les arbres souffrent cependant de **carences importantes en  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$** , à en juger par les valeurs du rapport Ca/H (Fig. 47), et par les teneurs en  $\text{Mg}^{2+}$ , aussi faibles dans les eaux liées (tableau 13) que dans les eaux gravitaires (Fig. 45).

Tableau 13 : teneurs en magnésium dans les eaux liées des horizons de surface du podzol et du sol brun acide.

Date	Podzol		Sol brun acide	
	Horizon A <sub>0</sub>	Horizon A <sub>2</sub>	Horizon A <sub>1</sub>	Horizon A <sub>3</sub>
	<i>μM de Mg</i>			
02/05/94	10,4	6,8	14,9	7,6
02/06/94	16,1	14	30,5	18,8
11/10/94	16,4	11,8	21,8	20,4
02/05/95	12,6	11,6	21,2	19,3
02/06/96	15,7	32,4	37,4	23,1

### B – Toxicité de l'Al et carences minérales dans les cours d'eau drainant le bassin versant podzolique

Nous avons montré au chapitre 3 que les sources prenant naissance à partir des podzols étaient contaminées par de l'Al essentiellement inorganique, constitué en grande partie par  $\text{Al}^{3+}$  et des **complexes Al-F** (Fig. 24 a et b). Une toxicité due à cet Al est donc susceptible d'apparaître. La figure 48 montre que les valeurs prises par l'index de toxicité aluminique sont fréquemment  $> 1$ , pratiquement toute l'année dans l'une des 2 sources (Fig. 48a), seulement pendant les périodes de crues dans l'autre (Fig. 48b). Les teneurs en Ca sont par ailleurs fréquemment insuffisantes pour que la truite fario puisse se développer de manière satisfaisante ( $\text{Ca/H} < 2$ ), notamment lors des périodes de crue, et alors même que l'index de toxicité aluminique est  $> 1$  (Fig. 48 a et b).



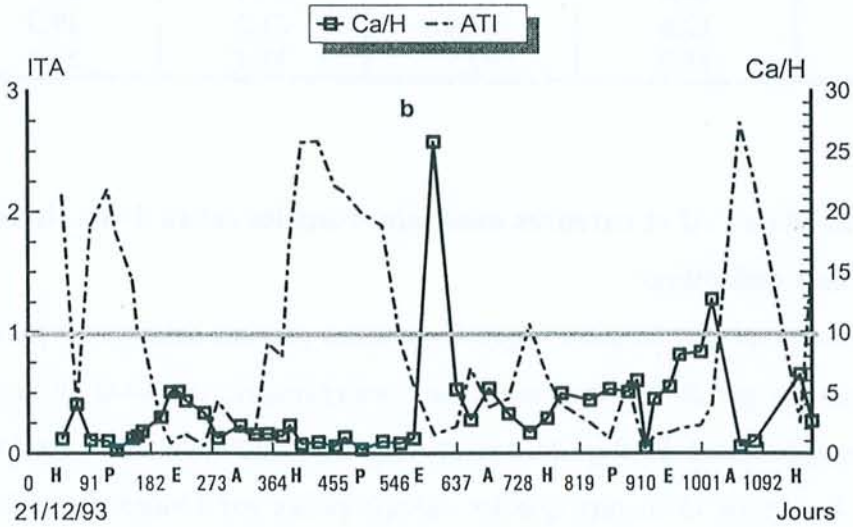
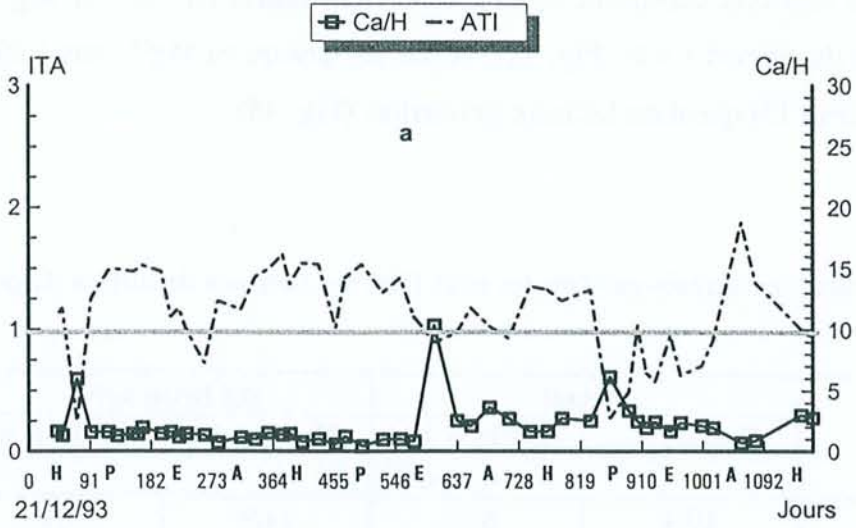


Figure 48 : Ca/H et ITA dans les sources drainant le podzol : (a) source 1 et (b) source 2 (H, P, E, A représentent les saisons).

## II – BASSIN VERSANT DU SOL BRUN ACIDE

### A – Toxicité de l'Al et carences minérales dans le sol

#### 1 – Eaux gravitaires

Nous avons vu précédemment que les eaux de drainage circulant dans les horizons supérieurs du sol brun acide avaient des teneurs élevées en Al (p. ex.  $9 - 152 \mu\text{mol. L}^{-1}$  en  $A_1$ ), et que cet élément était surtout présent sous forme toxique ( $\text{Al}^{3+}$ ) (Fig. 35a). Les teneurs en Ca étaient par ailleurs généralement très basses ( $10 - 91 \mu\text{mol. L}^{-1}$  dans l'horizon  $A_1$  et  $10 - 47 \mu\text{mol. L}^{-1}$  dans l'horizon  $A_3$ ) (tableau 12). En conséquence les valeurs prises par l'index de toxicité aluminique sont souvent élevées, ce qui indique un contexte de toxicité aluminique important (Fig. 49 a et b). Parallèlement, les valeurs du rapport Ca/H restent le plus souvent au voisinage d'une valeur de 0,1 en surface (Fig. 49 a et b), ce qui suggère que des carences en Ca peuvent affecter des essences comme le hêtre, plus exigeant que les résineux. Les arbres souffrent en outre de carences durables en Mg, dont les teneurs restent généralement inférieures à  $20 \mu\text{M}$  (Fig. 50 a et b).

#### 2 – Eaux non gravitaires

Les eaux extraites par centrifugation à partir de l'horizon  $A_1$  sont généralement 2 fois moins concentrées en Al monomérique ( $20 - 69 \mu\text{mol. L}^{-1}$ ) (Fig. 51 a) que les eaux gravitaires correspondantes. Cette tendance n'est qu'à peine ébauchée dans l'horizon  $A_3$ . Bien qu'une proportion non négligeable de cet Al soit sous forme d' $\text{Al}^{3+}$ , aucune toxicité vis à vis des végétaux n'apparaît comme le montrent les valeurs toujours très basses de l'index de toxicité aluminique (Fig. 52 a et b). Les valeurs prises par le rapport Ca/H restent par contre trop basses pour que l'on puisse exclure l'existence de carences en Ca pour l'essence dominante qu'est le hêtre (Fig. 52 a et b). Les concentrations en Mg sont également très basses, notamment en  $A_3$  et souvent inférieures au seuil des  $20 \mu\text{M}$  en dessous duquel les peuplements sont fréquemment carencés (tableau 13).



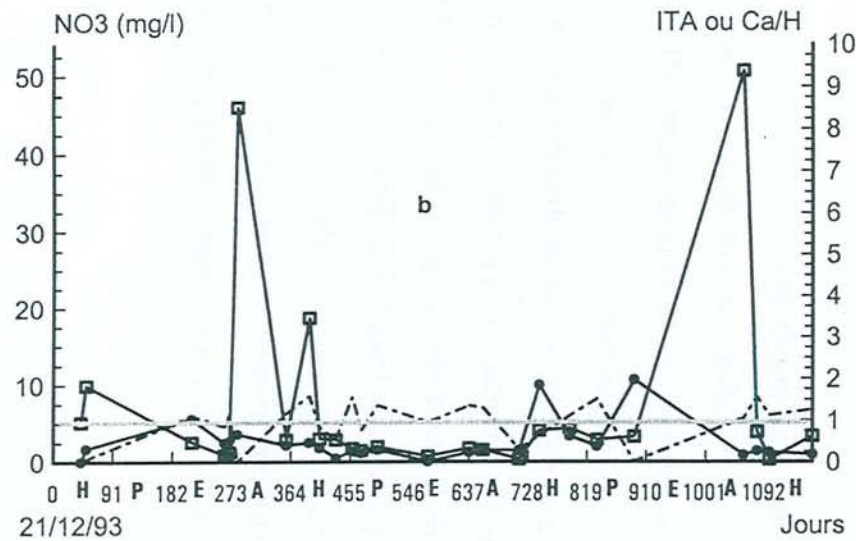
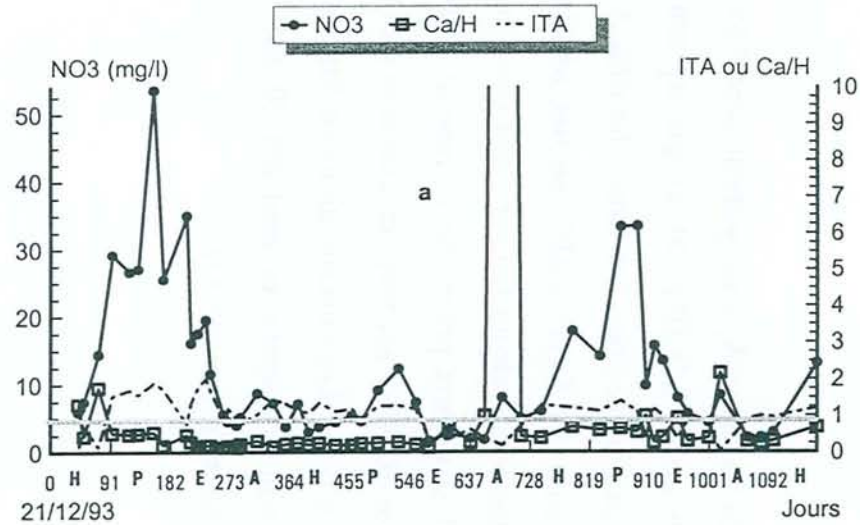


Figure 49 : Ca/H, NO<sub>3</sub> et ITA dans les eaux gravitaires récoltées à la base des horizons A<sub>1</sub> (a) et A<sub>3</sub> (b) du sol brun acide (H, P, E, A représentent les saisons).

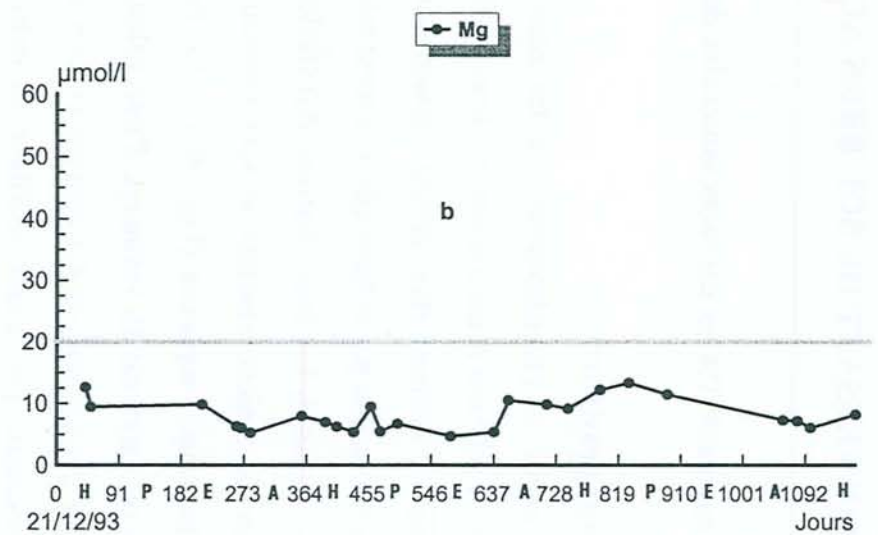
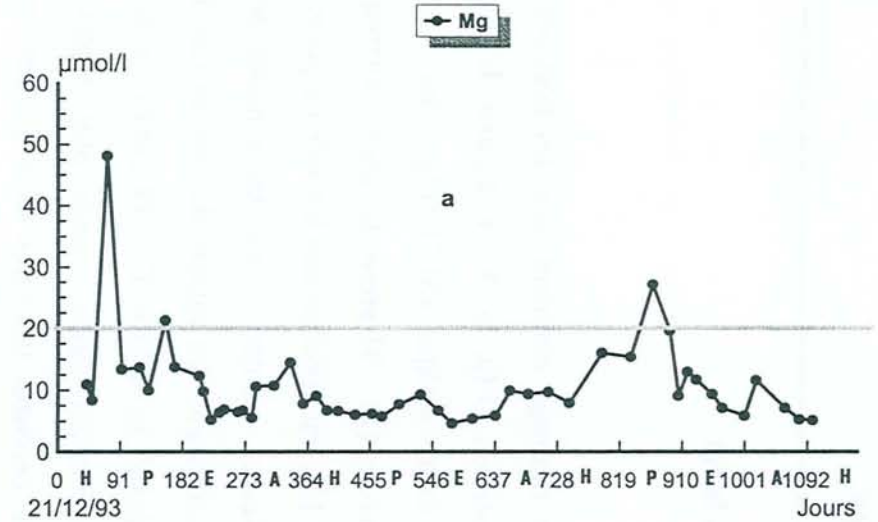


Figure 50 : teneurs en Mg dans les eaux gravitaires récoltées à la base des horizons A<sub>1</sub> (a) et A<sub>3</sub> (b) du sol brun acide (H, P, E, A représentent les saisons).

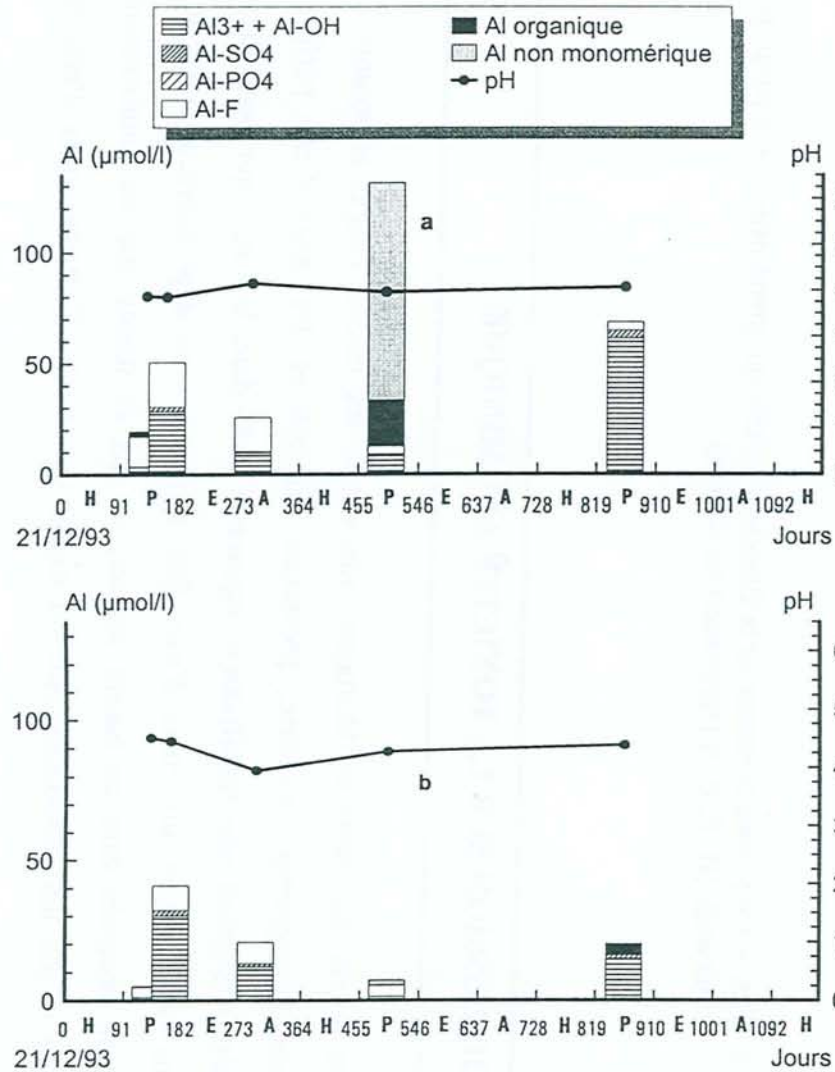


Figure 51 : pH et spéciation de l'Al dans les eaux liées des horizons supérieurs du sol brun acide : A<sub>1</sub> (a) et A<sub>3</sub> (b) (H, P, E, A représentent les saisons).

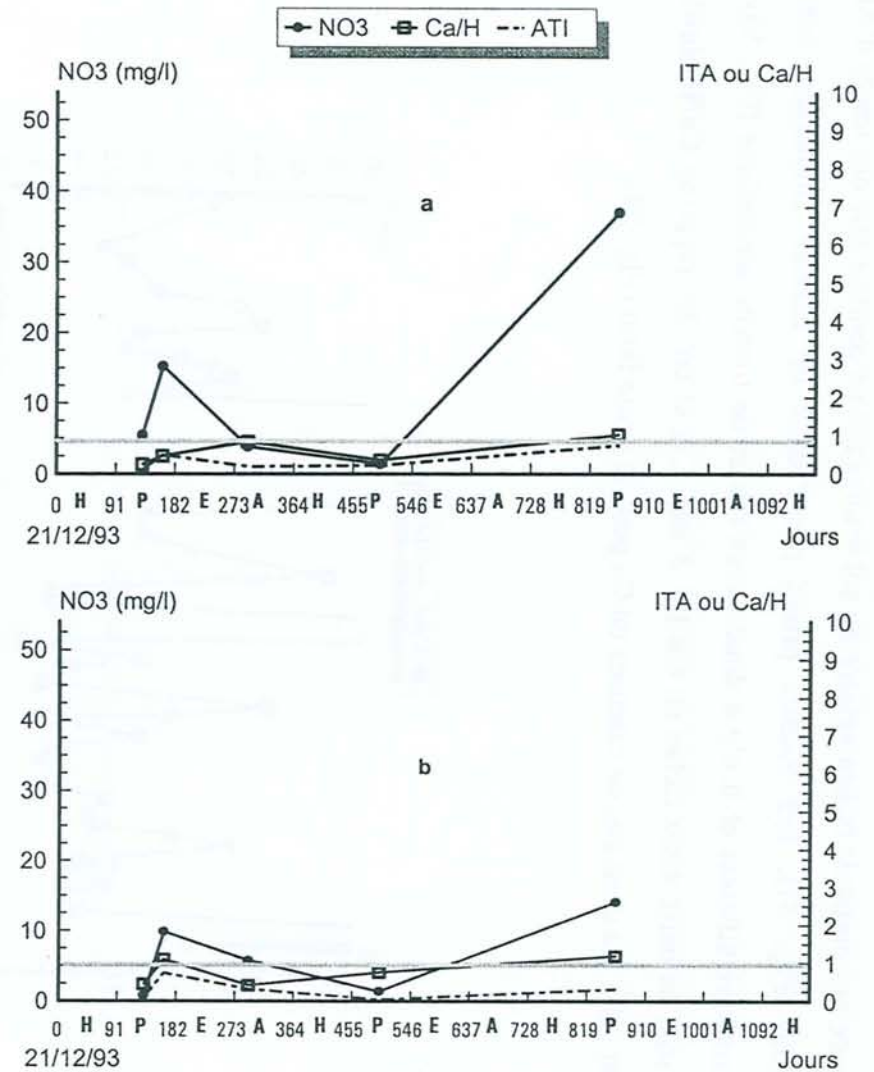


Figure 52 : Ca/H, NO<sub>3</sub> et ITA dans les eaux liées des horizons supérieurs du sol brun acide : A<sub>1</sub> (a) et A<sub>3</sub> (b) (H, P, E, A représentent les saisons).



### B – Toxicité de l'Al et carences minérales dans la source drainant le sol brun acide

La source qui draine le bassin versant du sol brun acide ne contient que des traces d'Al monomérique (Fig. 37). Les valeurs prises par l'index de toxicité aluminique sont constamment insignifiantes et il n'y a donc aucun risque de toxicité aluminique (Fig. 53). Ces eaux sont en outre assez riches en Ca ( $> 3 \text{ mg. L}^{-1}$ ) et ont des rapports Ca/H élevés (4,4 – 258) ; il n'y a donc pas de carences en Ca pour la truite fario (Fig. 53).

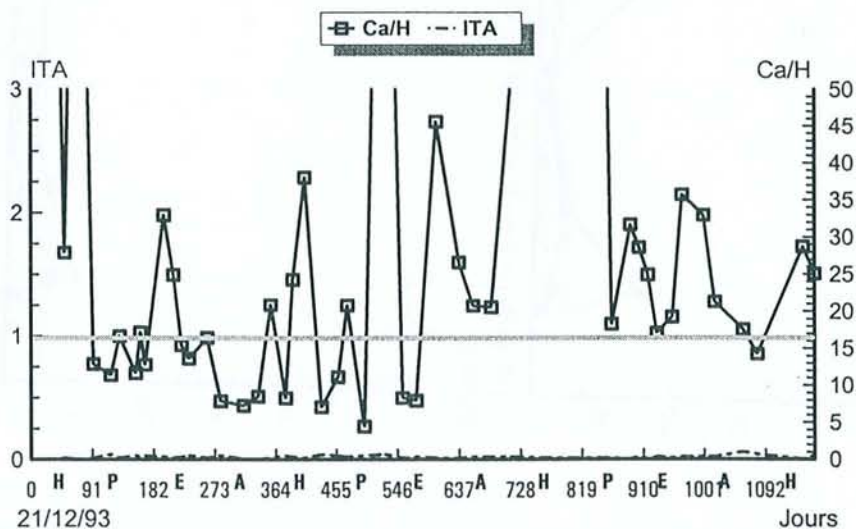


Figure 53 : ITA et Ca/H dans la source de la Blanche Fontaine qui prend naissance à partir du sol brun acide (H, P, E, A représentent les saisons).

## III – DISCUSSION SUR LA TOXICITÉ ALUMINIQUE

Les reliefs des crêtes de Mortagne, situés dans les basses Vosges et soumis à une pollution atmosphérique modérée, présentent des sols et des cours d'eau parfois très acidifiés. Il s'ensuit une mobilisation importante d'Al dans les sols, qui peut être dans certains cas transféré aux cours d'eau. Des symptômes de dépérissement forestier sont nettement observés dans ce bassin versant, ce qui se traduit par un jaunissement des aiguilles et par une défoliation plus ou moins importante. Certains cours d'eau étudiés

présentent des paramètres chimiques fortement dégradés (pH acides, faibles ANC et teneurs en Ca), ce qui est maintenant bien établi pour une grande partie du massif vosgien et a conduit à la disparition de nombreux peuplements piscicoles et d'organismes aquatiques (Massabuau *et al.*, 1987 ; Probst *et al.*, 1990b ; Guérold *et al.*, 1991 ; Massabuau *et al.*, 1995).

De nombreuses études sur le suivi de l'état sanitaire des forêts d'Europe ont établi une relation directe entre le jaunissement des aiguilles des résineux et les déficiences en Mg (Landman *et al.*, 1987, 1995 ; Zöttl et Hüttl, 1986 ; Boudot *et al.*, 1995a) ; des déficiences en Ca ont également été évoquées dans certains cas (Joslin *et al.*, 1980). D'autres études incriminent en outre la toxicité aluminique dans le dépérissement des forêts de l'hémisphère nord (Hecht-Buchholz *et al.*, 1987 ; Godbold *et al.*, 1988 ; Schlegel *et al.*, 1992 ; Boudot *et al.*, 1994a, 1995a).

Dans les eaux gravitaires du podzol, l'aluminium est présent sous forme non phytotoxique (Al organique et Al-F), alors qu'il est présent sous forme toxique (surtout Al<sup>3+</sup>) dans celles du sol brun acide. Ceci rend compte des valeurs prises par l'index de toxicité aluminique (ITA) dans les 2 sols au niveau des eaux gravitaires, inférieures à 1 dans le podzol et supérieures à 1 dans le sol brun acide.

Dans les eaux de rétention des 2 sols par contre, les teneurs en Al phytotoxique sont généralement trop faibles pour produire des effets néfastes, si bien que l'indice de toxicité est inférieur à 1 dans les deux sols. Étant donné que les eaux gravitaires n'alimentent le sol que durant une faible durée dans l'année, et que ce sont les eaux non gravitaires qui sont utilisées lorsque le sol est ressuyé, on peut considérer que les risques d'une toxicité due à l'Al pour les essences forestières sont pratiquement inexistantes. L'hypothèse de l'implication d'une toxicité aluminique dans l'état dépérissant actuel des peuplements est donc à rejeter.

Les valeurs trop basses du rapport Ca/H (< 0,1) dans les eaux gravitaires et non gravitaires des 2 sols révèlent l'existence d'une déficience calcique, aussi bien chez le sapin (bien représenté au niveau du podzol) que chez le hêtre (espèce dominante sur le sol brun acide). De même les teneurs en Mg dans les 2 types d'eau sont généralement très basses dans chacun des 2 sols et révèlent l'existence de carences magnésiennes. L'état dépérissant des forêts des crêtes de Mortagne peut être attribué à des carences minérales en Mg et en Ca comme cela a déjà été constaté ailleurs (Joslin *et al.*, 1980 ; Hecht-Buchholz *et al.*, 1987 ;



Landman *et al.*, 1987, 1995 ; Godbold *et al.*, 1988 ; Schlegel *et al.*, 1992 ; Boudot *et al.*, 1995a).

Les ruisseaux qui drainent le bassin versant podzolique présentent des paramètres chimiques fortement dégradés : pH acides (pH 3,9 – 5,9), fortes concentrations d'Al sous forme toxique ( $Al^{3+}$ ), faible ANC (-113 – 25  $\mu\text{equiv. L}^{-1}$ ), concentrations en Ca encore suffisantes dans l'absolu (1,4 – 2,2 mg.  $L^{-1}$ ) mais Ca/H trop bas ( $< 2$ ). Or, le maintien des populations piscicoles dans les cours d'eau nécessite que les eaux aient une concentration en  $Ca \geq 1,5$  mg.  $L^{-1}$ , un rapport molaire  $Ca/H > 2$ , une ANC toujours  $> 50$   $\mu\text{equiv. L}^{-1}$ , un pH au moins égal à 6 – 6,5 et très peu d'Al (Lien *et al.*, 1992 ; Henriksen *et al.*, 1995 ; Henriksen et Brodin, 1995). La qualité de ces sources est donc très insuffisante et est défavorable à la survie de la truite fario, espèce indigène dans les Vosges.

En ce qui concerne le bassin versant du sol brun acide, la redistribution de l'Al monomérique en profondeur dans le sol est freinée en raison de la perte d'une grande partie des contre ions ( $NO_3$ ) (dénitrification et/ou prélèvement biologique) et de la richesse en minéraux altérables de la roche mère, qui favorisent toutes deux une élévation du pH des solutions du sol. Les eaux de surface restent donc la plupart du temps dépourvues d'Al et aucune toxicité due à cet élément ne peut apparaître. Dans ce type de bassin versant, l'altération des minéraux libère suffisamment de Ca dans les eaux de surface (3 à 4 mg.  $L^{-1}$ ) pour que ce paramètre ne soit pas un facteur limitant pour les populations piscicoles (notamment la truite fario).

#### IV – CONCLUSIONS SUR LA TOXICITÉ ALUMINIQUE

Dans les horizons supérieurs **du podzol**, l'Al soluble est surtout présent sous forme non phytotoxique (Al-org et Al-F). Par conséquent, l'état dépérissant du peuplement observé dans ce bassin versant doit être exclusivement attribué à l'insuffisance des réserves en Ca et Mg du sol qu'à l'Al.

Inversement, par leur pH trop acide, leurs teneurs en Ca trop faibles eu égard à leur acidité ( $Ca/H < 2$ ) et leur teneur en Al toxique, les eaux des sources qui prennent naissance

à partir des podzols présentent des caractéristiques chimiques très défavorables à l'existence de peuplements piscicoles.

Dans **le sol brun acide**, l'Al soluble est en grande partie présent sous forme d' $Al^{3+}$ . Au niveau des eaux gravitaires, il est clair que ces conditions induisent une ambiance de toxicité aluminique chronique, qui pourrait être en première approximation incriminée dans le dépérissement du peuplement forestier. Il n'y a par contre pas de toxicité de l'Al dans les eaux liées du sol. Étant donné que les eaux gravitaires ne peuvent alimenter les plantes que pendant une faible durée dans l'année et que le reste du temps les racines utilisent les eaux liées, il est en fait difficile de soutenir que la toxicité de l'Al puisse être responsable de l'état dépérissant du peuplement. Celui ci ne peut en tout état de cause qu'être attribué à l'insuffisance des réserves en Ca et Mg.

Le peu d'Al qui atteint la source prenant naissance à partir du sol brun acide ne peut exercer aucune toxicité vis à vis des organismes aquatiques.





# *PARTIE 5*



**CONCLUSIONS GÉNÉRALES  
ET  
PERSPECTIVES**

L'état actuel de la plupart des bassins versants des Vosges gréseuses où les symptômes de dépérissement sont fréquents au niveau des peuplements forestiers et où les eaux de surface sont souvent très acides et riches en aluminium, a suscité une étude approfondie de la chimie des solutions du sol et des eaux de surface afin de mettre en évidence l'origine de ces phénomènes et les mécanismes mis en jeu, et afin d'évaluer les conséquences environnementales de tels phénomènes.

L'approche adoptée dans **le bassin versant des crêtes de Mortagne**, représentatif des reliefs gréseux des Vosges, a consisté en un suivi continu sur 3 ans de la chimie des différents types d'eau (pluviolessivats, solutions du sol, eau de surface) en mettant notamment l'accent sur **la spéciation de l'Al présent en solution**, dans le but d'identifier sous quelles formes migre cet élément, quels sont les mécanismes à l'origine de sa mobilisation dans le sol et de son transfert vers les cours d'eau, quelles sont les phases minérales qui contrôlent sa solubilité dans les différents milieux considérés et enfin de tester l'hypothèse de l'implication d'une éventuelle toxicité aluminique dans la dégradation des milieux forestiers et aquatiques dans les bassins versants acidifiés sous l'effet des apports polluants d'origine atmosphérique. Deux sols aux caractéristiques contrastées, **un podzol et un sol brun acide**, ont été sélectionnés pour cette étude ; ils représentent tous deux les types pédologiques à la fois extrêmes et dominants dans les Vosges forestières gréseuses.

Les résultats montrent que la chimie des solutions des sols et des eaux de surface dépend fortement des processus biogéochimiques propres à chaque sol. Ainsi, c'est **la dissociation de la matière organique dans le podzol et la nitrification nette dans le sol brun acide** qui sont les principales sources d'acidité et les principaux moteurs de l'altération et de la mobilisation de métaux, notamment de l'aluminium. A ces sources d'acidité endogènes, naturelles, **s'ajoutent des apports atmosphériques** ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ) qui perturbent les mécanismes initiaux de la pédogenèse.

Dans le **bassin versant podzologique**, l'analyse de la spéciation de l'Al montre que la mobilisation de cet élément dans les horizons éluviaux et sa redistribution vers les horizons spodiques s'effectuent essentiellement sous forme **d'Al organique** - ce qui est en accord avec "la théorie des fulvates" de la podzolisation - et de **complexes Al-F**, auxquels se joignent de faibles proportions d'**Al polymérique et/ou colloïdal**. Les complexes Al-F constituent un déplacement de la spéciation de l'Al dû à la **pollution atmosphérique en F**,



qu'elle soit anthropique ou naturelle (volcans). L'Al non monomérique provient plus probablement d'un **arrachage mécanique** entraînant une partie de l'Al amorphe du sol lors de fortes pluies (Boudot *et al.*, 1995b). Les sources **dérivant du podzol sont acides et contaminées par de l'Al surtout inorganique (Al-F et Al<sup>3+</sup>)**. En effet, la **nature cimentée des horizons spodiques** limite fortement le drainage vertical des eaux gravitaires et induit un écoulement latéral des eaux d'infiltration à l'interface horizons éluviaux/horizons spodiques. S'écoulant à faible profondeur dans un milieu qui reste acide et refermant des anions mobiles d'acides forts issus de la pollution atmosphérique, ces eaux favorisent le transport des complexes Al-F préexistants jusqu'aux eaux de surface, alors même que l'Al organique s'insolubilise en Bh, et induisent une redissolution progressive de la partie supérieure du Bs. Il se produit une libération d'Al sous forme d'Al<sup>3+</sup> (dominant) et de complexes Al-SO<sub>4</sub>, qui sont facilement transférés aux eaux de surface. L'acidification des eaux de surface de ce type de bassin versant et leur contamination par l'Al apparaissent bien être dues à la pollution atmosphérique sur des sols acides pauvres en minéraux altérables et non pas à la seule présence de sols acides dans le bassin versant. Ces stress acides peuvent n'être qu'épisodiques et correspondent alors aux périodes de crue. Lorsque les arènes profondes sont particulièrement pauvres en minéraux altérables, ils peuvent être permanents et durer toute l'année.

La chimie des eaux qui circulent dans le sol apparaît être fortement influencée par ses modes d'écoulement, qui dépendent de **sa structure** et de **sa texture**. La **texture grossière et la structure poreuse et filtrante des horizons éluviaux** du podzol permettent en particulier un drainage rapide des solutions du sol et ne permettent qu'un contact très bref entre elles et la phase minérale. En outre, l'essentiel de l'Al en solution dans ces horizons existe sous forme de complexes Al-F et d'Al organique et n'est en équilibre avec aucun minéral donné. La solubilité de l'Al est dans ce cas est d'avantage compatible avec l'existence de **réactions d'échange aux niveau des colloïdes organiques et/ou minéraux** du sol qu'avec un contrôle par une phase minérale bien définie (Bloom *et al.*, 1979 ; Driscoll *et al.*, 1985 ; Dahlgren et Ugolini, 1989b ; Cronan *et al.*, 1986 ; Walker *et al.*, 1990). En revanche, la **texture cimentée** de l'horizon **Bs** s'oppose à une infiltration verticale rapide de l'eau et permet un **temps de résidence plus long** des solutions. Dans ces conditions les quelques récoltes obtenues paraissent bien être en équilibre avec une phase

minérale particulière, qui pourrait être constituée des silicoaluminates paracrystallins de la famille de l'**imogolite** qui existent dans l'horizon Bs.

Le **sol brun acide**, plus riche en minéraux altérables, favorise une bonne activité biologique et une translocation de l'Al des horizons A aux horizons (B) essentiellement sous forme  $Al^{3+}$ . La mobilisation de cet élément est cependant freinée en profondeur en raison de l'élévation du pH (perte des nitrates par dénitrification et/ou immobilisation biologique, richesse en minéraux altérables de la roche mère), si bien que seules **des traces d'Al monomérique atteignent les eaux de surface**. Les solutions gravitaires du sol brun acide paraissent être en équilibre avec un **sulfate d'Al basique proche de l'alunite**. Les analyses aux RX de la fraction argileuse ont montré par ailleurs la présence de **vermiculites non alumineuses dans les horizons A et (B) du sol brun acide**. Il se pourrait que cette absence de vermiculites alumineuses, très surprenante dans un tel sol (Hetier et Tardy, 1969 ; Fichter, 1997), soit précisément due à la présence de sulfates et à la formation d'un minéral proche de l'alunite, dont la floculation, dans les gammes de concentrations présentes, intervient plus précocement que celle de l'Al interfoliaire des vermiculites, et empêche d'atteindre l'équilibre avec ce dernier, interdisant ainsi sa formation.

C'est également ce même minéral, l'alunite, qui paraît contrôler la solubilité de l'Al dans les sources des 2 bassins versants étudiés ; ceci souligne l'influence de la pollution atmosphérique en sulfates sur la chimie des eaux de surface.

Aucune toxicité aluminique n'a été détectée dans les eaux gravitaires et non gravitaires du podzol. Dans le sol brun acide, il y a une ambiance de toxicité aluminique dans les eaux gravitaires mais pas dans les eaux de rétention. Étant donné que les eaux gravitaires n'alimentent les plantes que pendant une faible durée de l'année et que le reste du temps les racines utilisent les eaux de rétention, l'hypothèse de l'implication de la toxicité de l'Al dans l'état dépérissant du peuplement est à écarter.

Les carences minérales sont par contre bien réelles et **l'état dépérissant des peuplements forestiers sur les 2 types de sols étudiés doit être attribué à des carences durables en Mg et en Ca et non à une toxicité aluminique chronique**.



En ce qui concerne les eaux de surface, la présence d'**Al toxique** et l'existence d'**un environnement chimique fréquemment dégradé**, au moins en période de crue, (pH acides, rapport Ca/H < 2, ANC < 50  $\mu\text{equiv. L}^{-1}$ ) dans les sources drainant les zones à **podzol**, sont néfastes aux populations piscicoles et rendent compte du **dépeuplement en truite de nombreux ruisseaux des Vosges gréseuses**.

Bien que la source drainant le sol brun acide ne présente ni risque de toxicité aluminique (ITA constamment < 1), ni de carences calciques [teneurs en Ca > 3 mg.  $\text{L}^{-1}$  et rapports Ca/H élevés (4 - 258)], elle présente cependant **une ANC souvent trop faible** (0 - 120  $\mu\text{equiv. L}^{-1}$ ) pour la mettre à l'abri de stress acides à l'occasion d'épisodes pluvieux particulièrement importants (Henrikson et Brodin, 1995) ; ceci est également le cas de la plupart des sources issues des sols bruns acides sur grès intermédiaire dans les Vosges (Party *et al.*, 1993 ; Guérold *et al.*, 1997).

L'état préoccupant actuel du bassin versant podzologique (sols désaturés, eaux de surface acides et contaminées par de l'Al toxique), et, dans une moindre mesure, celui du sol brun acide (ANC des eaux de surface correspondantes souvent très faible) nécessite de prendre un certain nombre de mesures visant à prévoir et à gérer l'évolution future de ceux d'entre eux susceptibles de se restaurer spontanément si les apports atmosphériques venaient à diminuer, ainsi qu'à restaurer l'état de ceux qui sont trop acidifiés pour que l'on puisse espérer qu'ils puissent se restaurer spontanément.

Pour obtenir une **restauration spontanée** des bassins versants **les moins acidifiés**, comme celui du **sol brun acide**, il est nécessaire que les **apports atmosphériques acidifiants continuent à diminuer dans le futur** comme ils l'ont fait dans le passé depuis quelques années. Ces apports ont en effet baissé de 48 à 73 % pour  $\text{SO}_4^{2-}$  ; de 53 à 68 % pour  $\text{NO}_3^-$  et de 43 à 69 % pour Cl<sup>-</sup> entre 1989-1991 (Becquer, 1991) et 1994-1997 (cette étude). Pour les sulfates, ceci est conforme à ce que l'on observe aussi bien dans le centre et le nord de l'Europe et du continent nord américain [-30 à -70 % (Downing *et al.*, 1995 ; Matzner et Murach, 1995 ; Marquardt et Brüggemann, 1995 ; Schaaf *et al.*, 1995 ; Ek *et al.*, 1995 ; Tørseth et Semb, 1995 ; Boudot *et al.*, 1996)]. Cette diminution n'a par contre pas partout concerné les éléments comme les nitrates ou les chlorures (Ek *et al.*, 1995 ; Matzner et Murach, 1995 ; Marquardt et Brüggemann, 1995 ; Tørseth et Semb, 1995 ; Jenkins *et al.*, 1995b). En bien des endroits, les retombées de nitrates continuent même à

augmenter lentement du fait de l'augmentation du parc automobile (Probst *et al.*, 1990a, 1995). La limitation des polluants dans l'atmosphère a également concerné les particules alcalinisantes, si bien que bien souvent, les apports de protons sont restés inchangés (Hedin *et al.*, 1994). De **telles diminutions** des apports atmosphériques sont susceptibles de favoriser le rétablissement d'une ANC **plus élevée** là où celle-ci est **actuellement voisine de zéro**, comme c'est le cas de **la source drainant le sol brun acide**, et plus généralement des sources drainant les affleurements de grès intermédiaire dans les Vosges. Ces sources ont en effet souvent une ANC  $< 100 \mu\text{equiv. L}^{-1}$ , ce qui est trop bas pour pouvoir résister aux **stress acides les plus importants**. Une diminution des apports atmosphériques ne pourra que leur donner une marge de sécurité plus importante.

En revanche, la diminution des apports atmosphériques, telle qu'elle est actuellement observée ou prévisible, ne pourra pas conduire à une restauration spontanée des bassins versants **les plus acidifiés**, qui sont également les **plus pauvres en minéraux altérables**. Un cas extrême nous a été donné par **le bassin versant à podzol**. Si ce type de sol est **naturellement très acide et très pauvre**, la **présence d'Al inorganique**, en partie toxique, dans **les sources** auxquelles il donne naissance est bien **due à la pollution atmosphérique**. Au vu du contenu minéralogique des horizons supérieurs, essentiellement constitués de quartz, il est clair que le **chaulage calco-magnésien des sols** constitue le **meilleur moyen** d'obtenir une **restauration efficace du statut en Ca et Mg des sols et de la qualité des eaux de surface**, en augmentant leur pH et leur ANC et en limitant les transferts d'Al des sols aux sources (Matzner *et al.*, 1983 ; Hornung *et al.*, 1990 ; Matzner et Meiwes, 1990 ; Holwells *et al.*, 1992, Mohamed *et al.*, 1993 ; Johnson *et al.*, 1995).

A l'issue de ce travail, il subsiste certaines questions qui méritent d'être approfondies, et certaines incertitudes qui nécessitent des recherches plus poussées pour être levées :

- Nous avons montré la présence de **vermiculites non alumineuses** dans le **sol brun acide**. Les diagrammes d'équilibre suggèrent en outre que les solutions de drainage des horizons du **sol brun acide** sont en équilibre avec un **sulfate d'aluminium basique** proche de l'alunite, et que la formation de cette dernière, sans doute incluse dans le compartiment " $\text{Al}_{\text{oxalate}}$ ", pourrait précisément interdire la formation des vermiculites alumineuses. Des analyses en minéralogie très fine seraient souhaitables pour mettre ce minéral en évidence, en cherchant à caractériser les différents compartiments du sol qui incluent des sulfates.



- En ce qui concerne la modélisation de la dissociation de la matière organique en fonction du pH, des incertitudes subsistent quant à la validité de l'utilisation du **modèle triprotique** de Driscoll *et al.* (1994). On note en effet un **déficit important des charges anioniques** dans les solutions **les plus organiques** (les eaux de drainage des horizons éluviaux du podzol par exemple). Une caractérisation de la matière organique de ces eaux serait utile en vue de vérifier ses propriétés acido-basiques et ses constantes d'équilibre avec l'Al.

## Résumé

Dans les Vosges, un grand nombre de sols et de cours d'eaux renferment parfois de fortes concentrations d'aluminium en solution. Les mécanismes de mobilisation de l'Al dans les sols et du transfert de cet élément des sols aux cours d'eau ont été étudiés dans 2 bassins versants gréseux des Vosges différant par leurs sols, un podzol et un sol brun acide, et par leur couverture végétale (sapinière mixte à myrtille et hêtraie sapinière à fétuque), toutes deux étant en outre plus ou moins dépérissantes. Les implications toxicologiques de la présence d'Al en solution ont également été appréhendées.

Dans le podzol, l'Al est mobilisé sous l'influence prépondérante de l'acidité organique et est redistribué des horizons supérieurs aux horizons profonds sous forme d'Al organique, de complexes Al-F et de polymères et/ou de colloïdes. L'Al organique correspond aux processus de pédogenèse naturels, alors que les complexes Al-F sont dus à des entrées de fluor par voie atmosphérique, qu'elles soient d'origine naturelle (volcans, F marin) ou anthropique (activités industrielles). En profondeur, l'Al organique continue à s'insolubiliser au niveau de l'horizon Bh, conformément aux mécanismes naturels de pédogenèse, alors que les complexes Al-F restent en solution et sont transférés jusqu'aux ruisseaux sous l'influence de l'acidité et des anions mobiles d'acides minéraux forts issus des entrées atmosphériques. On assiste en outre à une redissolution progressive de la partie supérieure de l'horizon Bs et à l'apparition d'Al<sup>3+</sup> et de complexes AlSO<sub>4</sub><sup>+</sup> en solution, qui viennent contaminer les cours d'eau.

Dans le sol brun acide, plus riche en minéraux altérables, la nitrification nette est le principal moteur de l'acidification et de la mobilisation de l'Al. Cet élément migre essentiellement sous forme d'Al<sup>3+</sup>, qui tend à s'insolubiliser en profondeur, semble-t-il sous forme d'un sulfate d'Al basique proche de l'alunite. De ce fait l'Al présent en solution dans le sol n'est pas transféré aux cours d'eau.

Ni l'Al organique ni les complexes Al-F n'étant toxiques, il n'y a pas de toxicité aluminique vis à vis de la végétation dans le podzol. Dans le sol brun acide, l'Al<sup>3+</sup> étant toxique, les eaux gravitaires sont le siège d'une ambiance de toxicité aluminique répétée. Celle-ci ne s'observe plus dans les eaux liées, dont l'équilibre cations toxiques/cations bénéfiques est un peu différent. Ces eaux liées sont celles qui alimentent préférentiellement la végétation durant la plus grande partie de l'année. L'aspect dépérissant des résineux doit donc être attribué plus aux carences en Ca et Mg qu'à l'Al en solution.

Les milieux les plus atteints par l'effet toxique de l'Al sont sans conteste les eaux courantes du bassin versant podzologique, suffisamment riches en Al<sup>3+</sup> et pauvres en Ca pour être très défavorables aux peuplements piscicoles indigènes des Vosges (truite fario).

Malgré tout, aussi bien les eaux de surface du bassin versant du sol brun acide que celles du bassin versant podzologique apparaissent être en équilibre avec un sulfate d'Al basique, l'alunite, ce qui souligne l'influence des dépôts atmosphériques sur la chimie du réseau hydrologique dans son ensemble.

**Mots clés :** Podzol ; sol brun acide ; Al ; spéciation de l'Al ; toxicité de l'Al ; alunite ; eaux gravitaires ; eaux liées ; contamination des eaux de surface.



## Summary

In the Vosges mountains, a number of soils and headwater streams shows high levels of soluble Al. The mechanisms of Al mobilisation within the soil and its transfer from the soil to surface water have been investigated in 2 contrasted acidic watersheds, one with a mixed pine-fir stand on a podzol, the other with a silver fir-beech stand on an acid brown soil. Both stands exhibited moderate symptoms of decline. Toxicological effects of Al were also studied in both watersheds.

In the podzol area, Al was mobilised under the predominant influence of organic acidity and leached from the upper to the lower horizons under organic Al, F-bound Al and polymeric and/or colloidal Al. The organic Al originated from the primary pedogenetic processes whereas the Al-F species should be regarded as the shift in Al speciation due to atmospheric pollution and related F input [either natural (volcanic or marine F) and anthropic (industrial activities)]. Organic Al leached from the eluvial horizons did not reach significantly the springs and was retained in the Bh horizon, according to the natural pedogenetic processes. The Al-F species remained in solution and reached surface waters, together with  $\text{Al}^{3+}$  and  $\text{AlSO}_4^+$  originating from the redissolution of the top of the Bs horizon.

In the acid brown soil, net nitrification was the main parameter responsible for Al mobilisation, that occurred predominantly under  $\text{Al}^{3+}$ . The largest part of Al was retained in the deep soil, possibly under a basic Al sulphate close to alunite, so that it did not reach surface waters.

As neither organic Al nor the Al-F species are toxic to plants, no Al toxicity occurred in the podzol. In the acid brown soil,  $\text{Al}^{3+}$  is toxic so that Al toxicity exists in leaching waters. No Al toxicity occurred, however, in soil solutions retained in the microporosity. As the latter are those which are available to plants during most of the year, the symptoms of forest decline should be due to Ca and Mg deficiency more than to Al toxicity.

Owing to the occurrence of toxic Al species, Al toxicity occurred repeatedly throughout the year in surface waters draining from the podzol area, making them incompatible to many aquatic living organisms.

All springs in both watersheds were in equilibrium with a basic Al sulphate (alunite); this emphasises the influence of atmospheric deposition on surface water chemistry.

**Keywords : Podzol; acid brown soil; Al; Al speciation; Al toxicity; alunite; soil solutions.**

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**



- Abrahamsen G., Seip H. M. et Semb A., 1989. Long-term acidic precipitation studies in Norway. Dans : D. C. Adriano and M. Havas (Editors), *Acidic precipitation, Volume 1, Case Studies*. Springer-Verlag, New York, pp. 137–179.
- Achilli M., Ciceri G., Ferraroli R., Culivicchi G. et Pierri S., 1991. Aluminum speciation in aqueous solutions. *Water Air Soil Pollut.*, (57-58) : 139–148.
- Adams F. et Rawajfih Z., 1977. Basaluminite and alunite: A possible cause of sulfate retention by acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41: 686–692.
- Adams F. et Moore B. L., 1983. Chemical factors affecting root growth in subsoil horizons of coastal plain soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47 : 99–102.
- Adams F. et Hathcock P. J., 1984. Aluminum toxicity and calcium deficiency in acid subsoil horizons of two Coastal Plains soils series. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48 : 1305–1309.
- Allison J. D. et Brown D. S., 1995. MINTEQA2/PRODEFA2—A geochemical speciation model and interactive preprocessor. Dans : *Chemical Equilibrium and Reaction Models*. Eds., Loeppert R. H., Parker D. and Schwab P., Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Inc. Madison, Wisconsin, USA, SSSA Special Publication 42 : 241–252.
- Alva A. K., Edwards D. G., Asher C. J. et Blamey F. P. C., 1986a. Effects of phosphorus/aluminum molar ratio and calcium concentration on plant response to Al toxicity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50 : 133–137.
- Alva A. K., Edwards D. G., Asher C. J. et Blamey F. P. C., 1986b. Relationships between root length of soybean and calculated activities of aluminum monomers in nutrient solution. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, 959–962.
- Alva A. K. et Sumner M. E., 1989. Alleviation of aluminum toxicity by phosphogypsum or calcium sulfate in dilute nutrient solutions. *Soil Science*, 147 : 278–285.
- Alva A. K., Sumner M. E., Li Y. C. et Miller W. P., 1989. Evaluation of three aluminum assay techniques for excluding aluminum complexed with fluoride or sulfate. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53 : 38–44.
- Alva A. K., Kerven G. L., Edwards D. G. et Asher C. J., 1990. Reaction between aluminum and sulfate in dilute nutrient solutions with varying degrees of hydrolysis. *Soil Sci.*, 150 : 495–505.
- Alva A. K., Kerven G. L., Edwards D. G. et Asher C. J., 1991. Reduction in toxic aluminum to plants by sulfate complexation. *Soil Science*, 152 (5) : 351–359.
- Anderson H. A., Berrow M. L., Farmer V. C., Hepburn A., Russel J. D. et Walker A. D., 1982. A reassessment of podzol formation processes. *J. Soil Sci.*, 33 : 125–136.
- Anderson M. A. et Bertsch P. M., 1988. Dynamics of aluminium complexation in multiple ligand systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52 : 1597–1602.
- Aniol A., 1984. Induction of aluminum tolerance in wheat seedlings by low doses of aluminum in the nutrient solution. *Plant Physiol.*, 75 : 551–555.
- Arp P. A. et Meyer W. L., 1985. Formation constants for selected organo-metal ( $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ )-phosphate complexes. *Can. J. Chem.*, 63 : 3357–3366.
- Arp P. A. et Strucel I., 1989. Water uptake by black spruce seedlings from rooting media (solution, sand, peat) treated with inorganic and oxalated aluminum. *Water Air and Soil Pollution*, 44 : 57–70.
- Asp H., Bengtsson B. et Jensen P., 1988. Growth and cation uptake in spruce (*Picea abies* Karst) grown in sand culture with various aluminium contents. *Plant and Soil*, 111 : 127–133.
- Asp H., Bengtsson B. et Jensen P., 1991. Influence of aluminium on phosphorus and calcium localization in roots of beech (*Fagus sylvatica*). *Physiol. Plant*, 83 : 41–46.
- Åtland Å. et Barlaup B. T., 1995. Avoidance of toxic mixing zones by Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and brown trout (*Salmo trutta* L.) in the limed river Audna, southern Norway. *Environmental Pollution*, 90 (2) : 203–208.
- Bache B. W. et Sharp G. S., 1976. Soluble polymeric hydroxy-aluminium ions in acid soils. *J. Soil Sci.*, 27 : 167–174.
- Backes C. A. et Tipping E., 1987. An evaluation of the use of cation-exchange resin for the determination of organically-complexed Al in natural acid waters. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 30 : 135–143.
- Baker J. P. et Schofield C. L., 1982. Aluminium toxicity to fish in acidic waters. *Water Air Soil Pollut.*, 18, 289–309.
- Baker L. A., Herlihy A. T., Kaufmann P. R. et Eilers J. M., 1991. Acidic lakes and streams in the United States : the role of acidic deposition. *Science*, 252 : 1151–1154.



- Barnes R. B., 1975. The determination of specific forms of aluminum in natural water. *Chem. Geol.*, 15 : 177-191.
- Bartlett U., 1988. Abschätzung der organischen Kohlenstoffeinträge in Waldökosysteme durch Messung der UV-Absorption (254 nm) im Neiderschlagswasser. *Z. Pflanzenernähr. Bodenkd.* 151 : 405-406.
- Barcelo J., Guevara P. et Poschenrieder C., 1993. Silicon amelioration of aluminium toxicity in teosinte *Zea mays* L. ssp. *mexicana*). *Plant and Soil*, 154, 249-255.
- Barnhisel R. et Bertsch P. M., 1982. Aluminum, in methods of soil analysis, part 2, Chemical and microbiological properties, 2<sup>nd</sup> ed., Page, A. L., Miller R. H., and Keeney D. R., Eds., American Society of Agronomy, Madison WI, Chap. 16.
- Batchelor B., McEwen J. B. et Perry R., 1986. *Sci. Technol.*, 20 : 891-894 (Dans : Clarke, 1994).
- Barcelo J., Guevara P. et Poschenrieder C., 1993. Silicon amelioration of aluminium toxicity in teosinte (*Zea mays* L. ssp. *mexicana*). *Plant and Soil*, 154 : 249-255.
- Barlett R. J. et Riego D. C., 1972. Toxicity of hydroxy aluminum in relation to pH and phosphorus. *Soil Sci.*, 114 : 194-200.
- Basu A., Basu U. et Taylor G. J., 1994. Induction of microsomal membrane proteins in roots of an aluminum-resistant cultivar of *triticum aestivum* L. under conditions of aluminum stress. *Plant.Physiol.*, 104 : 1007-1013.
- Baur S. et Feger K. H., 1992. Importance of natural soil processes relative to atmospheric deposition in the mobility of aluminium in forested watersheds of the Black Forest. *Environal Pollution*, 77 : 99-105.
- Battarbee R. W., Flower R. J., Stevenson A. C. et Rippey B., 1985. Lake acidification in Galloway : a palaeoecological test of competing hypotheses. *Nature*, 314 : 350-352.
- Baylis A. D., Gragopoulou C., Davidson K. J. et Birchall J. D., 1994. Effects of silicon on the toxicity of aluminium to Soybean. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 25 : 537-546.
- Becquer T., Merlet D., Boudot J. P., Rouiller J. et Gras F., 1990. Nitrification and nitrate uptake: Leaching balance in a declined forest ecosystem in eastern France. *Plant and Soil*, 125 : 95-107.
- Becquer T., 1991. Production endogène de protons par les cycles de l'azote et du soufre dans deux sapinières vosgiennes : bilans saisonniers et incidence sur la toxicité de l'aluminium. Thèse de doctorat de l'Université de Nancy I, 154 pp.
- Bellot J., Melia N., Carratalá A., Tello E. et Martinex-Pinna J. E., 1995. The hydrology and hydrochemistry of the Prades catchments, Spain. Dans : European Network of Catchments Organised for Research on Ecosystems (ENCORE) contract report.. Project No. T07054G5, NERC/CEC Contract No. STEP - CT - 90 - 0113. (edited by Hormung) Vol., 3, 60 p.
- Benes P. et Stennes E., 1974. In situ dialysis for the determination of the state of trace elements in natural waters. *Water Res.*, 8 : 947-953.
- Bennet R. J., Breen C. M. et Fey M. V., 1987. The effect of aluminum on root cap function and root development in *Zea mays* L. *Environ. Exp. Bot.*, 27 : 91-104.
- Bennet R. J. et Breen, C. M., 1991. The aluminium signal : new dimensions to mechanisms of aluminium tolerance. *Plant Soil*, 134 : 153-166.
- Berggren D., 1989. Speciation of Al, Cd, Cu and Pb in humic soil solutions. A comparison of the ion exchange column procedure and equilibrium dialysis. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 35 : 1-15.
- Berggren D., 1992. Speciation and mobilisation of aluminium and cadmium in podzols and cambisols of S Sweden. *Water Air Soil Pollut.*, 62 : 125-156.
- Bersillon J. L., Hsu P. H. et Fiessinger F., 1980. Characterization of hydroxy-aluminum solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44 : 630-634.
- Bertsch P. M., 1987. Conditions for Al<sub>13</sub> polymer formation in partially neutralized aluminum solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51 : 825-828.
- Bertsch P. M., 1989. Aqueous polynuclear aluminum species. Dans : The environmental chemistry of aluminum (G Sposito, ed.). CRC Press, Boca Raton, Florida, 87-115.
- Bertsch P. M. et Anderson M. A., 1989. Speciation of aluminium in aqueous solutions using ion chromatography. *Anal. Chem.*, 61 : 535-539.
- Bertsch P. M., Layton W. J. et Barnhisel R. I., 1986a. Characterization of hydroxy-aluminum solutions by aluminum-27 Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50 : 825-830.
- Bertsch P. M., Thomas G. W. et Barnhisel R. I., 1986b. Speciation of hydroxy-aluminum solutions by wet chemical and aluminum-27 NMR methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50 : 1449-1454.



- Bilinski H., Horvath L., Ingri N. et Sjöberg S., 1990. Aluminosilicate phases during initial clay formation :  $H^+$ - $Al^{3+}$ -oxalic acid-silicic acid- $Na^+$  system. *J. Soil Sci.*, 41 : 119-132.
- Birchall J. D., Exley C., Chappell J. S. et Phillips M. J., 1989 - Acute toxicity of aluminium to fish eliminated in silicon-rich acid waters. *Nature*, 338 : 146-148.
- Birks H. J. B., Berge F., Boyle J. F. et Cumming B. F., 1990. A paleoecological test of the land-use hypothesis for recent lake acidification in south-west Norway using hill-top lakes. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B*, 237 : 369-370.
- Blamey F. P. C., Edwards D. G. et Asher C. J., 1983. Effects of aluminium, OH :Al and P :Al molar ratios, and ionic strength on soybean root elongation in solution culture. *Soil Science*, 136, 197-207.
- Blamey F. P. C., Edmeades D. C. et Wheeler D. M., 1992. Empirical models to approximate calcium and magnesium ameliorative effects and genetic differences in aluminium tolerance in wheat. *Plant and Soil*, 144, 281-287.
- Bloom P. R., Weaver R. M. et McBride M. C., 1978. The spectrophotometric and fluorometric determination of aluminum with 8-hydroxyquinoline and butyl acetate extraction. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42 : 713-716.
- Bloom P. R., McBride M. C. et Weaver R. M., 1979. Aluminum organic matter in acidic soils : buffering and solution aluminum activity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43 : 488-493.
- Bloom P. R. et Erich M. S., 1989. The quantitation of aqueous aluminum. Dans : *The environmental chemistry of aluminum* (G Sposito, ed.). CRC Press, Boca Raton, Florida, 1-27
- Bonneau M., Faivre P., Gury M., Hetier J. M., et Le Tacon F., 1976. Carte pédologique de France à moyenne échelle. Publication No. 11, Saint-Dié Q. 9 Notice explicative
- Bonneau M., Dambrine E., Ranger J., Mohamed A. D., Nys C., Turpault M. P. et Fichter J., 1995. Cycling and budgets of acidity and nutrients in Norway Spruce stands of North-eastern France. Dans : *European Network of Catchments Organised for Research on Ecosystems (ENCORE) contract report.. Project No. T07054G5, NERC/CEC Contract No. STEP - CT - 90 - 0113.* (edited by Hormung) Vol., 3, 29 p.
- Boudot J. P., Becquer T., Merlet D. et Rouiller J., 1994a. Aluminium toxicity in declining forests : a general overview with a seasonal assessment in a silver fir forest in the Vosges mountains (France). *Ann. Sci. For.*, 51, 27-51.
- Boudot J. P., Merlet D., Rouiller J. et Maitat O., 1994b. Validation of an operational procedure for aluminium speciation in soil solutions and surface waters. *Sci.Tot. Environ.*, 158 : 237-252.
- Boudot J. P., Becquer T., Merlet D., Rouiller J., Ranger J., Dambrine E. et Mohamed D. A., 1995a. Potential role of aluminium toxicity in nutrient deficiencies as related to forest decline : An assessment of soil solution data from the Vosges mountains. Dans : *Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains.* Landmann G., Bonneau M. (eds.), Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 270-285.
- Boudot J. P., Maitat O., Merlet D. et Rouiller J., 1995b. Occurrence of non-monomeric species of aluminium in undersaturated soil solutions and surface waters. Consequences for the determination of mineral saturation indices. *J. Hydrol.*, 177 : 47-63.
- Boudot J. P., Maitat O., Merlet D. et Rouiller J., 1996. Evidence for the redissolution of soil spodic horizons under the influence of acid deposition in the Vosges mountains (North-eastern France). *The Science of the Total Environment*, 184 : 211-214.
- Boxman A. W., Krabbendam H., Bellemakers M. J. S. et Roelofs J. G. M., 1991. Effects of ammonium and aluminium on the development and nutrition of *Pinus nigra* in hydroculture. *Environ. Pollut.*, 73 : 119-136.
- Brahmer G., 1990. Wasser- und Stoffbilanzen bewaldeter Einzugsgebiete im Schwarzwald unter Berücksichtigung naturräumlicher Ausstattung und amogener Einträge. *Freiburger Bodenkundl. Abh.*, 25 : 1-295. (dans Baur et Feger, 1992).
- Bredemeier M., Matzner E. et Ulrich B., 1990. Internal and external proton load to forest soils in Northern Germany. *J. Environ. Qual.*, 19 : 469-477.
- Brögger, 1881. Notes on a contaminated snowfall. *Naturen*, 5 : 47.
- Brown D. J. A., 1983. Effect of calcium and aluminium concentrations on the survival of brown trout (*Salmo trutta*) at low pH. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 30 : 582-587.
- Browne B. A. et Driscoll C. T., 1992. Soluble aluminum silicates : stoichiometry, stability, and implications for environmental geochemistry. *Science*, 256 : 1667-1670.
- Browning M. H. R. et Hutchinson T. C., 1991. The effects of aluminum and calcium on the growth and nutrition of selected ectomycorrhizal fungi of jack pine. *Canadian Journal of Botany*, 69 : 1691-1699.



- Bruce R. C., Warrell L. A., Edwards D. G. et Bell L. C., 1988. Effects of aluminium and calcium in the soil solution of acid soils on root elongation of *Glycine max* cv Forrest. *Aust. J. Agric. Res.*, 38 : 319–338.
- Brydges T. G. et Wilson R. B., 1991. Acid rain since 1985—times are changing. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh B*, 97 : 1–16.
- Buffet M., 1986. Le réseau de surveillance sanitaire des forêts : description , problématique. Programme DEFORPA, État des recherches de l'année 1986, Vol., 1, p. 7–15.
- Buffle J., 1988. Complexation reactions in aquatic systems – An analytical approach – (ed. Ellis Horwood) pp. 149–152, 571 (Dans : Clarke, 1994).
- Buurman P. et Van Reeuwijk L. P., 1984. Proto-imogolite and the process of podzol formation : a critical note. *J. Soil Sci.*, 35 : 447–452.
- Cachan P., 1974. Étude bioclimatique du massif Vosgien. *Bulletin de L'E.N.S.A.I.A. de Nancy*. Tome, XVI, fascicule, I-II, p. 1–48.
- Cambráia J., Pimenta J. A., Estevas M. M. et Sant'Anna R., 1989. Aluminum effects on nitrate uptake and reduction in sorghum. *J. Plant Nutr.*, 12 : 1435–1445.
- Cameron R. S., Ritchie G. S. P. et Robson A. D., 1986. Relative toxicities of inorganic aluminum complexes to barley. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50 : 1231–1236.
- Campbell P. G. C., Bisson M., Bougie R., Tessier A. et Villeneuve J. P., 1983. Speciation of aluminum in acidic freshwaters. *Anal. Chem.*, 55 : 2246–2252.
- Campbell G. W. et Lee D. S., 1996. Atmospheric deposition of sulphur and nitrogen species in the U. K.. *Freshwater Biology*, 36 : 151–167.
- Chao T. T., Haward M. E. et Fang S. C., 1964. Iron or aluminum coatings in relation to sulfate adsorption characteristics of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28 : 632–635.
- Charles D. F., Binford M. W., Furlong E.T., Hites R. A., Mitchell M.J., Norton S. A., Oldfield F., Paterson M. J., Smol J. P. Uutala A. J., White J. R., Whitehead D. R. et Wise R. J., 1990. Paleocological investigation of recent lake acidification in the Adirondack Mountains, NY *J. Paleolimnol.*, 3 : 195–241.
- Charles D. F., Smol J. P. et Engstrom D.R., 1994. Paleolimnological approaches to biological monitoring. *Biological monitoring of Aquatic Systems* (eds. S. L. Loeb and A. Spacie), pp. 233–293. CRC Press, Boca, Raton, Florida.
- Chester P. F., 1984 - General discussion in ecological effects of deposited sulfur and nitrogen compounds. *Trans. Roy. Soc. B.*, pp. 305–306.
- Childs C. W., Parfitt R. L. et Lee R., 1983. Movement of aluminium as an inorganic complex in some podzolised soils, New Zealand. *Geoderma*, 29 : 139–155.
- Christoffersen N. et Wright R. F., 1981. Sulfate budget and a model for sulfate concentrations in stream water at Birkenes, a small forested catchment in southernmost Norway. *Water Resour. Res.*, 17 : 377–389.
- Clarke N., Danielsson L. G. et Sparén A., 1991. Organic bound aluminium and its interaction with new method for determination of aluminium in natural waters. *Finnish Humus News* 3 : 253–258.
- Clarke N., Danielsson L. G. et Sparén A., 1992. The determination of quickly reacting aluminium in natural waters by kinetic discrimination in a flow system. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, 48 : 77–100.
- Clarke N., Danielsson L. G., Hanning A., Ingman F et Sparén A., 1994. Analytical methodology. Dans : L. Maxe (ed.), *Effects of acidification on groundwater in Sxeden - hydrological and hydrochemical processes*, Slutrapport II i storprojectet "Förurningseffekter på grundvatten", Ch. 2.
- Clarke N., 1994. Speciation of aluminium and iron in natural fresh waters. Thèse (Techn. D. thesis), The Royal Institute of Technology, Stockholm, Suède.
- Clarkson D. T., 1965. The effect of aluminium and some other trivalent metal cations on cell division in the root apices of *Allium cepa*. *Anal. Bot.*, 29 : 309–315.
- Clarkson D. T. et Sanderson J., 1969. The uptake of a polyvalent cation and its distribution in the root apices of *Allium cepa* : traces and autoradiographic studies. *Planta*, 89 : 136–154.
- Cronan C. S. et Schofield C. L., 1979. Aluminium leaching response to acid precipitation : effects on high elevation watersheds in the Northeast. *Science*, 204 : 304–306.
- Cronan C. S., 1980. Solution chemistry of a New Hampshire subalpine ecosystem : a biogeochemical analysis. *Oikos*, 34 : 272–281.
- Cronan C. S., Walker W. J. et Bloom P. R., 1986. Predicting aqueous aluminum concentrations in natural waters. *Nature*, 324 : 140–143.



- Cronan C. S., April R., Bartlett R. J., Bloom P. R., Driscoll C. T., Gherini S. A., Henderson G. S., Joslin C. D., Kelly J. M., Newton R. M., Parnell R. A., Pattersson H. P., Raynall D. J. Schaedle M., Schofield C. L., Sucoff E. I., Tepper H. B. et Thornton F. C., 1989. Aluminum toxicity in forests exposed to acidic deposition : the ALBIOS results. *Water, Air, soil pollut.*, 48 : 181-192.
- Cronan C. S. et Schofield C. L., 1990. Relationships between aqueous aluminium and acidic deposition in forested watersheds of North America and Northern Europe. *Environmental Science and Technology*, Vol., 24, No., 7 : 1100-1105.
- Cronan C. S. et Grigal D. F., 1995. Use of calcium / aluminum ratios as indicators of stress in forest ecosystems. *J. Environ. Qual.*, 24 : 209-226.
- Crowther C. et Ruston A. G., 1911. The nature, distribution and effects upon vegetation of atmospheric impurities in and near an industrial town. *Journal of Agricultural Science*, 4 : 25-55.
- Crowther C. et Steuart D.W., 1913. The distribution of atmospheric impurities in the neighbourhood of an industrial city. *Journal of Agricultural Science*, 5 : 391-408.
- Cumming J. R. et Weinstein L. H., 1990a - Aluminum-mycorrhizal interactions in the physiology of pitch pine seedlings. *Plant and Soil*, 125 : 7-18
- Cumming J. R. et Weinstein L. H., 1990b - Nitrogen source effects on Al toxicity in non mycorrhizal and mycorrhizal pitch pine (*Pinus rigida* seedlings. I. Growth and nutrition. *Canadian Journal of Botany*, 68 : 2644-2652.
- Cumming B. F., Davey K. A., Smol J. P. et Birks H. J. B., 1994. When did acid-sensitive Adirondack lakes (New York, USA) begin to acidify and are they still acidifying? *Can. J., Fisf. Aquat. Sci.*, 51 (7) : 1550-1568.
- Dahlgren R. A., Driscoll C. T. et McAvoy D. C., 1989. Aluminum precipitation and dissolution rates in spodosol Bs horizons in the Northeastern USA. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53: 1045-1052.
- Dahlgren R. A. et Ugolini F. C., 1989a. Aluminum fractionation of soil solutions from unperturbed and tephra-treated spodosols, Cascade Range, Washington, USA. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53 : 559-566.
- Dahlgren R. A. et Ugolini F. C., 1989b. Formation and stability of imogolite in a tephritic spodosol, Cascade Range, Washington, U.S.A.. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53 : 1897-1904.
- Dale T. et Hendrickson A., 1975. Intercalibration of methods for chemical analysis of water, *Vatten*, 31 : 95.
- Dalziel T. R. K., Morris R. et Brown D. J. A., 1986. The effects of low pH, low calcium concentrations and elevated aluminium concentrations on sodium fluxes in brown trout, *Salmo trutta* L. . *Water, Air, and Soil Pollution*, 30 : 569-577.
- Dambrine, E., Ranger J., Pollier B., Granier A., Bonneau M., Lu P., Probst A., Viville D., Biron P., Garbaye J. et Devèvre O., 1992. Influence of various stresses on the Ca and Mg nutrition of a spruce stand developed on acid soil. Dans : *Response of forest ecosystems to environmental changes*, edited by A. Teller, P. Mathy and J. N. R. Jeffers, 465-472. London New York, Elsevier.
- Dambrine, E., Kinkor, V., Jehlicka, J. et Gelhaye, D., 1993. Fluxes of dissolved mineral elements through a forest ecosystem submitted to extremely high atmospheric pollution inputs (Czech Republic). *Ann. Sci. For.*, 50 : 147-157.
- Dambrine E., Bonneau M., Ranger J., Mohamed A. D., Nys C. et Gras F., 1995. Cyclines and budgets of acidity and nutrients in Norway Spruce stands in Northeastern France and the Erzgebirge (Czech Republic). Dans : *Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains*. Landmann G., Bonneau M. (eds.), Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 233-258.
- David M. B. et Driscoll C. T., 1984. Aluminium speciation and equilibria in soil solutions of a Haplorthod in the Adirondack mountains, New York. *Geoderma*, 33 : 297-318.
- David M. B., Grigal D. F., Ohmann L. F. et Gertner G. Z., 1988. S, C, and N relationships in forest soils across the northern Great Lake States as affected by atmospheric deposition and vegetation. *Can. J. For. Res.*, 18 : 1386-1391.
- David M. B. et Lawrence G. B., 1996. Soil and soil solution chemistry under red spruce stands across the Northeastern United States. *Soil Science*, Vol., 161, 5 : 314-328.
- Dean J. R., 1989. Ion chromatographic determination of aluminium with ultraviolet spectrophotometric detection. *Analyst*, 114 : 165-168.
- De Coninck F., 1980. Major mechanisms in formation of spodic horizons. *Geoderma*, 24 (2) : 101-128.
- Delhaize E., Higgins T. J. V. et Randall P. J., 1991. Aluminum tolerance in wheat : analysis of polypeptides in the root apices of tolerant and sensitive genotypes. Dans : *Plant-soil interactions at low pH*, (ed.) R.J. Wright, V.C. Baligar, P.R. Murrmann, pp. 1071-1080.



- Delhaize E., Ryan P. R. et Randall P. J., 1993a. Aluminum in wheat (*Triticum aestivum* L.) II. Aluminum-stimulated excretion of malic acid from root apices. *Plant Physiol.*, 103 : 695–702.
- De Vries W., Van Grinsven J. J. M., Van Breemen N., Leeters E. E. J. M. et Jansen P. C., 1995a. Impacts of acid deposition on concentrations and fluxes of solutes in acid sandy forest soils in the Netherlands. *Geoderma*, 67 : 17–43.
- De Vries W., Posch M., Oja T., Van Oene H., Warfvinge P. et Arp P. A., 1995b. Modelling critical loads for the Solling spruce site. *Ecological Modelling* 83 : 283–293.
- Dickson W., 1983. Liming toxicity of aluminium to fish. *Vatten*, 39 : 400–404.
- Dion J., 1970. Les forêts de la France du nord-est. *Revue Géographique de l'Est*, XII, 3–4, pp. 155–277.
- Dion J., 1979. Les forêts vosgiennes, étude physique. Thèse de l'Université de Paris-Sorbonne. 484 p.
- Dougan W. K. et Wilson A. L., 1974. The absorptiometric determination of aluminium in water : a comparison of some chromogenic reagents and the development of an improved method. *Analyst*, 99 : 413–430.
- Downing C. E. H., Vincent K. J., Cambell G. W., Fowler D. et Smith R. I., 1995. Trends in wet and dry deposition of sulphur in the United Kingdom. *Water Air Soil Pollut.*, 85 : 659–664.
- Driscoll C. T., 1980. Chemical characterization of some dilute acidified lakes and streams in the Adirondack region of New York state. Ph. D. dissertation, Cornell Univ. Ithaca, NY.
- Driscoll C. T., Baker J. P., Bisogni J. J. et Schofield C. L., 1980. Effect on aluminium speciation on fish in dilute acidified waters. *Nature*, 284 : 161–164.
- Driscoll C. T. et Likens G. E., 1982. Hydrogen ion budget of an aggrading forested ecosystem. *Tellus* 34 : 283–292.
- Driscoll C. T., 1984. A procedure for the fractionation of aqueous aluminum in dilute acidic waters. *International J. Environ. Anal. Chem.*, 16 : 267–283.
- Driscoll C. T. et Newton R. M., 1985. Chemical characteristics of acid-sensitive lakes in Adirondack region of New York. *Environ. Sci. Technol.*, 19 : 1018–1024.
- Driscoll C. T., Van Breemen N. et Mulder J., 1985. Aluminum chemistry in a forested spodosol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49 : 437–444.
- Driscoll C. T. et Schecher W. D., 1988. Aluminum in the environment. Dans : A. Siegl (eds.), *Metal Ions in biological systems*. Vol. 24, Aluminum and its role in biology, pp. 59–122. Marcel Dekker, New York.
- Driscoll C. T. et Van Dreason R., 1993. Seasonal and long-term temporal patterns in the chemistry of Adirondack lakes. *Water Air Soil Pollut.*, 67, 319–344.
- Driscoll C. T., Lehtinen M. D. et Sullivan T. J., 1994. Modelling the acid-base chemistry of organic solutes in Adirondack, New-York, lakes. *Water Resour. Res.*, 30 (2) : 297–306.
- Duchauffour P., 1970. *Précis de Pédologie*. Masson, Paris, 3rd ed., pp. 1–381.
- Ducros M., 1845. Observation d'une pluie acide. *Journal de la Pharmacie Chimique*, 3 : 273–277.
- Duffield J. R., Edwards K., Evans D. A., Morrish D. M., Vobe R. A. et Williams D. R., 1991. Low molecular mass aluminum complex speciation in biofluids. *J. Coord. Chem.*, 23 : 277–290.
- Duffet S. J., Hay G. W., Micklethwaite R. K. et VanLoon G. W., 1988. A method for determining metal species in soil pore water. *Sci. Tot. Environ.*, 76 : 203–215.
- Durand P., 1989. Biogéochimie comparée de trois écosystèmes (pelouse, hêtraie, pessière) de moyenne montagne granitique (Mont-Lozère, France). Thèse d'université, Université d'Orléans, 190 p.
- Durand P., Neal C. et LeLong F., 1992. Anthropogenic and natural contributions to the rainfall chemistry of a mountainous area in the Cevennes National Park (Mont-Lozère, southern France). *J. Hydrol.*, 130 : 71–95.
- Egli M., 1995. The influence of increased  $\text{NH}_4^+$  deposition rates on aluminium chemistry and alkalinity in the percolate of acid soils. Ph. D. thesis, Geography-physic Institute, university of Zurich, Vol. 35 : 156.
- Ek A., Grahn O., Hultberg H., et Rengberg I., 1995. Recovery from acidification in the lake Örvattnet, Sweden. *Water Air Soil Pollut.*, 85 : 1795–1800.
- Evans A. Jr. et Zelazny L. W., 1986. Determination of inorganic mononuclear aluminum by selective chelation using crown ethers. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50 : 910–913.
- Evans D. F., Parr J. et Coker E. N., 1990. *Polyhedron*, 9 : 813–823. (Dans Clarke, 1994).
- Exley C., Chappell J. S. et Birchall J. D., 1991. A mechanism of acute aluminium toxicity in fish. *J. Theor. Biol.*, 151 : 417–428.
- Exley C., Wicks A. J., Hubert R. B. et Birchall J. D., 1994. Polynuclear aluminium and acute aluminium toxicity in the fish. *J. Theor. Biol.*, 167 : 415–416.



- Exley C., 1996. Aluminium in the brain and heart of the rainbow trout. *Journal of fish Biology*, 48 : 706–713.
- Falkengren-Grerup U. et Tyler G., 1992. Changes since 1950 of mineral pools in the upper C-horizon of Swedish deciduous forest soils. *Water, Air and Soil Pollution*, 64/ 495–501.
- Farmer V. C., 1982. Significance of the presence of allophane and imogolite in podzol B<sub>s</sub> horizons for podzolization mechanisms : a review. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 28 (4) : 571–578.
- Farmer V. C., 1984. Distribution of allophane and organic matter in podzol B horizons : reply to Buurman & Van Reeuwijk. *J. Soil Sci.* 35 : 453–458.
- Farmer V. C. et Fraser A. R., 1982. Chemical and colloidal stability of sols in the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O system : their role in podzolization. *J. Soil Sci.*, 33 : 737–742.
- Farmer V. C. et Lumsdon D. G., 1994. An assessment of complex formation between aluminium and silicic acid in acidic solutions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58 (16) : 3331–3334.
- Farmer V. C., Russel J. D. et Berrow M. L., 1980. Imogolite and proto-imogolite allophane in spodic horizons : evidence for a mobile aluminium silicate complex in podzol formation. *J. Soil Sci.*, 31 : 673–684.
- Ferm M. et Hultberg M., 1995. Deposition of base cations to forested catchment area. Dans : European Network of Catchments Organised for Research on Ecosystems (ENCORE) contract report.. Project No. T07054G5, NERC/CEC Contract No. STEP- CT- 90-0113. (Edited by Hormung) Vol., 3, 10 p.
- Fichter J., 1997. Minéralogie quantitative et flux d'éléments minéraux libéré par altération des minéraux des sols dans deux écosystèmes sur granite (bassin versant du Strengbach, Vosges). Thèse de doctorat de l'Université Henri Poincaré, Nancy I, 277 pp
- Fischer Z., Angiel M., Bienkowski P., Dowgiallo A. et Focht U., 1996. Studies of the effects of simulated acid rain on the ecological equilibrium of the soil system. *Environmental Monitoring and Assessment* 41 : 1–65.
- Fivelstad S. et Leivestad H., 1984. Aluminum toxicity to atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and brown trout (*Salmo trutta* L.) : mortality and physiological response. Institute of Freshwater Research Drottningholm, report 61 : 34–47.
- Flaten T. P., Wakayama ., Sturm M. J., Kretser W., Capone S., Dudones T., Bath D. W., Gallagher J., Moore W. et Garruto R. M., 1993. Natural models of aluminium toxicity in fish from acid-rain lakes. Dans : Alzheimer's disease and related disorders,(ed.) M. Nicolini, P. F., Zatta and B. Corain, Oxford, Pergamon Press, pp. 253–254.
- Florence T. M. et Batley G. E., 1980. Chemical speciation in natural waters, *Crit. Rev. Anal. Chem.*, 9 (3) : 219.
- Flower R. J. et Battarbee R., 1983. Diatom evidence for recente acidification of two Scottish lochs. *Nature*, 305 : 130–133.
- Flower R. J., Battarbee R. W. et Appleby P. G., 1987. The recent palaeolimnology of acid lakes in Galloway, south-west Scotland : diatom analysis, pH trends and the role of afforestation. *Journal of Ecology*, 75 : 797–824.
- Foy C. D., 1974. Effects of aluminium on plant growth. Dans : E. W. Carson (ed.) *The Plant Root and environment*, pp. 601–642.
- Foy C. D., 1984. Physiological effects of hydrogen, aluminium, and manganese toxicities in acid soil. Dans : *Soil acidity and liming*, 2nd edn (F Adams, ed). *Agronomy Monograph* N° 12, ASA-CSSA-SSSA, WI 53711, USA, 57-97.
- Foy C. D., 1988. Plant adaptation to acid, aluminium-toxic soils. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 19 : 959–987.
- Franken G., Pijpers M. et Matzner E., 1995. Aluminium chemistry of soil solution in an acid forest soil as influenced by percolation rate and soil structure. *European Journal of Soil Science*, 46 : 613–619.
- Freiesleben N. E., Ridder C. et Rasmussen L., 1986. Patterns of acid deposition to a danish spruce forest. *Water, Air and Soil Pollution*, 30 : 135–141.
- Freycon V., 1993. La C.E.C. des horizons organiques de sols forestiers de l'Est de la France. D.E.A. de pédologie. Université de Nancy I, pp. 1–51.
- Fritz B., 1975. Etude thermodynamique et simulatn des réactions entre minéraux et solutions. Applications à la géochimie des altérations et des eaux continentales. *Sciences Géologiques*, mémoire 41, pp. 1–152.
- Galloway J. N., Norton S. A. et Church M. R., 1983. Acidification from atmospheric deposition of sulfuric acid : A conceptual model. *Environ. Sci. Technol.*, 17 : 541A–545A.
- Galloway J. N., 1989. Atmospheric acidification : Pijjections for the future. *Ambio*, 18 (3) : 161–166.
- Galsomies L., Robert M., Gelie B. et Jaunet A. M., 1992. Utilisation des microscopies électroniques analytiques pour la localisation de l'aluminium dans les végétaux. Application à la phytotoxicité aluminique. *Butt. Soc. Bot. Fr.*, 139, Actual. Bot., (1) : 25–31.



- Gebhardt H. et Coleman N. T., 1974. Anion adsorption by allophanic tropical soils: II. Sulfate adsorption. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38 : 259–262.
- Gibson J. A. E. et Willet I. R., 1991. The application of fluorescence detection to the determination and speciation of aluminium in soil solutions by ion chromatography. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 22 (13–14) : 1303–1313.
- Gillman G. P., 1976. A centrifuge method for obtaining soil solution. Div. Rep. N°16. CSIRO, Div. of Soils, Adelaide, Australia, pp. 1–2.
- Glatzel G., 1990. The nitrogen status of Austrian forest ecosystems as influenced by atmospheric deposition, biomass harvesting and lateral organomass exchange. *Plant and Soil*, 128 : 67–74.
- Goenaga X., Bryant R. et Williams D. J. A., 1987. Influence of sorption processes on aluminum determinations in acidic waters. *Anal. Chem.*, 59 : 2673–2678.
- Godbold D. L. et Hüttermann A., 1985. Effect of zinc, cadmium and mercury on root elongation of *Picea abies* (Karst.) seedlings, and the significance of these metals to forest die-back. *Environmental Pollution*, (Series A), 38 : 375–381.
- Godbold D. L., Fritz E. et Hüttermann A., 1988. Aluminum toxicity and forest decline. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 85 : 3888–3892.
- Godbold D. L., 1991. Aluminium decreases root growth and calcium and magnesium uptake in *Picea abies* seedlings. Dans : *Plant-soil interactions at low pH* (R. J. Wright *et al*, eds). Kluwer Acad. Publ., pp 747–753.
- Godbold D. L., Jentschke G. et Marshner P., 1995. Solution pH modifies the response of Norway spruce seedlings to aluminium. Dans : R.A. Date *et al*. (ed.), *Plant Soil Interactions at low pH*, Kluwer Acad. Publ., pp. 345–348.
- Göransson A. et Eldhuset T. D., 1991. Effects of aluminium on growth and nutrient uptake of small *Picea abies* and *Pinus sylvestris* plants. *Trees*, 5 : 136–142.
- Gorham E., 1955. On the acidity and salinity of rain. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 7 : 231–239.
- Gorham E., 1957a. The ionic composition of snow and lowland lake waters from cheshire, England. *Limnologie Oceanographie*, 2 : 22–27
- Gorham E., 1957b. The chemical composition of lake waters in Halifax Country, Nova Scotia, *Limnologie Oceanographie*. 2 : 12–21.
- Gorham E., 1958. The influence and importance of daily weather conditions in the supply of chloride, sulphate and other ions to fresh waters from atmospheric precipitation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 247 : 147–178.
- Gorham E., 1961. Factors affecting the supply of major ions to inland waters with special reference to the atmosphere. *Geological Society of America Bulletin*, 72 : 795–840.
- Grauer U. E. et Horst W., 1991. Comments on the Calcium-Aluminium Balance (CAB). *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55 : 897–898.
- Grauer U. E. et Horst W. J., 1992. Modeling cation amelioration of aluminium phytotoxicity. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56 : 166–172.
- Grauer U. E., 1993. Modelling anion amelioration of aluminium phytotoxicity. *Plant and Soil*, 157 : 319–331.
- Green J., 1959. Geochemical table of the elements for 1959. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 70, pp. 1–1127.
- Guérol F. et Pihan J. C., 1989. L'acidification des torrents Vosgiens. Mise en évidence. Impact sur les populations de macroinvertébrés. *Rev. Sci. Eau*, 2 : 621–640
- Guérol F., Vein D. et Jacquemin G., 1991. Les peuplements d'éphéméroptères, de plécoptères et de tricoptères des ruisseaux acides et non acides du massif Vosgien : première approche. *Rev. Sci. Eau*, 4 : 299–314.
- Guérol F., Vein D., Jacquemin G. et Moreteau J. C., 1993. Impact de l'acidification des ruisseaux Vosgiens sur la biodiversité de la macrofaune benthique. *C. R. Acad. Sci., Paris, Sci. Vie*, 316 : 1388–1392.
- Guérol F., Boudot J. P., Merlet D., Rouiller J., Vein D. et Jacquemin G. 1997. Evaluation de l'état d'acidification des cours d'eau du département des Vosges. Contract N° 14/96 C. Scientific report, pp. 1–68.
- Guillet B., 1972. Relation entre l'histoire de la végétation et la podzolisation dans les Vosges. Thèse Doct. Etat, Université Nancy, pp. 1–122.



- Guillet B., Lelong F., Vannier C., Hanchi A., Didon J. F. et Rapp M., 1995. Sulphur fluxes through ecosystems and soils, and relationships with sulphur forms stored in soils. Soil, Sulphur dynamics at the Mont Lozere forested catchments. Dans : European Network of Catchments Organised for Research on Ecosystems (ENCORE) contract report.. Project No. T07054G5, NERC/CEC Contract No. STEP - CT - 90 - 0113. (edited by Hormung) Vol., 3, pp. 1–30.
- Gundersen D. T., Bustaman S., Seim W. K. et Curtis L. R., 1994. pH, Hardness, and humic acid influence aluminum toxicity to Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in weakly alkaline waters. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 51 : 1345–1355.
- Gustafsson J. P., Bhattacharya P., Bain, D. C., Fraser A. R. et McHardy W. J., 1995. Podzolisation mechanisms and the synthesis of imogolite in northern Scandinavia. Geoderma, 66 : 167–184.
- Hallbäck, L., 1992. Long term changes of base cation pools in soil and biomass in a beech and a spruce forest of southern Sweden. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 155 : 51–60.
- Hambuckers A. et Remacle J., 1995. Timme series analysis to evaluation of temporal changes in inputs and outputs. Dans : European Network of Catchments Organised for Research on Ecosystems (ENCORE) contract report.. Project No. T07054G5, NERC/CEC Contract No. STEP - CT - 90 - 0113. (Edited by Hormung) Vol., 3, pp. 1–25.
- Hammond K. E., Evans D. E. et Hodson M. J., 1995. Aluminium/silicon interactions in Barley (*Hordeum vulgare* L.) seedlings. Plant and Soil, 173 : 89–95.
- Hargrove W. L., 1986. The solubility of aluminium-organic matter and its implication in plant uptake of aluminium. Soil Science, 142 : 179–180.
- Harris W. R., Berthon G., Exley C., Flaten T. P., Forbes W. F., Kiss T., Orvig C. et Zatta P. F., 1996. Speciation of aluminium in biological systems. J. Tox. Environ. Health, 48 : 543–568.
- Haug A., 1984. Molecular aspects of aluminum toxicity. CRC Crit. Rev. Plant Sci., 1 : 345–373.
- Haug A. et Caldwell C. R., 1985. Aluminum toxicity in plants : the role of root plasma membrane and calmodulin. In frontiers of membrane research in agriculture, (ed.) J. B. St. John, P. C. Jackson, Totowa, NJ : Roxman and Allanheld, pp. 359–381.
- Haug A., Shi B. et Vitorello V., 1994. Aluminium interaction with phosphoinositide-associated signal transduction., Arch., Toxicol., 68 : 1–7.
- Hauhs M., 1989. Lange Bramke : an ecosystem study of a forested catchment. Dans : D. C. Adriano and M. Havas (Editors), Acidic precipitation, Volume 1, Case Studies. Springer-Verlag, New York, pp. 275–305.
- Hecht-Buchholz C., Jorns C. A. et Keil P., 1987. Effect of excess aluminum and manganese on Norway spruce seedlings as related to magnesium nutrition. J. Plant Nutr., 10 : 1103–1110.
- Hedin L. O., Granat L., Likens G. E., Buishand T.A., Galloway J. N., Butler T. J. et Rodhe H., 1994. Steep declines in atmospheric base cations in regions of Europe and North America. Nature, 367 : 351–354.
- Helliwell S., Batley G. E., Florence T. M. et Lumsden B. G., 1983. Speciation and toxicity of aluminum in model freshwater. Environ. Technol. Lett., 4 : 141–144.
- Helmke R. P., 1982. Neutron activation analysis. Part. 2, chemical and microbiological properties. 2<sup>nd</sup> ed., Page A. L., Miller R. H., and Kenney D. R., Eds., American Society of Agronomy, Madison, WI, Chap. 4.
- Hem J. D., 1978. Abundance (of aluminum) in natural waters and the atmosphere. Dans : K. H. Wedephol (ed.), Handbook of Geochemistry, Springer-Verlag, Berlin, pp. 132–133.
- Hem J. D., 1986. Geochemistry and aqueous chemistry of aluminum. Dans : J. W. Coburn and A.C. Afrey(eds.), Kidney International, pp. S3–S7. Springer-Verlag, New York.
- Hendershot W. H., Warfvinge P., Courchesne F. et Sverdrup H. U., 1991. The mobile anion concept – Time for a reappraisal ? J. Environ. Qual., 20 : 505–509.
- Henriksen A. et Seip H. M., 1980. Strong and weak acids in surface waters of southern Scotland. Water Resources, 14 : 809–813.
- Henriksen A., Skogheim O. K. et Rosseland B. O., 1984. Episodic changes in pH and aluminum-speciation kill fish in a Norwegian salmon river. Vatten, 40 : 255–260.
- Henriksen A., Kämäri J., Posch M. et Wilander A., 1995. 1992 Critical loads of acidity to Nordic surface waters. Ambio, 21 : 356–363.
- Henrikson L. et Brodin Y. W., 1995. Liming of acidified surface waters. A Swedish synthesis. Springer Verlag, Berlin, pp. 1–458.
- Henshaw J. M., Lewis T. L. et Heithmar E. M., 1988. A semi-automated colorimetric method for the determination of monomeric aluminum species in natural waters by FIA analysis. Int. J. Environ. Anal. Chem., 34 : 119–135.



- Hetier J. M. et Tardy Y., 1969. Présence de vermiculite-Al, montmorillonite-Al et chlorite-Al et leur répartition dans quelques sols de Vosges. C. R. Acad. Sci. Paris, 268 : 259-261.
- Hetland S., Martinsen I., Radziuk B. et Thomassen Y., 1991. Species analysis of inorganic compounds in workroom air by atomic spectroscopy. Anal. Sci., 7 : 1029-1032.
- Hoddinott J. et Richter C., 1987. The influence of aluminum on photosynthesis and translocation in french bean. J. Plant Nutr., 10 : 443-454.
- Hodges S. C., 1987. Aluminum speciation : a comparison of five methods. Soil Sci. Soc. Am. J., 51 : 57-64.
- Hornung M., Brown S. J. et Ranson A., 1990. Amelioration of surface water acidity by catchment management. Dans : R.W. Edwards *et al.* (eds.), Acid Waters in Wales, Chap. 19, pp. 311-328.
- Horst W. J., Wagner A. et Marschner H., 1982 - Mucilage protects root meristems from aluminium injury. Zeitschrift für Pflanzenphysiologie, 105 : 435-444.
- Howard A. G., Coxhead A. J. Potter I. A. et Watt A., 1986. Determination of dissolved aluminium by the micelle-enhanced fluorescence of its lumogallion complex. Analyst, 111 : 1379.
- Howells G. D., Dalziel T. R. K. et Turnpenny A. W. H., 1992. Loch Fleet : liming to restore a brown trout fishery. Environmental Pollution, 78 : 131-139.
- Hruška J. et Krám P., 1994. Aluminium chemistry of the root zone of forest soil affected by acid deposition at the Lysine catchment, Czech Republic. Ecol. Engin., 3 : 5-16.
- Huang J. W., Shaff J. E., Grunes D. L. et Kochian L. V., 1992. Aluminum effects on calcium fluxes at the root apex of aluminum-tolerant and aluminum-sensitive wheat cultivars. Plant Physiology, 98 : 230-237.
- Huang J. et Bachelard E. P., 1993. Effects of aluminium on growth and cation uptake in seedlings of *Eucalyptus mannifera* and *Pinus radiata*. Plant and Soil 149 : 121-127.
- Hue N. V., Craddock G. R. et Adams F., 1986. Effect of organic acids on aluminum toxicity in sub soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 50 : 28-34.
- Hue N. V. et Amien I., 1989. Aluminium detoxification with green manures. Communications dans Soil Science and Plant Analysis, 20 (15-16) : 1499-1511.
- Hunter D. et Ross D. S., 1991. Evidence of a phytotoxic hydroxy-aluminum polymer in organic soil horizons. Science, 251 : 1056-1058.
- Hutchinson T. C., Bozic L. et Munoz-Vega G., 1986. Response of five species of conifer seedlings to aluminum stress. Water Air Soil Pollut., 31 : 283-294.
- Hüttermann A. et Ulrich B., 1984. Solid phase-solution-root interactions in soils subjected to acid deposition. Phil. Trans. R. Soc., London, B, 305 : 353-368.
- James B. R., Clark C. J., et Riha S. J., 1983. An 8-hydroxyquinoline method for labile and total aluminium in soil extracts. Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 47 : 893-897.
- Järvinen O. et Vänni T., 1990. Bulk deposition chemistry in Finland. Acidification in Finland. (eds. P. Kauppi, P. Anttila and K. Kenttämies), Springer-Verlag, pp. 151-165.
- Jenkins A., Wright R. F. et Cosby B. J., 1995a. Modelling long-term hydrochemical response at ENCORE catchment in the UK and Norway. Dans : European Network of Catchments Organised for Research on Ecosystems (ENCORE) contract report. Project No. T07054G5, NERC/CEC Contract No. STEP - CT - 90 - 0113. (edited by Hornung) Vol., 3, pp. 1-39.
- Jenkins A., Campbell R., Renshaw M. Boorman D., Stedman J., et Patrick S., 1995b. Surface water acidification in the UK; current status, recent trends and future predictions. Water Air Soil Pollut., 85 : 565-570.
- Jenkins A., Boorman D et Renshaw M., 1996. The U.K. Acid Waters Monitoring Network : an assessment of chemistry data, 1988-93. Freshwater Biology, 36 : 169-178.
- Jentschke G., Godbold D. L. et Hüttermann A., 1991a. Culture of mycorrhizal tree seedlings under controlled conditions : effects of nitrogen and aluminium. Physiologia Plantarum, 81 : 408-416.
- Jentschke G., Schlegel H. et Godbold D. L., 1991b. The effect of aluminium on uptake and distribution of magnesium and calcium in roots of mycorrhizal Norway spruce seedlings. Physiologia Plantarum, 82 : 266-270.
- Jones P., Ebdon L. et Williams T., 1988. Determination of trace amounts of aluminium by ion chromatography with fluorescence detection. Analyst, 113 : 641-644.
- Jones P., 1991. The investigation of aluminium speciation in natural and potable waters using short-column ion chromatography. Intern. J. Environ. Anal. Chem., 44 (1) : 1-10.



- Jones P. et Paul B., 1992. Study of aluminium speciation in potable waters from the South West of England using ion chromatography. *Analytical Proceedings*, 29 : 402–404.
- Johnson A. H. et Siccama T. G., 1983. Acid deposition and forest decline. *Environmental Science and Technology*, 17 : 294 A–305 A.
- Johnson D. W. et Lindberg S. E., 1989. Acidic deposition on Walker Branch Watershed. Dans : D. C. Adriano and M. Havas (Editors), *Acidic precipitation, Volume 1, Case Studies*. Springer-Verlag, New York, pp. 1–38.
- Johnson N. M., Driscoll C. T., Eaton J. S., Likens G. E. et McDowell W. H., 1981. 'Acid rain', dissolved aluminum and chemical weathering at the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45 : 1421–1437.
- Johnson A. H., Siccama T. G., Silver W. L. et Battles J. J., 1989. Decline of red spruce in high-elevation forests of New York and New England. Dans : D. C. Adriano and M. Havas (Editors), *Acidic precipitation, Volume 1, Case Studies*. Springer-Verlag, New York, pp. 85–112.
- Johnson A. H., Schwartzman T. N., Battles J. J., Miller R., Miller E. K., Freidland A. J. et Vann D. R., 1994. Acid rain and soils of the Adirondacks. II. Evaluation of calcium and aluminum as causes of red spruce decline at Whiteface Mountain, New York. *Can. J. For. Res.*, 24 : 654–662.
- Johnson D. T., Swank W. T. et Vose J. M., 1995. Effects of liming on soils and streamwaters in deciduous forest: comparison of field results and simulations. *J. Environ. Qual.*, 24 : 1105–1117.
- Jongbloed R. H. et Borst-Pauwells G. W. F. H., 1992. Effects of aluminium and pH on growth and potassium uptake by three ectomycorrhizal fungi in liquid culture. *Plant and Soil*, 140 : 157–165.
- Joslin J. D. et Wolfe M. H., 1988. Responses of red spruce seedling to changes in soil aluminum in six amended forest soil horizons. *Can. J. For. Res.*, 18 : 1614–1623.
- Joslin J. D., Kelly J. M. et Wolfe M. H., 1988. Elemental patterns in roots and foliage of mature spruce across a gradient of soil aluminium. *Water Air and Soil Pollution*, 40 : 375–390.
- Joslin J. D., Kelly J. M. et Van Miegroet H., 1992. Soil chemistry and nutrition of North American spruce-fir stands : Evidence for recent change. *J. Environ. Qual.*, 21 : 12–30.
- Juggins S., Flower R. J. et Battarbee R. W., 1996. Palaeolimnological evidence for chemical and biological changes in U. K. Acid Waters Monitoring Network sites. *Freshwater Biology*, 36 : 203–220.
- Kasuya M. C. M., Muchovej R. M. C. et Muchovej J. J., 1990. Influence of aluminum on *in vitro* formation of *Pinus caribaea* mycorrhizae. *Plant and Soil*, 124 : 73–77.
- Keltjens W.G. et Tan K., 1993. Interactions between aluminium, magnesium and calcium with different monocotyledonous and dicotyledonous plant species. *Plant and Soil*, 155/156 : 485–488.
- Kerven G. L., Edwards D. G., Asher C. J., Hallman P. S. et Kokot S., 1989a. Aluminum determination in soil solution. I. Evaluation of existing colorimetric and separation methods for the determination of inorganic monomeric aluminum in the presence of organic acid ligands. *Austr. J. Soil Res.*, 27 : 79–90.
- Kerven G. L., Edwards D. G., Asher C. J., Hallman P. S. et Kokot S., 1989b. Aluminum determination in soil solution. II. Short term colorimetric procedures for the measurement of inorganic monomeric aluminum in the presence of organic acid ligands. *Austr. J. Soil Res.*, 27 : 91–102.
- Kerven G. L., Larsen P. L. et Blamy F. P. C., 1995. Detrimental sulfate effects on formation of  $Al_{13}$  tridecameric polycation in synthetic soil solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59 : 765–771.
- Khanna P. K., Prenzel J., Meiwes K. J., Ulrich B. et Matzner E., 1987. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51 : 446–452.
- Kinraide T. B. et Parker D. R., 1987a. Cation amelioration of aluminum toxicity in wheat. *Plant Physiol* 83, 546–551
- Kinraide T. B. et Parker D. R., 1987b. Non-phytotoxicity of the aluminium sulfate ion,  $AlSO_4^+$ . *Physiol Plant* 71 : 207–212.
- Kinraide T. B. et Parker D. R., 1989. Assessing the phytotoxicity of mononuclear hydroxy-aluminum. *Plant Cell Environ.*, 12 : 479–487.
- Kinraide T. B., 1990. Assessing the rhizotoxicity of the aluminate ion,  $Al(OH)_2^-$ . *Plant Physiol.*, 94 : 1620–1625.
- Kinraide T. B., 1991. Identity of the rhizotoxic aluminium species. *Plant and Soil*, 134 : 167–178.
- Kinraide T. B., Ryan P. R. et Kochian L. V., 1992. Interactive effects of  $Al^{3+}$ ,  $H^+$ , and other cations on root elongation considered in terms of cell-surface electrical potential. *Plant Physiol.*, 99 : 1461–1468.
- Koch A. S. et Matzner E., 1993. Heterogeneity of soil and soil solution chemistry under Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and European beech (*Fagus sylvatica* L.) as influenced by distance from stem basis. *Plant and Soil*, 151 : 227–237.



- Kochian L. V., 1995. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. *Plant Physiol. Plant Mol. Biol.*, 46 : 237–260.
- Kononova M. M., 1961. Soil organic matter. Its nature, its role in soil formation and in soil fertility. Pergamon press, 450 pp.
- Krám P., Hruška J., Driscoll C. T. et Johnson C. E., 1995. Biogeochemistry of aluminum in a forest catchment in the Czech Republic impacted by atmospheric inputs of strong acids. *Water Air and Soil Pollution*, 85 : 1831–1836.
- Lacroix G. L., Peterson R. H., Belfry C. S. et Martin-Robichaud D. J., 1993. Aluminum dynamics on gills of Atlantic salmon fry in the presence of citrate and effects on integrity of gill structures. *Aquat. Toxicol.*, 27 : 373–402.
- Lalande H. et Hendershot W. H., 1986. Aluminum speciation in some synthetic systems : comparison of the fast-oxine, pH 5 extraction and dialysis methods. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43 : 231–234.
- Lancaster J., Real M., Juggins S., Moneteith D. T., Beaumont W. R. C. et Flower R. J., 1996. Monitoring temporal changes in the biology of acid waters. *Freshwater Biology*, 36 : 179–201.
- Landmann G., Bonneau M. et Adrian M., 1987. Le dépérissement du sapin pectiné et de l'épicéa commun dans le massif vosgien est-il en relation avec l'état nutritionnel des peuplements ? *Rev. For. Fr.*, 39 : 5–11.
- Landmann G., 1987. Les recherches sur le dépérissement en forêt en France : structure et principaux résultats du programme DEFORPA. Dans : *Air Pollution and Ecosystems*, P. Mathy (Ed), 18–22 mai 1987, Grenoble, France, 261–281.
- Landmann G., 1988. Comment apprécier la vitalité d'un arbre ou d'un peuplement forestier? *Rev. For. Fr.*, 34 : 5–11.
- Landmann G., 1992. Research into forest decline and air pollution in France. Major findings and relevance for policy applications. Dans : *Acidification Research and Policy Applications*, edited by T. Schneider, 383–395. Elsevier.
- Landmann G. et Bonneau M., 1995. Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains. Springer Verlag, 461 pp.
- LaZerte B. D., 1984. Forms of aqueous aluminum in acidified catchments of central Ontario : a methodological analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 41 : 766–776.
- LaZerte B. D., Chun C., Evans D. et Tomassini F., 1988. Measurement of aqueous aluminum species : comparaison of dialysis and ion-exchange techniques. *Environ. Sci. Technol.*, 22 : 1106–1108.
- Li Y. C., Alva A. K. et Sumner M. E., 1989. Response of cotton cultivars to aluminium in solutions with varying silicon concentrations. *J. Plant Nutr.*, 12 : 881–892.
- Lien L., Raddum G. G. et Fjellheim, 1992. Critical loads for surface waters; invertebrates and fish. Norwegian Institute for Waters Research, Acid Rain Research Report N) 21.
- Likens G. E., Bormann F. E., Pierce R. S., Eaton J. S. et Johnson N. M., 1977. Biogeochemistry of a forested ecosystem. Springer-Verlag, NY.
- Llugany M., Poschenrieder C. et Barceló J., 1995. Monitoring of aluminium-induced inhibition of root elongation in four maize cultivars differing in tolerance to Al and proton toxicity. *Physiol. Plant*, 93 : 265–271.
- Lövblad G., Amann M., Andersen B., Hovmand M., Joffre S. et Pedersen U., 1992. Deposition of sulfur and nitrogen in the Nordic countries : present and future. *Ambio*, 21 : 339–347.
- Lovett G. H., Reiners W. R. et Olsen R. K., 1982. Cloud droplet deposition in subalpine balsam fir forests : hydrological and chemical inputs. *Science* 218 : 1303–1304.
- Lumsdon D. G. et Farmer V. C., 1995. Solubility characteristics of proto-imogolite sols : how silicic acid can detoxify aluminium solutions. *European Journal of Soil Science*, 46 : 179–186.
- Lydersen E., Poléo A. B. S., Muniz I. P., Salbu B. et Bjornstad H. E., 1990. The effects of naturally occurring high and low molecular weight inorganic and organic species on the yolk-sack larvae of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) exposed to acidic aluminium-rich lake water. *Aquat. Toxicology*, 18 : 219–230.
- Lydersen E., Salbu B. et Poléo A. B. S., 1992. Size and charge fractionation of aqueous aluminium in dilute acidic waters : effects of changes in pH and temperature. *Analyst (London)*, 117 : 613–617.
- Maclean F. T. et Gilbert B. E., 1927. The relative aluminum tolerance of crop plants. *Soil Science*, 24 : 163–174.
- MacLean D. C., Hansen K. S. et Schneider R. E., 1992. Amelioration of aluminium toxicity in wheat by fluoride. *New Phytol.*, 121 : 81–88.



- Maitat O., Boudot J. P., Merlet D. et Rouiller J., 1998. Aluminium chemistry in two contrasted acid forest soils and headwater streams impacted by acid deposition, Vosges mountains, N.E. France. (Soumis à Water Air and Soil Pollution).
- Marczenko Z. et Jarosz M., 1982. Formation of ternary complexes of aluminium with some triphenylmethane reagents and cationic surfactants, *Analyst*, 107 : 1431.
- Marquardt W. et Brüggeman E., 1995. Long-term trends in chemistry of precipitation after longscale transport – effects of atmospheric rehabilitation in East-Germany. *Water Air Soil Pollut.*, 85 : 665–670.
- Massabuau J. C., Friz B. et Burtin B., 1987. Mise en évidence de ruisseaux acides (pH  $\leq$  5) dans les Vosges. *C. R. Acad. Sci., Paris*, t 305, Série III, 121–124.
- Massabuau J. C., Probst A. et Guérol F., 1995. Critical loads of acidity to streamwaters in the Vosges Mountains: Biological criteria. Dans : *Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains*. Landmann G., Bonneau M. (eds.), Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 387–393.
- Matsumoto H. et Morimura S., 1980. Repressed template activity of chromatin of pea roots treated by aluminum. *Plant Cell Physiol.*, 21 : 951–959.
- Matzner E. et Ulrich B., 1980. The transfer of chemical elements within a health-ecosystem (*Calluna vulgaris*) in Northwest Germany. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 143 : 666–678.
- Matzner E., 1989. Acidic precipitation : case study Solling. Dans : D. C. Adriano and M. Havas (Editors), *Acidic precipitation, Volume 1, Case Studies*. Springer-Verlag, New York, pp. 39–83.
- Matzner E. et Prenzel, J., 1992. Acid deposition in the German Solling area : effects on soil solution chemistry and Al mobilization. *Water Air Soil Pollut.*, 61 : 221–234.
- Matzner E. et Meiwes K. J., 1990. Effects of liming and fertilization on soil solution chemistry in North German forest ecosystems. *Water Air Soil Pollut.*, 54 : 377–390.
- Matzner E. et Murach D., 1995. Soil changes induced by air pollutant deposition and their implication for forests in Central Europe. *Water Air Soil Pollut.*, 85 : 63–76.
- Matzner E., Khanna P. K., Meiwes K. J. et Ulrich B., 1983. Effects of fertilization on the fluxes of chemical elements through different forest ecosystems. *Plant Soil*, 74 : 434–458.
- May H. M., Helmke P. A. et Jackson M. L., 1979. Determination of mononuclear dissolved aluminum in near-neutral waters. *Chem. Geol.*, 24 : 259–269.
- McAvoy D. C., Santore R. C., Shosa J. D. et Driscoll C. T., 1992. Comparison between pyrocatechol violet and 8-hydroxyquinoline procedures for determining aluminum fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56 : 449–455.
- McDonald D. G., Wood C.M., Rhem R. G., Mueller M. E., Mount D. R. et Bergmann H. L., 1990. Nature and time course of acclimation to aluminum in juvenile brook trout (*Salvelinus fontinalis*). I. Physiology. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 48 : 2006–2015.
- McQuattie C. J. et Schier G. A., 1992. Effect of ozone and aluminum on pitch pine (*Pinus rigida*) seedlings : anatomy of mycorrhizae. *Canadian Journal of Forest Research*, 22 : 1901–1916.
- Mehra O. P. et Jackson M. L., 1960. Iron-oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Min.*, 7 : 317–327.
- Menzies N. W., Bell L. C. et Edwards D. G., 1991. Characteristics of membrane filters in relation to aluminium studies in soil solutions and natural waters. *J. Soil Sci.*, 42 : 585–597.
- Miller N. H. J., 1913. The composition of rain water collected in the Hebrides and in Iceland. *Journal of the Scottish Meteorological Society Series*, 3 (16) : 141–158 (Dans : Johnson *et al.*, 1989).
- Mohamed A. D., Ranger J., Dambrine E., Bonneau M., Gelhaye D. et Granier A., 1993. The effects of limestone and limestone plus NPK fertilization on soil and mass balance of a spruce stand (*Picea abies* (L.) Karst.) in the Vosges mountains. *For. Ecol. Manage.*, 60 : 291–310.
- Mollitor A.V. et Raynal D. J., 1982. Acid precipitation and ionic movements in Adirondack forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46 : 137–141.
- Moustakas M. Ouzounidou G. et Lannoye R., 1995. Aluminum effects on photosynthesis and elemental uptake in an aluminum-tolerant and non-tolerant wheat cultivars. *J. Plant Nutr.*, 18 : 669–683.
- Mulder J., Van Grisven J. J. M. et Van Breemen N., 1987. Impact of acid atmospheric deposition on woodland soils in the Netherlands. III : Aluminium chemistry. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51 : 1640–1646.
- Muniz I. P. et Leivestad H., 1980. Toxic effects of aluminium on the brown trout, *Salmo trutta* L. . Dans : D. Drablos and A. Tollan : *Ecological impact of acid precipitations*. Proceedings of an International Conference, Sandefjord, Norway, March 11 - 14, 1980, SNSF project, Oslo-Ås., pp. 320-321.



- Munns D. N., Helyard K. R. et Conyers M., 1992. Determination of aluminium activity from measurements of fluoride in acid soil solutions. *J. Soil Sci.*, 43 : 441–446.
- Murungi J. I. et Robinson J. W., 1992. Uptake and accumulation of aluminum by fish. The monitoring effect of added ions. *Journal of Environmental Sciences and Health*, A27 (3) : 713–719.
- Nambu K., Kunimatsu T. et Kyuma K., 1994. Rates of soil acidification under different patterns of nitrogen mineralization. *Soil Science Plant Nutrition*, 40 (1) : 95–106.
- Neville C. M. et Campbell P. G. C., 1988. Possible mechanisms of aluminum toxicity in a dilute, acidic environment to fingerlings and older life stages of Salmonids. *Water Air and Soil Pollut.*, 42 : 311–327.
- Nihlgård B., 1970. Precipitation, its chemical composition and effect on soil water in a beech and a spruce forest in south Sweden. *OIKOS* 21 : 208–217.
- Nilsson S. I. et Bergkvist B., 1983. Aluminium chemistry and acidification processes in a shallow podzol on the Swedish west coast. *Water Air Soil Pollut.*, 20 : 311–329.
- Noble A. D. et Sumner M. E., 1988. Calcium and Al interactions and soybean growth in nutrient solutions. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 19 : 1119–1131.
- Noble A. D., Sumner M. E. et Alva A. K., 1988a. The pH dependency of aluminum phytotoxicity alleviation by calcium sulfate. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52 : 1398–1402.
- Noble A. D., Fey M. V. et Sumner M. E., 1988b. Calcium-aluminum balance and the growth of soybean roots in nutrient solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52 : 1651–1656.
- Nohrstedt H.-Ö., Sikström U., Ring E., Näsholm T., Högborg P. et Persson T., 1996. Nitrate in soil water in three Norway spruce stands in southwest Sweden as related to N-deposition and soil, stand, and foliage properties. *Can. J. of Forest Res.*, 26 (5) : 836–848.
- Nordstrom D. K. et May H. M., 1989. Aqueous equilibrium data for mononuclear aluminum species. Dans : G. Sposito (Editor), *The Environmental Chemistry of Aluminum*, CRC Press, Boca Raton, Florida, Chapter 2, pp. 29–55.
- Nosko P. et Kershaw A., 1992. The influence of pH on the toxicity of a low concentration of aluminum to white spruce seedlings. *Can. J. Bot.*, 70 : 1488–1492.
- Nys C., 1987. Fonctionnement du sol d'un écosystème forestier : étude des modifications dues à la substitution d'une plantation d'Épicéa commun (*Picea abies*) à une forêt feuillue mélangée des Ardennes. Thèse de doctorat d'état ès Sciences Naturelles, Université de Nancy I, pp. 1–207.
- Nys C., 1992. Apports d'éléments par les pluies et les pluviollessivats dans les Ardennes. Dans "Pollution atmosphérique et déperissement des forêts dans les montagnes françaises", Programme DEFORPA, rapport 1992 : 149–150.
- Odén S., 1967. 'Nederbördens försurning', Dagens Nheter, October 24.
- Ogner G. et Teigen O., 1980. Effects of acid irrigation and liming on two clones of Norway spruce. *Plant and Soil*, 57 : 305–321.
- Orsini L. et Rémy J. C., 1976. Utilisation du chlorure de cobaltihexamine pour la détermination simultanée de la capacité d'échange et des bases échangeables des sols. *Sci. Sol, Bull. AFES*, 3 : 269–275.
- Oughton D. H., Salbu B. and Bjørnstad H. E. and Day J. P., 1992. Use of an aluminium-26 tracer to study the deposition of aluminium species on fish gills following mixing of limed and acidic waters. *Analyst*, 117 : 619–621.
- Ownby J. D. et Popham H. R., 1989. Citrate reverses the inhibition of wheat root growth caused by aluminum. *Plant physiol.*, 135 : 588–591.
- Paces T., 1985. Sources of acidification in central Europe estimated from elemental budget in Small basins. *Nature*, 315 : 31–36.
- Parker D. R., Zelazny L. W. et Kinraide T. B., 1987. Chemical speciation and plant toxicity to aqueous aluminium. *Chemical Society, Division of Environmental Chemistry*, 27 : 369–372.
- Parker D. R., Zelazny L. W. et Kinraide T. B., 1988a. Comparison of three spectrophotometric methods for differentiating mono- and polynuclear hydroxy-aluminum complexes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52 : 67–75.
- Parker D. R., Kinraide T. B. et Zelazny L. W., 1988b. Aluminum speciation and phytotoxicity in dilute hydroxy-aluminum solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52 : 438–444.
- Parker D. R., Kinraide T. B. et Zelazny L. W., 1989a. On the phytotoxicity of polynuclear hydroxy-aluminum complexes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53 : 789–796.
- Parker D. R., Zelazny L. W. et Kinraide T. B., 1989b. Dans : *Environmental chemistry and toxicology of aluminum*, (T. E. Lewis, ed. Ed., Lewis publishers Inc., Chelsea, Michigan, U. S. A.), pp. 117–145.



- Parker D. R. et Bertsch P. M., 1992a. Identification and quantification of the "Al<sub>13</sub>" tridecameric polycation using ferron. *Environ. Sci. Technol.*, 26 (5) : 908–914.
- Parker D. R. et Bertsch P. M., 1992b. Formation of the "Al<sub>13</sub>" tridecameric polycation under diverse synthesis conditions. *Environ. Sci. Technol.*, 26 : 914–920.
- Parkhurst B. R., Bergman H. L., Fernandez J., Gulley D. D., Hockett J. R. et Sanchez D. A., 1990. Inorganic monomeric aluminium and pH as predictors of acidic water toxicity to brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47 : 1631–1640.
- Party J. P., Probst A. et Dambrine E., 1993. Détermination et cartographie des charges critiques en polluants atmosphériques dans les Vosges. Rapport ADEME, pp. 1–87.
- Patrick S., Moneteith D. T. et Jenkins A., 1995. UK Acid Waters Monitoring Network : the first five years. Analysis and interpretation of results April 1988–March 1993. ENSIS, London.
- Pavan M. A. et Bingham F. T., 1982. Toxicity of aluminum to coffee seedlings grown in nutrient solution. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46 : 993–997.
- Pavan M. A., Bingham F. T. et Pratt P. F., 1982. Toxicity of aluminum to coffee in ultisols and oxisols amended with CaCO<sub>3</sub> and CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46 : 1201–1207.
- Perriaux J., 1961. Contribution à la géologie des vosges gréseuses. Thèse, Nancy I, pp. 1–236.
- Peterson R. H., Bourbonnière R. A., Lacroix G. L., Martin-Robichaud D. J., Takats P. et Brun G., 1989. Responses of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) alevins to dissolved organic carbon and dissolved aluminum at low pH. *Water Air and Soil Pollut.*, 46 : 399–413.
- Playle R. C. et Wood C. M., 1991. Mechanisms of aluminium extraction and accumulation at the gills of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), in acidic soft water. *Journal of Fish Biology*, 38 : 791–805.
- Poléo A. B. S., Lydersen E., Rosseland B. O., Kroglund F., Salbu B., Vogt R. D. et Kvellestad A., 1994. Increased mortality of fish due to changing Al-chemistry of mixing zones between limed streams and acidic tributaries. *Water, Air and Soil Pollution*, 75 : 339–351.
- Poléo A. B. S., 1995. Aluminium polymerisation – a mechanism of acute toxicity of aqueous aluminium to fish. *Aquat. Toxicol.*, 31: 347–356.
- Pokrovski G. S., Schott J., Harrichoury J. C. et Sergeev A. S., 1996. The stability of aluminum silicate complexes in acidic solutions from 25 to 150°C. *Geochimica et Cosmochimica Acta.*, 60 (14) : 2495–2501.
- Poszwa A., 1996. Mise en évidence de l'acidification des sols d'Aubure. D.E.A. National de Science du Sol. Université Henri Poincaré, Nancy I, 44 pp.
- Probst A. et Dambrine E., 1988. Fonctionnement des bilans hydrogéochimiques comparés des bassins versants d'Aubure (Vosges) et du Mont-Lozère (Massif-Central). Journées de travail DEFORPA, Nancy, 24–26 février 1988.
- Probst A., Dambrine E., Viville D. et Fritz B., 1990a. Influence of acid atmospheric inputs on surface water chemistry and mineral fluxes in a declining spruce stand within a small granitic catchment (Vosges massif, France). *J. Hydrol.*, 116 : 101–124.
- Probst A., Massabuau J. C., Probst J. L., et Fritz B., 1990b. Acidification des eaux de surface sous l'influence des précipitations acides : rôle de la végétation et du substratum, conséquences pour les populations de truites. Le cas des ruisseaux des Vosges. *C. R. Acad. Sci., Paris*, t. 311, Série II, 405–411.
- Probst A. et Fritz B., 1995. Deposition and weathering processes – Modelling development. Dans : European Network of Catchments Organised for Research on Ecosystems (ENCORE) contract report.. Project No. T07054G5, NERC/CEC Contract No. STEP - CT - 90 - 0113. (edited by Hormung) Vol., 3, 28 p.
- Probst A., Lelong F., Viville D., Durand P., Ambroise B. et Fritz B., 1995. Comparative hydrochemical behaviour and element budgets of the Aubure (Vosges Massif) and Mont-Lozère (Southern Massif Central) Norway Spruce forested catchments. Dans : Forest decline and atmospheric deposition effects in the French mountains. Landmann G., Bonneau M. (eds.), Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 203–225.
- Rajan S. S. S., 1979. Adsorption and desorption of sulfate and charge relationships in allophanic soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43 : 65–69.
- Raynal D. J., Leaf A. L., Manion P. D. et Wang C. J. K., 1980. Actual and potential effects of acid precipitation in a forest ecosystem in the Adirondack Mountains. NYS-ERDA. 80–28, Albany, NY.
- Rengbeg I., Korsman T. et Birks H. J. B., 1993. Prehistoric increases in the pH of acid-sensitive Swedish lakes caused by land-use changes. *Nature*, 362 : 824–826.



- Rengel Z., 1990. Competitive  $Al^{3+}$  inhibition of net  $Mg^{2+}$  uptake by intact *Lolium multiflorum* roots. II. Plant age effects. *Plant Physiol.*, 93 : 1261–1267
- Rengel Z. et Elliot D. C., 1992. Mechanism of aluminum inhibition of net  $^{45}Ca^{2+}$  uptake by *Amaranthus* protoplasts. *Plant Physiol.*, 98 : 632–638.
- Reuss J. O. et Johnson D. W., 1986. Acid deposition and the acidification of soils and waters. *Ecological studies* No. 59, Springer-Verlag, New York, 119 p..
- Reynold B., Fowler D., Smith R. I. et Hall J. R., 1995. Hydrochemical budgets for ions in five Welsh Upland catchments. Dans : European Network of Catchments Organised for Research on Ecosystems (ENCORE) contract report.. Project No. T07054G5, NERC/CEC Contract No. STEP - CT - 90 - 0113. (edited by Hormung) Vol., 3, pp. 1–22.
- Ritchie G. S. P., 1989. The chemical behaviour of aluminium hydrogen and manganese in acid soils. Dans : Soil acidity and plant growth, A. D. Robson (ed.), Academic Press, Sydney, Australia, pp. 1–60.
- Roberson C. E. et Hem J. D., 1967. Solubility of aluminum in the presence of hydroxide, fluoride and sulfate. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1827 -C. Washington, D. C..
- Rodhle H., Galloway J. N. et Zhao D., 1992. Acidification in Southeast Asia. Prospects for the coming Decades. *Ambio* 21 (2) : 148–150.
- Rodhle H. *et al.*, 1995. Acid Region'95? - Summary statement from the 5<sup>th</sup> International Conference on Acidic Deposition Science Policy, Göteborg, Sweden, 26–30 June 1995. Klumer Academic Publishers, 15 pp..
- Røgeberg E. J. S. et Hendrichson A., 1985. An automatic method for fractionation of aluminum species in fresh waters, *Vatten*, 41 : 48–53.
- Rosseland B. O. et Skogheim O. K., 1984a. A comparative study on salmonid fish species in acid aluminium-rich water. II. Physiological stress and mortality of one- and two-year-old fish. Institute of Freshwater Research Drottningholm, report 61 : 186–194.
- Rosseland B. O., Skogheim O. K., Kroglund F. et Hoell E., 1986. Mortality and physiological stress of year-class of landlocked and migratory Atlantic salmon, brown trout and brook trout in acid aluminum-rich soft water. *Water Air and Soil Pollut.*, 30 : 751–756.
- Rosseland B. O. et Henriksen A., 1990. Acidification in Norway – loss of fish populations and the 1000-lake survey 1986. *Sci. Total Environ.*, 96 : 45–56.
- Rosseland B. O., Blakar I. A., Bulger A., Kroglund F., Kvellstad A., Lydersen E., Oughton D. H., Salbu B., Staurnes M. et Vogt R., 1992. The mixing zone between limed and acidic river waters : complex aluminium chemistry and extrem toxicity for salmonids. *Environmental Pollution*, 78 : 3–8.
- Rost-Siebert K., 1983. Aluminium-Toxizität und -Toleranz an Keimpflanzen von Fichte (*Picea abies* Karst) und Buche (*Fagus sylvatica* L.). *Allg. Forstzeitschr.*, 38 : 686–689
- Rouiller J., Burtin G., et Souchier B., 1972. La dispersion des sols dans l'analyse granulométrique, méthode utilisant les résines échangeuses d'ions. *Bull. ENSAIA Nancy*, XIV, Fasc. II : 193–205.
- Royset O. et Sullivan T. J., 1986. Effect of dissolved humic compounds on the determination of aqueous aluminum by three spectrophotometric methods. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 27 : 305–314.
- Ryan P. S., Gessel S. P. et Zasoski R. J., 1986. Acid tolerance of Pacific North West conifers in solution culture. I. Effect of high aluminum concentration and solution acidity. *Plant and Soil*, 96 : 239–257.
- Ryan P. R. et Kochian L. V., 1993. Interaction between aluminum toxicity and calcium uptake at the root apex in near-isogenic lines of wheat (*triticum aestivum* L.) differing in aluminum tolerance. *Plant Physiol.*, 102 : 975–982.
- Salbu B., Steinnes E. et Bjørnstad H. E., 1985a. Use of different physical separation techniques for trace element speciation studies in natural waters. Dans : Hydrochemical balances of freshwater systems. E. Eriksson, (ed.), International Association of Hydrological Science, publication No., 150. Wallingford, Oxfordshire, pp. 203–213.
- Salbu B., Bjørnstad H. E., Lindström N. S., Lydersen E., Brevik E. M., Rambaek J. P. et Paus P. E., 1985b. Size fractionation techniques in the determination of elements associated with particulate or colloidal material in fresh waters, *Talanta*, 32 : 907–913.
- Sadler K. et Lynam S., 1987. Some effects on the growth of brown trout from exposure to aluminium at different pH levels. *Journal of Fish Biology*, 31 : 209–219.
- Sayer M. D. J., Reader J. P. et Morris R., 1991. Embryonic and larval development of brown trout, *Salmo trutta* L. : exposure to aluminium, copper, lead or zinc in soft, acid water. *Journal of Fish Biology*, 38 : 431–455.



- Schaaf W., Weisdorfer M. et Huettl R. F., 1995. Soil solution chemistry and element budgets of three Scots pine ecosystems along a deposition gradient in North-Eastern Germany. *Water Air Soil Pollut.*, 85 : 1197–1202.
- Schecher W. D. et Driscoll C. T., 1988. An evaluation of the equilibrium calculations within acidification models : the effect of uncertainty in measured chemical components. *Water Resources Research*, 24 (4) : 533–540.
- Schecher W. D. et McAvoy D., 1992. MINEQL<sup>+</sup>: A software environment for chemical equilibrium modeling. *Comput. Environ. Systems*, 16 : 65–76.
- Schecher W. D. et McAvoy D., 1994. MINEQL<sup>+</sup>, a chemical equilibrium program for personal computers. User's manual, version 3.0, pp. 1–112. Environmental Research Software, Hallowell, ME, USA.
- Schecher W. D. et Driscoll C. T., 1995. ALCHEMI : A chemical equilibrium model to assess the acid-base chemistry and speciation of aluminum in dilute solutions. *Soil Sci. of Am. Soc. of Agronomy. Publication*, 42 : 325–356.
- Scheir G. A., 1985. Response of red spruce and balsam fir seedlings to aluminum toxicity in nutrient solutions. *Can. J. For. Res.*, 15 : 29–33.
- Schlegel H., Amundson R. G. et Hüttermann A., 1992. Element distribution in red spruce (*Picea rubens*) fine roots; evidence for aluminium toxicity at Whiteface Mountain. *Can. J. For. Res.*, 22 : 1132–1138.
- Schmid S., Kördel W., Klöppel H. et Klein W., 1989. Differentiation of Al<sup>3+</sup> and Al species in environmental samples by isotachopheresis. *J. Chromatogr.*, 470 : 289–297.
- Schnitzer M. et Skinner S. I. M., 1963. Organic-metallic interactions in soils : 2. reactions between forms of iron and aluminum and organic matter of a podzol Bh horizon. *Soil Science*, 96 : 181–186.
- Schofield C. L. et Trojnar J. R., 1980. Aluminum toxicity to brook trout (*Salvelinus fontinalis*) in acidified waters. Dans : T.Y. Toribara, M.W. Miller and P.E. Morrow (ed.), *Polluted rain*, Plenum. Press, New York, pp. 341–363.
- Schortle W. C. et Smith W. C., 1988. Aluminum induced calcium deficiency syndrome in declining red spruce. *Science*, 240 : 1017–1018.
- Schulze E. D., 1989. Air pollution and forest decline in a spruce (*Picea abies*) forest. *Science*, 224 : 776–783.
- Schulze E. D., 1995. Ammonium and nitrate utilization by trees under acidification stress. Dans : European Network of Catchments Organised for Research on Ecosystems (ENCORE) contract report.. Project No. T07054G5, NERC/CEC Contract No. STEP - CT - 90 - 0113. (edited by Hormung) Vol., 3, pp. 1–14.
- Schröder W. H., Bauch J. et Endeward R., 1988. Microbeam analysis of Ca exchange and uptake in the fine roots of spruce : influence of pH and aluminum. *Trees*, 2 : 96–103.
- Schwertmann U., 1964. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk.*, 105 : 195–202.
- Seiler J. et Matzner E., 1995. Spatial variability of throughfall chemistry and selected soil properties as influenced by stem distance in a mature Norway spruce (*Picea abies*, Karst.) *Stand. Plant and Soil*, 176 : 139–147.
- Seip H. M., Müller L. et Naas A., 1984. Aluminum speciation : comparison of two spectrophotometric analytical methods and observed concentrations in some acidic aquatic systems in southern Norway, *Water Air Soil Pollut.*, 23 : 81–95.
- SFT, 1986. The Norwegian monitoring programme for long-range transported air pollutants. Results 1980–1984. The Norwegian State Pollution Control Authority (SFT), TA-number : TA-606 Report 230/86, pp. 1–93.
- Shann J. R. et Bertsch P. M., 1993. Differential cultivar response to polynuclear hydroxo-aluminum complexes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57 : 116–120.
- Skogheim O. K., Rosseland B. O. et Sevaldrud I. H., 1984. Deaths of spawners of atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in river Ognå, SW Norway, caused by acidified aluminium-rich water. Institute of Freshwater Research Drottningholm, report 61 : 196–202.
- Smith R. A., 1872. *Air and Rain*. Longmans Green, London.
- Sposito G. et Mattigod S. V., 1980. GEOCHEM: A computer program for the calculation of chemical equilibria in soil solutions and other natural water systems. The Kearney Foundation of Soil Science, University of California, Riverside, USA.
- Sposito G. et Caves E., 1988. SOILCHEM: A computer program for the calculation of chemical speciation in soils. The Kearney Foundation of Soil Science, University of California, Riverside, USA.



- Strid H., 1996. Effects of root zone temperature on aluminium toxicity in two cultivars of spring wheat with different resistance to aluminium. *Physiologia Plantarum*, 97 : 5–12.
- Su C. et Harsh J. B., 1994. Gibbs free energies of formation at 298 °K for imogolite and gibbsite from solubility measurements. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58 : 1667–1677.
- Sullivan T. J., Seip H. M. et Muniz I. P., 1986. A comparison of frequently used methods for the determination of aqueous aluminum. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 26 : 61–75.
- Sullivan T. J., McMartin B. et Charles D. F., 1996. Re-examination of the role of change in the acidification lakes in the Adirondack Mountains, New York. *The Science of the Total Environment*, 183, 231–248.
- Suthipradit S., Edwards D. G. et Asher C. J., 1990. Effects of aluminium on tap-root elongation of soybean (*Glycine max*), cowpea (*Vigna unguiculata*) and green gram (*Vigna radiata*) grown in the presence of organic acids. *Plant and Soil*, 124 : 233–237.
- Tadahiro N., Masahito H. et Nobuo K., 1991. Direct observation of aluminum in plant by Nuclear Magnetic Resonance. *Analytical Sciences*, 7 : 213–215.
- Tan K., Keltjens W. G. et Findenegg G. R., 1992. Aluminium toxicity with sorghum genotypes in nutrient solutions and its amelioration by magnesium. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 155 : 81–86.
- Tanaka M., 1954. Aluminium dans les eaux des lacs. *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 27 : 98–102.
- Tanaka A., Tadano T., Yamamoto K. et Kanamura N., 1987. Comparison of toxicity to plants among  $Al^{3+}$ ,  $AlSO_4^+$  and Al-F complex ions. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 33 : 43–55.
- Tang V. H., Nga T. T. et Laudelou H., 1989. Effect of aluminium on the mineral nutrition of rice. *Plant and Soil*, 114 : 173–185.
- Taylor R. M., 1988a. Proposed mechanism for the formation of soluble Si–Al– and Fe(III)–Al hydroxy complexes in soils. *Geoderma*, 42 : 65–77.
- Taylor G. J., 1988b. The physiology of aluminum phytotoxicity. Dans : *Metals ions in biological systems*, 24, Aluminium and its role in biology. Sigel H., and Sigel A., ed., Marcel Dekker, New York, pp. 123–163.
- Tepper H. B., Yang C. S. et Schaedle M., 1989 - Effect of aluminum on growth of root tips of Honeylocust and Loblolly pine. *Environmental and Experimental Botany*, 29 : 165–173.
- Tipping E. et Backes C. A., 1987. Dans : *Reversibility of acidification*. (H. Barth, ed., Elsevier Applied Science Publishers Ltd., Barking, Essex, U.K., pp. 30–33.
- Tollan A., 1977. Acid precipitation and some alternative sources as cause of the acidifying of water sources. S. N. S. F., project. Oslo, Norway (Dans : Van Breemen et al., 1983).
- Thomson G. W. et Medve R. J., 1984. Effects of aluminum and manganese on the growth of ectomycorrhizal fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 48 (3) : 556–560.
- Torgersen H., 1934. Forsok med oparbejdelse av sure, fiskestomme vann (Stocking trials in previously fishfree lakes) Stangfiskeren 38–46. (Dans : Abrahamsen et al., 1989).
- Thornton F. C., Schaedle M. et Raynal D. J., 1987. Effects of aluminum on red spruce seedlings in solution culture. *Environ Exp. Bot.*, 27 : 489–498
- Tørseth K. et Semb A., 1995. Sulphur and nitrogen deposition in Norway, status and trends. *Water Air Soil Pollut.*, 85 : 623–628.
- Turner R. C., 1969. Three forms of aluminium in aqueous systems determined by 8-quinolinate extraction methods. *Can. J. Chem.*, 47 : 2521–2527.
- Turner R. C. et Sulaiman W., 1971. Kinetics of reactions of 8-quinolone and acetate with hydroxyaluminum species in aqueous solutions. I. Polynuclear hydroxyaluminum cations. *Can. J. Chem.*, 49 : 1683–1687.
- Turner R. C., 1976. Effect of aging on properties of polynuclear hydroxyaluminum cations. *Can. J. Chem.*, 54 : 1528–1534.
- Ugolini F. C. et Dahlgren R., 1987. The mechanism of podzolization as revealed by soil solution studies. Dans : D. Righi et A. Chauvel (Eds), *Podzols et Podzolisation*, pp. 195–203. AFES/INRA, Paris.
- Ugolini F. C. et Sletten R. S., 1991. The role of proton donors in pedogenesis as revealed by soil solution studies. *Soil Sci.*, 151 (1) : 59–75.
- Ulrich B., Mayer R. et Khanna P.K., 1980. Chemical changes due to acid precipitation in a less-derived soil in central Europe. *Soil Sci.*, 130 : 193–199.
- Ulrich B., Meiwes K. J., König N et Khanna P. K., 1984. Criteria proposed for the evaluation of risks caused by soil acidity. Dans : F. Anderson & J.M. Kelly (eds.), *Aluminium toxicity in trees*, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, pp. 69–70.



- Van Benschoten J. E. et Edzwald J. K., 1990. Measuring aluminum during water treatment : methodology and application. *J. Am. Water Works Assoc.*, 82 (5) : 71–78.
- Van Breemen N., 1973. Dissolved aluminum in acid sulfate soils and acid mine waters. *Soil Sci. Am. Proc.*, 37 : 694–697.
- Van Breemen N., Burrough P. A., Velthorst E. J., Van Dobben H. F., de Wit T. et Ridder T. B., 1982. Soil acidification from atmospheric ammonium sulfate in forest canopy throughfall. *Nature*, 299 : 548–550.
- Van Breemen N., Mulder J. et Driscoll C. T., 1983. Acidification and alkalization of soils. *Plant and Soil*. 75 : 283–308.
- Van Breemen N., Driscoll C. T. et Mulder J., 1984. Acidic deposition and internal proton sources in acidification of soils and waters. *Nature*, 307 : 599–604.
- Van Breemen N., Visser W. F. J. et Pape Th. (Editors), 1988. Biogeochemistry of an oak-woodland ecosystem in the Netherlands affected by acid atmospheric deposition. PUDOC, Wageningen, pp. 1–197.
- Van Breemen N., Boderie P. M. A. et Booltink H. W. J. G., 1989. Influence of airborne ammonium sulfate on soils of an oak-woodland ecosystem in the Netherlands : seasonal dynamics of solute fluxes. Dans : D. C. Adriano and M. Havas (Editors), *Acidic precipitation, Volume 1, Case Studies*. Springer-Verlag, New York, pp. 209–236.
- Van Dobben H. T., Mulder J., Van Dam H. et Houweling H., 1992. Impact of atmospheric deposition on the biogeochemistry of moorland pools and surrounding terrestrial environment. Agricultural Research Report 93, PUDOC Wageningen, 232 pp.
- Van Grinsven H. J. M., Wesselink B. G., Schroeder M. et Van Breemen N., 1991. Soil acidification and solute budgets for forested lysimeters in Nordrhein-Westfalen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.*, 154 : 181–188.
- Van Praag H. J. et Weissen F., 1985. Aluminium effects on spruce and beech seedlings. I. Preliminary observations on plant and soil. *Plant and Soil*, 83 : 331–338.
- Vo Dinh Quang, Tang Van Hai, Tombo Kanyama E et Dufey J. E., 1996. Effets combinés de l'aluminium, du fer et du phosphore sur l'absorption d'ions et le rendement du riz (*Oriza sativa* L.) en solution nutritive. *Agronomie*, 16 : 175–186.
- Wagatsuma T. et Kaneko M., 1987. High toxicity of hydroxy-aluminum polymer ions to plant roots. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 33 : 57–67.
- Walker W. J., Cronan C. S. et Bloom P. R., 1990. Aluminum solubility in organic soil horizons from northern and southern forested watersheds. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54 : 369–374.
- Wesselink L. G. et Mulder J., 1993. Modelling Al-solubility controls in an acid forest soil, Solling, Germany. *Ecological Modelling*, 83 : 109–117.
- Westall J. C., Zachary J. L. et Morel F. M. M., 1976. MINEQL : A computer program for the calculation of chemical equilibrium composition of aqueous systems. Massachusetts Inst. Technol., Lowell, MA.
- White R. E., Tiffin L. O. et Taylor A. W., 1976. The existence of polymeric complexes in dilute solutions of aluminium and orthophosphate. *Plant and Soil*, 45 : 521–529.
- Whitten M. G., Ritchie G. S. P. et Willet I. R., 1992. Forms of soluble aluminium in acidic topsoils estimated by ion chromatography and 8-hydroxyquinoline and their correlation with growth of subterranean clover. *J. Soil Sci.*, 43 : 283–293.
- Wilkinson K. J., Campbell G. C. et Couture P., 1990. Effect of fluoride complexation on aluminum toxicity towards juvenile Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47 (7) : 1446–1452.
- Willet I. R., 1989. Direct determination of aluminum and its cationic fluoro-complexes by ion chromatography. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53 : 1385–1391.
- Wilson R. W., Bergman H. L. et Wood C. M., 1994. Metabolic costs and physiological consequences of acclimation to aluminium in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). 1: acclimation specificity, resting physiology, feeding, and growth. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 51 : 527–535.
- Witters H. E., Van Puymbroeck S., Stouthart A. J. H. et Vandelaar Bonga S. E., 1996. Physicochemical changes of aluminium in mixing zones : mortality and physiological disturbance in brown trout (*salmo trutta* L.). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 15 (6) : 986–996.
- Wolt J. D., 1981. Sulfate retention by acid sulfate-polluted soils in copper basin area of Tennessee. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45 : 283–287.
- Wolt J. D. et Adams F., 1979. The release of sulfate from soil-applied basaluminite and alunite. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43 : 118–121.

- Wolt J. D., Hue N. V. et Fox R. L., 1992. Solution sulfate chemistry in three sulfur-retentive hydranpeds. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56 : 89–95.
- Wood M. et Cooper J. E., 1988. Acidity, aluminium and multiplication of *Rhizobium trifolii* : possible mechanisms of aluminium toxicity. *Soil Biology and Biochemistry*, 20 : 95–99.
- Wood C. M., McDonald D. G., Ingersoll C. G., Mount D. R., Johannsson O. E., Landsberger S. et Bergman H. L., 1990. Effects of water acidity, calcium and aluminium on whole body ions brook trout (*Salvelinus fontinalis*) continuously exposed from fertilization to swim up : a study by instrumental neutron activity analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47, 1593–1603.
- Wright R. F. et Skogheim O. K., 1983. Aluminum speciation at the interface of an acid stream and a limed lake, Vatten, 39 : 301
- Wright R. F., Cosby B. J., Hornberger G. M., et Galloway J. N., 1986. Comparison of palaeolimnological with MAGIC model reconstructions of water acidification. *Water Air, and Soil Pollution*, 30 : 367–380.
- Wright R. J., Baligar V. C. et Wright S. F., 1987. Estimation of phytotoxic aluminum in soil solution using three spectrophotometric methods. *Soil Science*, 144 : 224–232.
- Wright R. J., Baligar V. C., Ritchey K. D. et Wright S. F., 1989. Influence of soil solution aluminium on root elongation of wheat seedlings. *Plant and Soil*, 113 : 294–298.
- Wright R. F., Cosby B. J., Flaten M. B. et Reuss J. O., 1990. Evaluation of an acidification model with data from manipulated catchments in Norway. *Nature*, 343 : 53–55.
- Wu N., Horvath W. J., Sun P. et Huie C. W., 1993. Speciation of aluminum using capillary zone electrophoresis with indirect UV detection. *J. Chromatogr.*, 635 : 307–312.
- Yang C. S., Schaedle M. et Tepper H. B., 1989. Phytotoxicity of Scandium in solution culture of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) and honey locust (*Gleditsia triacanthos* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 29 (2) : 155–164.
- Youson J. H. et Neville C. M., 1987. Deposition of aluminium in the gill epithelium of rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson) subjected to sublethal concentrations of the metal. *Canadian Journal of Zoology*, 65 : 647–656.
- Zöttl H. W. et Hüttl R. F., 1986. Nutrient supply and forest decline in Southwest-Germany. *Water Air and Soil Pollut.*, 31 : 449–462.
- Zöttl H. W., 1990. Remarks on the effects on nitrogen deposition to forest ecosystems. *Plant and Soil*, 128 : 83–89.



## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : esquisse pédologique du massif vosgien et localisation du site d'étude .....	21
Figure 2 : distribution des sols en fonction des paramètres du milieu dans les basses vosges gréseuses (Bonneau <i>et al.</i> , 1976). .....	25
Figure 3 : représentation schématique simplifiée des principales espèces d'Al dans les eaux naturelles (extrait de Clarke <i>et al.</i> , 1992). .....	35
Figure 4 : distribution des espèces hydroxylées de l'Al en fonction du pH dans une solution simple d'Al : (a) Al total = $10^{-5}$ M et (b) Al total = $10^{-3}$ M. ....	38
Figure 5 : spéciation de l'Al en fonction du pH dans une solution simple d'Al et de F, avec un rapport F/Al = 3 (Al total = $4 \cdot 10^{-3}$ M). .....	38
Figure 6 : spéciation de l'Al en fonction du pH dans une solution simple d'Al et de $\text{SO}_4$ , avec un rapport $\text{SO}_4/\text{Al} = 3$ (Al total = $10^{-3}$ M). .....	39
Figure 7 : spéciation de l'Al en fonction du pH dans une solution simple d'Al et de Si, avec un rapport Si/Al = 3 (Al total = $10^{-3}$ M). .....	40
Figure 8 : spéciation de l'Al en fonction du pH dans une solution simple d'Al et de $\text{PO}_4$ , avec un rapport $\text{PO}_4/\text{Al} = 0,5$ (Al total = $10^{-3}$ M). .....	41
Figure 9 : spéciation de l'Al en fonction du pH dans une solution simple d'Al et de matière organique (acide fulvique) selon les modèles (a) monoprotique, diprotique, (c) triprotique (le rapport fulvate/Al = 3 dans les 3 cas ; Al total = $10^{-3}$ M). .....	42
Figure 10 : charge organique moyenne dissociée à 25 °C en fonction des modèles mono-, di- et triprotiques de Driscoll <i>et al.</i> (1994). .....	43
Figure 11 : schéma d'un grain de polystyrène à usage d'échangeur d'ions .....	62
Figure 12 : exemples de résine échangeuse de (a) cations et (b) anions. ....	63
Figure 13 : schéma simplifié du dispositif chromatographique utilisé lors de la spéciation de l'Al. ....	71
Figure 14 : chromatogramme présentant la spéciation de l'Al dans une solution synthétique simple d'Al et de F .....	72
Figure 15 : chromatogramme présentant la spéciation de l'Al dans une solution naturelle récoltée à la base d'un horizon organique de podzol. ....	72
Figure 16 : acidités libre et d'échange dans les 2 sols étudiés (a = podzol; b = sol brun acide) .....	81

- Figure 17 : formes de l'Al dans le podzol (a) et le sol brun acide (b) [Al CBD = Al amorphe (Al ox) - (Al CBD) = Al des silicoaluminates paracristallins ; (Al total) - (Al ox) = Al cristallin]. ..... 83
- Figure 18 : formes "libres" du Fe dans le podzol (a) et le sol brun acide (b) [Fe ox = Fe amorphe ( $\approx$  organique) ; (Fe CBD) - (Fe ox) = Fe cristallisé ; (Fe total) - Fe CBD) = Fe engagé dans les réseaux cristallins des minéraux ..... 83
- Figure 19 : moyennes annuelles des apports par les pluviollessivats dans les 2 stations étudiées situées dans (a) = podzol ; (b) = sol brun acide. .... 91
- Figure 20 : diagramme de charges dans les pluviollessivats, les solutions du sol et les sources dans le bassin versant podzologique (les cations sont exprimés en valeurs positives, les anions en valeurs négatives) (moyenne sur 3 ans). .... 107
- Figure 21 : spéciation de l'Al et pH dans les horizons de surface du podzol : A<sub>0</sub> (a) et A<sub>2</sub> (b). (H, P, E, A représentent les saisons). .... 108
- Figure 22 : relation entre la proportion de complexes Al-F et le rapport F/Al<sub>total</sub> (●) dans les eaux lysimétriques récoltées à la base des horizons A<sub>0</sub> et A<sub>2</sub> du podzol. Comparaison avec la distribution théorique des espèces Al-F en absence de C organique (----◆----). .... 109
- Figure 23 : spéciation de l'Al et pH dans l'horizon spodique Bs du podzol (H, P, E, A représentent les saisons). .... 110
- Figure 24 : spéciation de l'Al et pH dans les sources drainant le podzol : a = source 1 b = source 2 (H, P, E, A représentent les saisons). .... 111
- Figure 25 : relation entre la proportion de complexes Al-F et le rapport Al/F dans la source 1 drainant le podzol (les courbes théoriques sont calculées aux pH maximaux, 4 et 5,5, observés dans les eaux durant la période d'étude). .... 112
- Figure 26 : relation entre la proportion de complexes Al-F et le rapport Al/F dans la source 2 drainant le podzol (les courbes théoriques sont calculées aux pH maximaux, 4 et 6, observés dans les eaux durant la période d'étude). .... 113
- Figure 27 : activités de Al<sup>3+</sup>, H<sup>+</sup> et H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub><sup>0</sup> dans les solutions du podzol (symboles pleins) et les eaux de surface correspondantes (symboles creux) dans le système Al-Si-H<sub>2</sub>O par rapport à la solubilité de quelques phases minérales (lignes) (les {} représentent les activités ; calculs à 20°C). .... 114
- Figure 28 : activités de Al<sup>3+</sup>, H<sup>+</sup> et SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dans les eaux gravitaires du podzol et dans les eaux de surface correspondantes dans le système Al-H<sub>2</sub>O-SO<sub>4</sub> par rapport à la solubilité de la jurbanite (les {} représentent les activités ; calculs à 20°C). .... 114
- Figure 29 : activités de Al<sup>3+</sup>, H<sup>+</sup> et SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> dans les eaux gravitaires du podzol et dans les eaux de surface correspondantes dans le système Al-H<sub>2</sub>O-SO<sub>4</sub> par rapport à la solubilité de la basaluminite (les {} représentent les activités ; calculs à 20°C). .... 115



- Figure 30 : activités de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{K}^+$  dans les eaux gravitaires du podzol et dans les eaux de surface correspondantes dans le système  $\text{Al-SO}_4\text{-K-H}_2\text{O}$  par rapport à la solubilité de l'alunite (les {} représentent les activités ; calculs à 20°C)..... 115
- Figure 31 : activités de  $\text{Al}^{3+}$  et  $\text{H}^+$  dans les solutions du podzol (symboles pleins) et les eaux de surface correspondantes (symboles creux) dans le système  $\text{Al-H}_2\text{O}$  par rapport à la solubilité de la gibbsite et de l'Al amorphe (lignes) (les {} représentent les activités ; calculs à 20°C)..... 117
- Figure 32 : corrélation entre les concentrations de l'Al monomérique (organique et inorganique) et  $\text{NO}_3$  dans les eaux lysimétriques récoltées à la base de l'horizon  $\text{A}_1$  du sol brun acide. .... 123
- Figure 33 : corrélation entre les concentrations de Ca et  $\text{NO}_3$  dans les eaux lysimétriques récoltées à la base de l'horizon  $\text{A}_1$  du sol brun acide. .... 123
- Figure 34 : diagramme de charges dans les pluviollessivats, les solutions du sol et la source de Blanche Fontaine dans le bassin versant du sol brun acide (les anions et cations sont respectivement exprimés en valeurs négatives et positives) (moyenne sur 3 ans). .... 130
- Figure 35 : spéciation de l'Al et pH dans les eaux gravitaires du sol brun acide a =  $\text{A}_1$ , b =  $\text{A}_3$ , c = (B) (H, P, E, A représentent les saisons). .... 132
- Figure 36 : ANC de la source drainant le sol brun acide ..... 133
- Figure 37 : spéciation de l'Al et pH dans les eaux de la source drainant le sol brun acide (H, P, E, A représentent les saisons)..... 134
- Figure 38 : activités de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$  et  $\text{H}_4\text{SiO}_4^0$  dans les eaux gravitaires du sol brun acide (symboles pleins) et les eaux de surface correspondantes (symboles creux) dans le système  $\text{Al-Si-H}_2\text{O}$  par rapport à la solubilité de quelques phases minérales (lignes) (les {} représentent les activités ; calculs à 20°C)..... 135
- Figure 39 : activités de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  dans les eaux gravitaires du sol brun acide et dans les eaux de surface correspondantes dans le système  $\text{Al-H}_2\text{O-SO}_4$  par rapport à la solubilité de la jurbanite (les {} représentent les activités ; calculs à 20°C)..... 135
- Figure 40 : activités de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$  et  $\text{SO}_4^{2-}$  dans les eaux gravitaires du sol brun acide et dans les eaux de surface correspondantes dans le système  $\text{Al-H}_2\text{O-SO}_4$  par rapport à la solubilité de la basaluminite (les {} représentent les activités ; calculs à 20°C)..... 136
- Figure 41 : activités de  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  et  $\text{K}^+$  dans les eaux gravitaires du sol brun acide et dans les eaux de surface correspondantes dans le système  $\text{Al-SO}_4\text{-K-H}_2\text{O}$  par rapport à la solubilité de l'alunite (les {} représentent les activités ; calculs à 20°C)..... 136
- Figure 42 : activités de  $\text{Al}^{3+}$  et  $\text{H}^+$  dans les solutions du sol brun acide (symboles pleins) et les eaux de surface correspondantes (symboles creux) dans le système  $\text{Al-H}_2\text{O}$  par rapport à la solubilité de la gibbsite et de l'Al amorphe (lignes) (les {} représentent les activités ; calculs à 20°C)..... 137

- Figure 43 : activités de  $Al^{3+}$ ,  $H^+$ ,  $SO_4^{2-}$  et  $K^+$  dans les eaux gravitaires du sol brun acide et dans les eaux de surface correspondantes dans le système  $Al-SO_4-K-H_2O$  par rapport à la solubilité de l'alunite et de l'Al interfoliaire des vermiculites (les {} représentent les activités ; calculs à 20°C). ..... 142
- Figure 44 :  $NO_3$ , Ca/H et ITA dans les eaux gravitaires récoltées à la base des horizons  $A_0$  (a) et  $A_2$  (b) du podzol (H, P, E, A représentent les saisons). ..... 146
- Figure 45 : teneurs en Mg dans les eaux gravitaires récoltées à la base des horizons  $A_0$  (a) et  $A_2$  (b) du podzol (H, P, E, A représentent les saisons). ..... 146
- Figure 46 : pH et spéciation de l'Al dans les eaux liées des horizons  $A_0$  (a) et  $A_2$  (b) du podzol (H, P, E, A représentent les saisons). ..... 147
- Figure 47 : Ca/H,  $NO_3$  et ITA dans les eaux liées des horizons  $A_0$  (a) et  $A_2$  (b) du podzol (H, P, E, A représentent les saisons). ..... 147
- Figure 48 : Ca/H et ITA dans les sources drainant le podzol : (a) source 1 et (b) source 2 (H, P, E, A représentent les saisons). ..... 149
- Figure 49 : Ca/H,  $NO_3$  et ITA dans les eaux gravitaires récoltées à la base des horizons  $A_1$  (a) et  $A_3$  (b) du sol brun acide (H, P, E, A représentent les saisons). ..... 151
- Figure 50 : teneurs en Mg dans les eaux gravitaires récoltées à la base des horizons  $A_1$  (a) et  $A_3$  (b) du sol brun acide (H, P, E, A représentent les saisons). ..... 151
- Figure 51 : pH et spéciation de l'Al dans les eaux liées des horizons supérieurs du sol brun acide :  $A_1$  (a) et  $A_3$  (b) (H, P, E, A représentent les saisons). ..... 152
- Figure 52 : Ca/H,  $NO_3$  et ITA dans les eaux liées des horizons supérieurs du sol brun acide :  $A_1$  (a) et  $A_3$  (b) (H, P, E, A représentent les saisons). ..... 152
- Figure 53 : ITA et Ca/H dans la source de la Blanche Fontaine qui prend naissance à partir du sol brun acide (H, P, E, A représentent les saisons). ..... 153



## *LISTE DES TABLEAUX*

Tableau 1 : flux des principaux polluants atmosphériques acides (kg/ha/an) sous couvert forestier dans les pays industrialisés de l'hémisphère nord. ....	9
Tableau 2 : sources d'émission, naturelles et anthropiques des principaux polluants.....	13
Tableau 3 : précipitations sous forme de pluie et de neige relevées dans la station de Brouvelieures par METEO-FRANCE (Centre d'Epinal, 88).....	26
Tableau 4 : températures moyennes minimales (Min) et maximales (Max) relevées dans la station de Ste-Marguerite par METEO-FRANCE (Centre d'Epinal, 88). ....	27
Tableau 5 : espèces d'Al prises en compte et constantes de formation (Log K) utilisées pour le calcul de la spéciation de l'Al par Mineql <sup>+</sup> V 3.01 (corrigées à une force ionique nulle et à 25 °C quand nécessaire). Les autres espèces solubles sont celles de la base de données originale.....	37
Tableau 6 : méthodologies d'analyse .....	60
Tableau 7 : espèces toxiques d'Al pour les plantes et les poissons.....	77
Tableau 8 : seuils d'apparition des carences en Ca et en Mg chez quelques espèces végétales (Ulrich <i>et al.</i> , 1984 ; Zöttl et Hüttl, 1986 ; Hecht-Buchholz <i>et al.</i> , 1987) et piscicoles (Chester, 1984; Howell <i>et al.</i> , 1992).....	78
Tableau 9 : pluviométrie annuelle (mm) dans le podzol et le sol brun acide durant la période d'étude. ....	89
Tableau 10 : concentrations moyennes sur 3 ans en cations et anions dans les pluviolessivats recueillis dans les deux stations étudiées (1994 – 1997). Comparaison avec la composition des pluies à découvert et des pluviolessivats au niveau du sol brun acide pour la période 6/12/1988 – 10/7/1991. ....	90
Tableau 11 : composition moyenne des pluviolessivats, des solutions gravitaires du sol et des eaux de surface sur 3 ans dans le bassin versant podzolique. ....	106
Tableau 12 : chimie des pluviolessivats, des solutions gravitaires du sol et eaux de surface sur 3 ans dans le bassin versant du sol brun acide. ....	129
Tableau 13 : teneurs en magnésium dans les eaux liées des horizons de surface du podzol et du sol brun acide. ....	148

## *LISTE DES PLANCHES*

Planche I : diagrammes de rayons X de la fraction $< 2 \mu\text{m}$ du sol brun acide [1 : saturation Mg à 20°C ; 2 : éthylène glycol ; 3 : saturation au K]. .....	86
Planche II : teneurs des principaux éléments chimiques mesurées en continu (de février 94 à février 97) dans les pluviollessivats dans la station du podzol.....	93
Planche III : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques dans les pluviollessivats dans la station du podzol (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le t de Student au seuil de 95 %). .....	94
Planche IV : teneurs des principaux éléments chimiques mesurées en continu (de février 94 à février 97) dans les solutions du sol recueillies à la base de l'horizon A <sub>0</sub> du podzol. ....	96
Planche V : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques des solutions du sol recueillies à la base de l'horizon A <sub>0</sub> du podzol (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le t de Student au seuil de 95 %). .....	97
Planche VI : teneurs des principaux éléments chimiques mesurées en continu (de février 94 à février 97) dans les solutions du sol recueillies à la base de l'horizon A <sub>2</sub> du podzol. ....	98
Planche VII : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques des solutions du sol recueillies à la base de l'horizon A <sub>2</sub> du podzol (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le t de Student au seuil de 95 %). .....	99
Planche VIII : teneurs des principaux éléments chimiques mesurées en continu (de février 94 à février 97) dans la source 1 drainant le bassin versant podzolique. ....	100
Planche IX : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques dans la source 1 drainant la zone podzolique (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le t de Student au seuil de 95 %). ....	101
Planche X : teneurs des principaux éléments chimiques mesurées en continu de février 94 à février 97) dans la source 2 drainant la zone podzolique.....	102
Planche XI : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques dans la source 2 drainant la zone podzolique en période de crue (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le t de Student au seuil de 95 %). .....	103
Planche XII : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques dans la source 2 drainant la zone podzolique en période d'étiage (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le t de Student au seuil de 95 %). .....	104



Planche XIII : teneurs des principaux éléments chimiques mesurées en continu (de février 94 à février 97) dans les pluviollessivats dans la station du sol brun acide. ....	119
Planche XIV : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques dans les pluviollessivats dans la station du sol brun acide (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le t de Student au seuil de 95 %). ....	120
Planche XV : teneurs des principaux éléments chimiques mesurées en continu (de février 94 à février 97) dans les solutions du sol recueillies à la base de l'horizon A <sub>1</sub> du sol brun acide. ....	121
Planche XVI : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques dans les solutions du sol recueillies à la base de l'horizon A <sub>1</sub> du sol brun acide (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le t de Student au seuil de 95 %). ....	122
Planche XVII : teneurs des principaux éléments chimiques mesurées en continu (de février 94 à février 97) dans les solutions du sol recueillies à la base de l'horizon A <sub>3</sub> du sol brun acide. ....	125
Planche XVIII : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques dans les solutions du sol recueillies à la base de l'horizon A <sub>3</sub> du sol brun acide (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le t de Student au seuil de 95 %). ....	126
Planche XIX : teneurs des principaux éléments chimiques mesurées en continu (de février 94 à février 97) dans la source drainant le sol brun acide. ....	127
Planche XX : teneurs saisonnières des principaux éléments chimiques dans la source drainant le sol brun acide (le paramètre de dispersion est l'intervalle de confiance par rapport à la médiane, basé sur le t de Student au seuil de 95 %). ....	128



# *ANNEXES*



## ANNEXE 1

Tableau 1 : Classes de défoliation et de jaunissement des arbres (Buffet, 1986).

	DÉFOLIATION	JAUNISSEMENT
<b>Classe 1</b>	< 10 % d'arbres sains	couleur normale
<b>Classe 2</b>	10 à 25 % d'arbres faiblement détériorés	couleur anormale sans indication de l'importance du phénomène
<b>Classe 3</b>	25 à 60 % d'arbres faiblement détériorés	couleur anormale pour 0 à 25 % du feuillage
<b>Classe 4</b>	60 à 100 % d'arbres dépérissants	couleur anormale pour 25 à 60 % du feuillage
<b>Classe 5</b>	100 % d'arbres morts	couleur anormale pour 60 à 100 % du feuillage

## ANNEXE 2a

PODZOL HUMO-FERRUGINEUX

F.A.O. : Orthic podzol - U.S.A. Typic haplorthod.

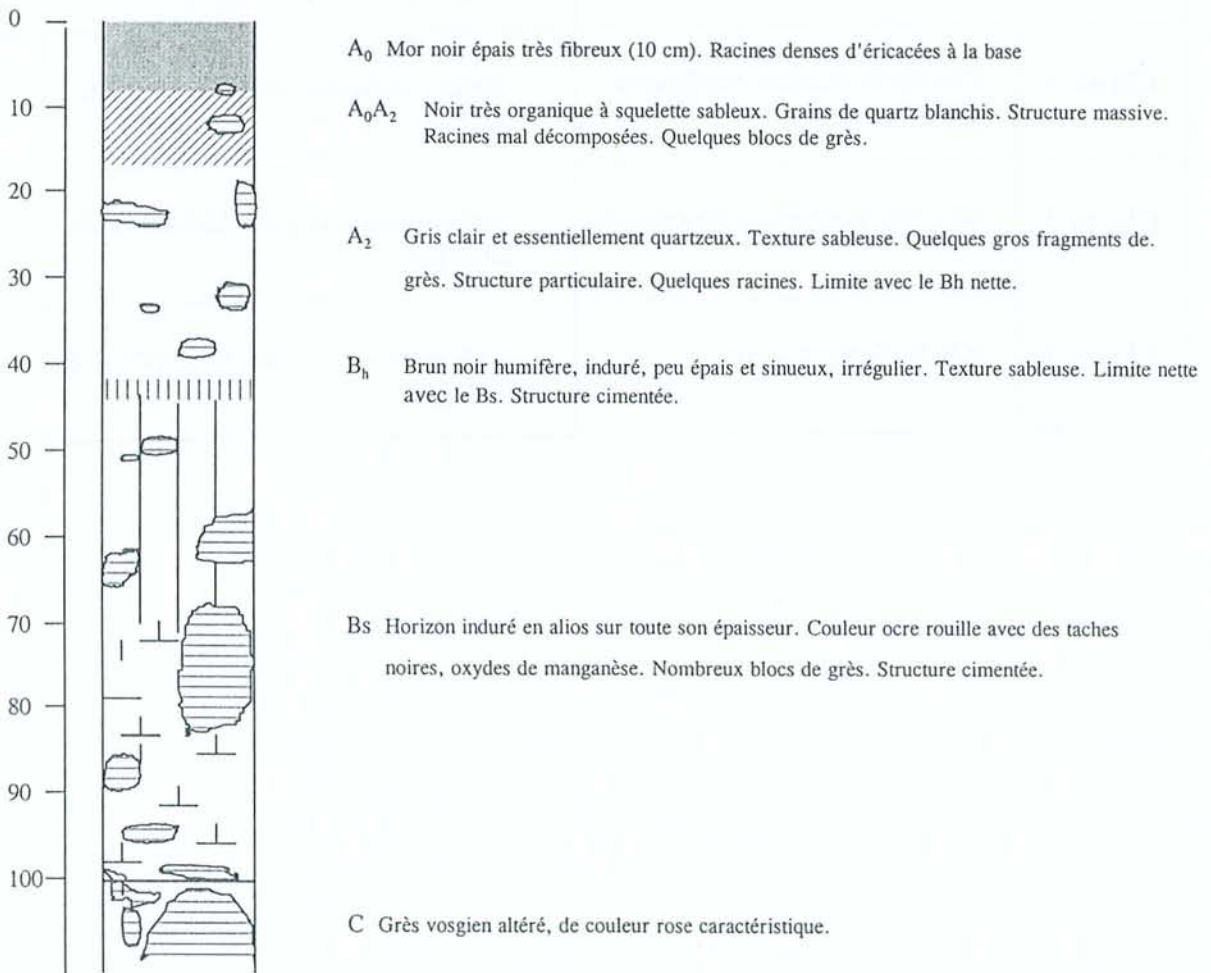
Parcelle 30 de la Forêt Domaniale de Mortagne, col du Haut-Jacques (88), France

Altitude : 490 m

Topographie : pente 30 %, exposition sud

Roche mère : Grès vosgien supérieur

Climat : Montagnard inférieur

Végétation : *Abies alba* Mill., *Pinus silvestris* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Calluna vulgaris* (L.) Hull., *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn., *Leucobryum glaucum* (Hedw.) Schimp., *Cladonia*.



## ANNEXE 2b

SOL BRUN ACIDE

F.A.O. : Dystric cambisol – U.S.A. : Typic dystrochrept

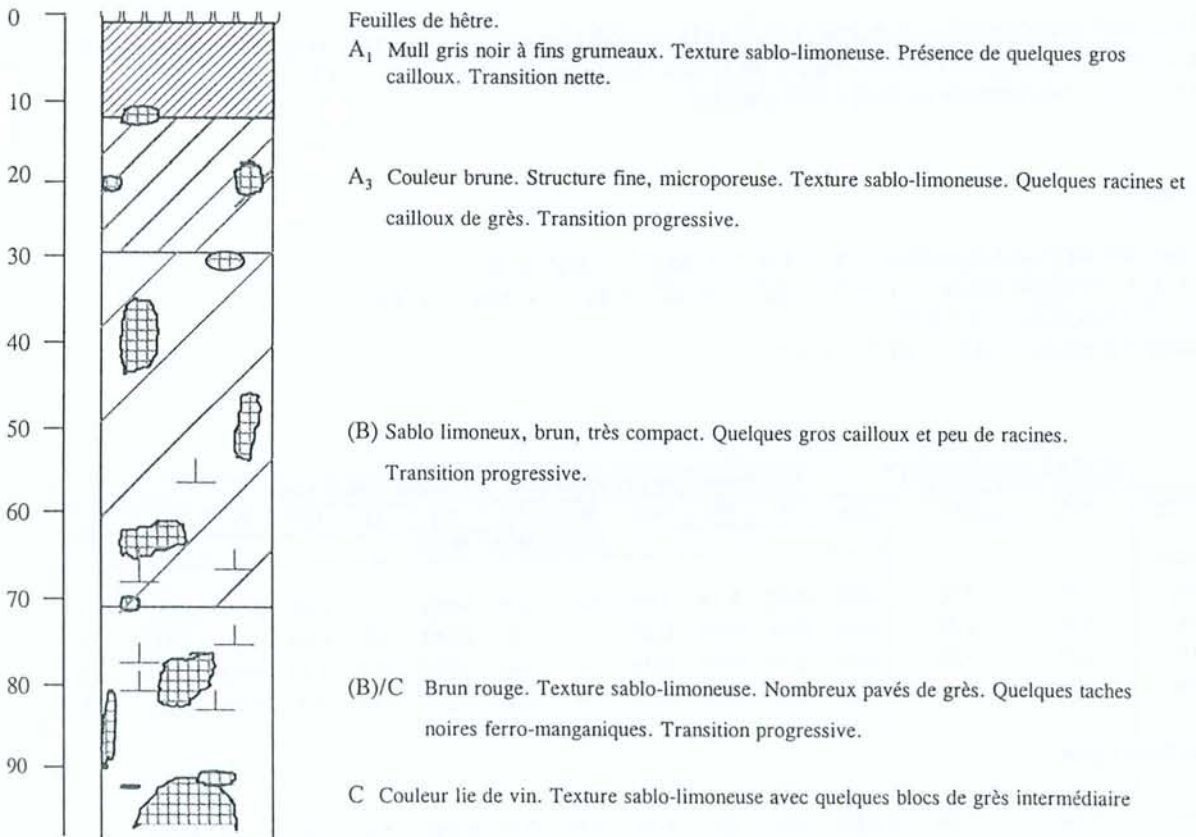
Parcelle 27 de la Forêt Domaniale de Mortagne, col du Haut-Jacques (88), France

Altitude : 630 m

Topographie : Plateau, faible pente d'environ 15 %, exposition nord.

Roche mère : Grès intermédiaire

Climat : Montagnard inférieur

Végétation : *Abies alba* Mill., *Fagus silvatica* L., *Festuca silvatica* Vill., *Rubus* sp.

## ANNEXE 3

## CEC AU pH DU SOL À LA COBALTIHEXAMINE

Principe :

Déplacement des cations adsorbés sur les sites d'échange du sol, par l'ion  $\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+}$  en solution (0,05 N). L'ion Co est dosé avant et après contact de l'échantillon avec le réactif, par spectrométrie d'absorption atomique ( $\lambda = 346,6$  nm, Flamme acétylène  $\text{N}_2\text{O}$ ) ou par colorimétrie ( $\lambda = 472$  nm sur Beckman DU70) (Orsini et Remy, 1976).

Mode opératoire :

- 2 g du sol tamisé à 2 mm dans 40 ml de la solution de cobalthexamine 0,05 N.
- agitation pendant 1 heure.
- Centrifugation à 4000 tours / mn pendant 10 mn.
- Filtration et dosage

Remarques :

- \* Le dosage par absorption atomique se fait après une dilution volume à volume avec du lanthane 0,2 %.
- \* Les  $\text{H}^+$  sont obtenus par mesure de pH après le contact avec le réactif ( $\text{H}^+ = 10^{\text{pH}}$ ).
- \* La C.E.C. est exprimée en meq / 100 g du sol.

Calcul :

Somme des bases échangeables =  $S = \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$

La C.E.C. effective totale =  $T = S + \text{Al}^{+++} + \text{H}^+ + \text{Fe}^{++} + \text{Mn}^{++} + \text{Zn}^{++}$

Taux de saturation =  $S / T \%$

Acidité d'échange =  $\text{AE} = \text{Al}^{+++} + \text{H}^+$

Horizon	Colorimétrie (472 nm)		Spectroscopie par absorption atomique (346.6 nm)											
	DO	CEC	Na	K	Mg	Ca	Mn	Fe	Zn	Al	H+	S	T	AE
			meq / 100 g de sol											
<b>Podzol</b>														
A <sub>0</sub>	0,77	8,95	0,32	0,83	1,13	1,41	0,04	0,16	0,054	4,2	6,88	3,69	15,02	11,1
A <sub>2</sub>	0,9	2,37	0,02	0,04	0,02	0,12	0	0	0,001	0,8	0,44	0,2	1,44	1,2
Bh	0,77	8,83	0,07	0,19	0,14	0,18	0	0,49	0,006	14,7	1,21	0,58	17,02	15,9
Bs	0,87	3,72	0,04	0,07	0,02	0,15	0	0,05	0,002	3,47	0,1	0,28	3,90	3,6
<b>Sol Brun Acide</b>														
A <sub>1</sub>	0,82	6,59	0,08	0,31	0,2	0,57	0,72	0,13	0,005	7,4	0,87	1,15	10,28	8,3
A <sub>3</sub>	0,86	4,68	0,12	0,11	0,08	0,19	0,51	0	0,002	5,53	0,23	0,5	6,77	5,8
(B)	0,87	3,94	0,06	0,08	0,04	0,14	0,26	0	0,001	4,2	0,15	0,32	4,93	4,4
(B)/C	0,86	4,22	0,06	0,09	0,02	0,13	0,11	0	0,002	4,33	0,14	0,3	4,88	4,5
C	0,85	4,75	0,51	0,16	0,05	0,18	0,62	0	0,001	4,07	0,17	0,9	5,76	4,2



## ANNEXE 4

### ANALYSE DES ÉLÉMENTS TOTAUX

#### Principe :

Mise en solution d'un solide par fusion au métaborate de Lithium.

#### Méthode :

- 100 g du sol finement broyé mélangés et homogénéisés avec 1g de métaborate de Li dans un creuset de graphite, le mélange est ensuite porté à 1100 °C environ dans la chambre d'un four protégée (5 mn de fusion).
- La perle obtenue est mise en dissolution (30 mn) dans une solution nitrique (1 ml HNO<sub>3</sub> 65 % pour 100 ml d'eau) préalablement chauffée à 80 °C.
- Amener à 200 ml dans une fiole jaugée et doser.

La perte au feu (PF) est obtenue par calcination de 1 g du sol 1000 °C pendant 3 heures dans un creuset réfractaire (exprimée en ‰).

Dosage : Par Absorption Atomique pour Na et K, et par spectrométrie d'émission à plasma (ICP) pour les autres éléments (résultats en ‰, sous forme d'oxyde des éléments).

Horizon	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	PF	total
	‰										
Sol brun acide											
A <sub>1</sub>	861,5	55,3	12,1	0,5	2,0	0,6	0,8	15,5	4,5	90,9	1043,7
A <sub>3</sub>	884,5	57,8	12,2	0,7	2,0	0,4	0,8	16,5	4,5	44,1	1023,6
(B)	877,5	67,8	15,1	0,8	2,6	0,4	0,8	17,0	4,7	38,8	1025,5
(B)/C	884,5	78,8	19,3	0,7	3,6	0,5	1,0	19,0	4,2	33,9	1045,5
C	872,5	75,5	28,6	2,1	3,9	0,3	1,0	22,0	3,5	29,2	1038,7
Podzol											
A <sub>0</sub>	603,5	6,5	4,1	0,0	0,3	0,5	0,0	1,0	1,1	354,3	971,4
A <sub>2</sub>	980,5	9,2	4,8	0,0	0,2	0,2	0,0	3,0	1,5	8,1	1007,7
Bh	788,5	45,6	19,7	0,0	1,6	0,2	0,8	10,5	2,3	111,9	981,2
Bs	820,5	58,8	16,2	0,0	1,6	0,4	1,0	12,5	1,8	67,2	980,1

## ANNEXE 5

### MÉTHODES D'EXTRACTIONS SÉLECTIVES

#### 1 - Extraction à l'oxalate (Tamm)

**Principe** : L'oxalate, réactif acide (pH 3) et complexant s'adresse plutôt aux produits amorphes.

**Mode opératoire** :

\* Réactif de Tamm = Oxalate 0,2 M à pH 3, préparé en dissolvant dans de l'eau déminéralisée, 10,92 g. L<sup>-1</sup> d'acide oxalique (RP (C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>H<sub>2</sub>, 2H<sub>2</sub>O) et 16,11 g. L<sup>-1</sup> d'oxalate d'ammonium RP (C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O).

\* Extraction :

- 1 g de sol modérément broyé dans 40 ml d'oxalate pH 3 dans des pots en verre.
- Agitation à froid (20°C), à l'obscurité, pendant 4 heures.
- Centrifugation 5 minutes à 5000 t/mn, sur des petites centrifugeuses JOUAN type E 80.
- Filtration rapide.

\* Dosages :

Si : directement dans le filtrat d'extraction.

Fe et Al : dilution du 20 ml de chaque filtrat d'extraction dans 30 ml de NaCl à 39 g. L<sup>-1</sup> (0,66 M).

**Calcul** : Les concentrations d'éléments Y sont données en µg. ml<sup>-1</sup>.

$$\% \text{ Si} = (Y \times 40) / 1000 \quad ; \quad \% \text{ Fe ou Al} = (Y \times 40 \times 50) / (1000 \times 20)$$

#### 2 - Extraction au Citrate - Bicarbonate - Dithionite (Mehra-Jackson)

**Principe** : Le C. B. D. est un réactif neutre, complexant et réducteur qui s'adresse surtout aux formes oxydes et oxy-hydroxydes de fer.

**Mode opératoire** :

\* Préparation du réactif C. B. D. : dissoudre, pour 1 litre de solution, 78,42 g de tricitrate de sodium RP, 2 H<sub>2</sub>O et 9,34 g d'hydrogénocarbonate de sodium.

\* Extraction :

- 1 g de sol modérément broyé, dans 50 ml de réactif dans des pots de centrifugation de 100 ml.
- Porter à 80 °C dans un bain -marie avec un barreau aimanté.
- Au bout de ¼ heure, ajouter 1 g de dthionite de sodium et laisser au bain-marie 30 mn.
- Centrifuger 5 mn à 5000 t/mn. Filtrer dans des fioles de 200 ml. Laver le culot 5 mn avec 25 ml de réactif vierge. Centrifuger et filtrer dans les mêmes fioles de 200 ml.
- Ajuster les fioles avec 200 ml de l'eau déminéralisée.

\* Dosages:

Fe, Al Si directement dans les fioles de 200 ml. (le citrate bicarbonate contient un peu de silicium, un témoin est nécessaire pour le dosage de cet élément).

**Calcul** :

$$\% \text{ Fe, Si ou Al} = Y \times 200 / 1000 \quad (Y : \text{concentrations données en } \mu\text{g. ml}^{-1}).$$



## ANNEXE 6

## Caractéristiques physico-chimiques et organiques du podzol et du sol brun acide

Horizon (cm)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	CEC au pH du sol	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Bases	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub>	Sables	Limons	Argiles	C	N	extraction à l'oxalate <sup>c</sup>			extraction au C.B.D. <sup>d</sup>				
				échangeable	échangeable	échangeable	échangeable	échangeable	échangeable	échangeable	échangeable	échangeable	échangeable	échangeable											
				(meq. 100 g <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>								% CEC au pH du sol <sup>a</sup>			(cmolc.Kg <sup>-1</sup> ) <sup>b</sup>					% sol					
																		Fe	Al	Si	Fe	Al	Si		
Sol brun acide																									
A <sub>1</sub> (0-12)	3,82	3,13	10,28	7,40	0,87	0,57	0,20	0,31	11,2	72	8,5	0,074	58	21,2	11,1	3,41	0,18	1,8	1,1	0,04	5,2	1,2	0,4		
A <sub>3</sub> (12-30)	4,08	3,65	6,78	5,53	0,23	0,19	0,08	0,11	7,4	81,6	3,4	0,051	62,9	20,8	9,9	1,1	0,06	2,3	1,4	0,02	5,4	1,4	0		
(B) (30-70)	4,28	3,88	4,93	4,20	0,15	0,14	0,04	0,08	6,5	85,2	3	0,061	61,8	20,1	11,6	0,46	tr	2,1	1,6	0,06	6,6	1,8	0		
(B)/C (70-90)	4,46	4,00	4,89	4,33	0,14	0,13	0,02	0,09	6,1	88,5	2,9	0,054	61,7	19	11,9	0,14	0,03	1,5	1,5	0,1	7,6	1,8	0		
C (>90)	4,46	3,90	5,77	4,07	0,17	0,18	0,05	0,16	15,6	70,5	2,9	0,027	63,2	20,4	10,4	0,06	tr	1,2	0,9	0,06	13,2	1,6	0		
Podzol																									
A <sub>0</sub> (0-17)	3,3	2,36	15,02	4,20	6,88	1,41	1,13	0,83	24,6	28	45,8	0,191	61,3	6,2	1,5	13,8	0,5	0,3	0,5	0,02	1	0,8	0,4		
A <sub>2</sub> (17-40)	3,87	3,43	1,44	0,80	0,44	0,12	0,02	0,04	13,9	55,5	30,7	0,029	88,3	8,6	1,3	0,21	tr	0	0,1	0	1,2	0,2	0		
Bh (40-45)	3,73	3,21	17,01	14,73	1,21	0,18	0,14	0,19	3,4	86,6	7,1	0,050	68,7	9,8	11,3	5,1	0,2	5,9	2,5	0,12	8,4	3	0		
Bs (45-100)	4,4	4,27	3,90	3,47	0,10	0,15	0,02	0,07	7,2	89	2,6	0,042	71,8	9,8	10,6	1,38	tr	5,5	8,9	2,3	9	7	0,6		

<sup>a</sup> Méthode de la cobaltihexamine (Orsini et Rémy, 1976).

<sup>b</sup> Extraction pendant 1 heure par NH<sub>4</sub>Cl 0.01 N, 20 °C avec un rapport sol / solution = ¼ (poids : volume) [Becquer, 1991].

<sup>c</sup> Extraction à l'oxalate (Tamm) (Schwertmann, 1964).

<sup>d</sup> Extraction au citrate-bicarbonate-dithionite de sodium (Mehra et Jackson, 1960).

## ANNEXE 7

Limites de dosabilité de cations et d'anions par différentes techniques de dosage :

ÉLÉMENT	LIMITE DE DOSABILITÉ ( $\mu\text{mol. L}^{-1}$ )
<u>ICP JY 32</u>	
Ca	0,5
Mg	0,2
Mn	0,2
Fe	0,2
Si	2
Cd	0,2
Co	0,2
Cr	0,2
Cu	0,2
Mo	0,3
Ni	0,5
Zn	0,2
<u>ICP JY 38</u>	
Al	0,4
Pb	0,3
Ti	0,2
V	0,5
<u>Absorption Atomique</u>	
K	0,3
Na	0,5
<u>Chromatographie ionique Dionnex</u>	
<u>2000</u>	
Cl	0,56
F	1,58
NO <sub>3</sub>	0,32
PO <sub>4</sub>	0,53
SO <sub>4</sub>	0,42
<u>chromatographie liquide (TCM)</u>	
C org	200







400040	FeF2	(+1)	0	10.800	33	1.00	34	2.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	4.800	1
400039	FeF3	0	0	14.000	33	1.00	34	3.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	5.399	1
400029	FeHPO4	(+1)	0	20.650	3	1.00	33	1.00	54	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	-7.300	1
400028	FeH2PO4	(+2)	0	21.350	3	2.00	33	1.00	54	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	1
7300	CaOH +	(+1)	0	-12.598	2	1.00	3	-1.00	16	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	14.535	0
28400	CaHCO3 +	(+1)	0	11.330	3	1.00	16	1.00	23	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	1.790	0
28700	CaHPO4 AQ	0	0	15.085	3	1.00	16	1.00	54	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	-0.230	0
71800	CaCO3 AQ	0	0	3.150	16	1.00	23	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	4.030	0
71900	CaF +	(+1)	0	0.940	16	1.00	34	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	3.798	0
72300	CaSO4 AQ	0	0	2.309	16	1.00	68	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	1.470	0
36700	KHPO4 -	(-1)	0	12.640	3	1.00	38	1.00	54	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	0
129700	KSO4 -	(-1)	0	0.850	38	1.00	68	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	2.250	0
32000	MgHCO3 +	(+1)	0	11.400	3	1.00	23	1.00	41	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	-2.430	0
37500	MgHPO4 AQ	0	0	15.220	3	1.00	41	1.00	54	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	-0.230	0
17900	MgOH +	(+1)	0	-11.790	2	1.00	3	-1.00	41	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	15.935	0
95300	MgCO3 AQ	0	0	2.980	23	1.00	41	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	2.022	0
124300	MgF +	(+1)	0	1.820	34	1.00	41	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	4.674	0
133400	MgSO4 AQ	0	0	2.250	41	1.00	68	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	1.399	0
32100	MnHCO3 +	(+1)	0	11.600	3	1.00	23	1.00	42	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	0
38000	MnHPO4	0	0	16.200	3	1.00	42	1.00	54	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	0
18000	MnOH +	(+1)	0	-10.590	2	1.00	3	-1.00	42	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	14.399	0
18100	Mn(OH)3 -1	(-1)	0	-34.800	2	3.00	3	-3.00	42	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	0
90100	MnCl +	(+1)	0	0.607	19	1.00	42	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	0
90200	MnCl3 -	(-1)	0	-0.305	19	3.00	42	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	0
90300	MnCl2 AQ	0	0	0.041	19	2.00	42	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	0
124400	MnF +	(+1)	0	0.850	34	1.00	42	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	0
135800	Mn(NO3)2AQ	0	0	0.600	42	1.00	50	2.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	-0.396	0
136200	MnSO4 AQ	0	0	2.260	42	1.00	68	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	2.170	0
32200	NaHCO3 AQ	0	0	10.080	3	1.00	23	1.00	45	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	0
95400	NaCO3 -	(-1)	0	1.268	23	1.00	45	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	8.911	0
124500	NaF AQ	0	0	-0.790	34	1.00	45	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	0
141100	NaSO4 -	(-1)	0	0.700	45	1.00	68	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	1.120	0
38900	NH3 AQ	0	0	-9.252	3	-1.00	47	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	12.480	0
141800	NH4SO4 -	(-1)	0	1.110	47	1.00	68	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	0
15700	SiF6 -2	(-2)	0	30.180	2	-4.00	3	4.00	34	6.00	64	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	-16.260	0
43500	H2SiO4 -2	(-2)	0	-23.020	3	-2.00	64	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	29.714	1
43600	H3SiO4 -	(-1)	0	-9.770	3	-1.00	64	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	8.935	1
500069	(Si(OH)4)2	0	0	1.200	64	2.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	1
500068	OH(Si(OH)4)2	(-1)	0	-8.050	3	-1.00	64	2.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	1
500067	(OH)2(Si(OH)4)2	(-2)	0	-18.900	3	-2.00	64	2.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	1
500070	(OH)3(Si(OH)4)3	(-3)	0	-27.200	3	-3.00	64	3.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	1
31700	H2CO3 AQ	0	0	16.681	3	2.00	23	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	-2.247	0
31800	HCO3 -	(-1)	0	10.330	3	1.00	23	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	-3.617	0
36400	H2F2 AQ	0	0	6.768	3	2.00	34	2.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	0
36500	HF2 -	(-1)	0	3.749	3	1.00	34	2.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	4.550	0
36600	HF AQ	0	0	3.169	3	1.00	34	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	3.460	0
41000	H2PO4 -	(-1)	0	19.550	3	2.00	54	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	-4.520	1
41100	HPO4 -2	(-2)	0	12.350	3	1.00	54	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	-3.530	1
41200	H3PO4	0	0	21.710	3	3.00	54	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	1
43900	HSO4 -	(-1)	0	1.987	3	1.00	68	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	4.910	0
3 = fixed solids																							
3801	H2O (Solution)	0	0	0.000	2	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	0
175300	CO2 (g)	1	1	18.160	2	-1.00	3	2.00	23	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	-0.530	0
175310	pH	(+1)	2	7.000	3	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	0
5 = dissolved solids																							
182200	ALOH3(A)	0	0	-10.380	2	3.00	3	-3.00	8	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	27.045	0
500075	Al2(OH)6Si(OH)4	0	0	-13.300	3	-6.00	8	2.00	64	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	46.270	1
500074	Al(OH)3Si(OH)4	0	0	-7.100	3	-3.00	8	1.00	64	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	1
217400	AlPO4	0	0	20.300	8	1.00	54	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	1
6 = not considered																							
182300	GIBBSITE (C)	0	0	-8.770	2	3.00	3	-3.00	8	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	22.800	0
182100	BOEHMITE	0	0	-8.578	2	2.00	3	-3.00	8	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	28.130	0
500065	AlPO4	0	0	22.050	2	2.00	8	1.00	54	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	1
184600	KAOLINITE	0	0	-5.726	2	1.00	3	-6.00	8	2.00	64	2.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	35.280	0
184700	HALLOYSITE	0	0	-8.994	2	1.00	3	-6.00	8	2.00	64	2.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	39.730	0
500015	Al2(OH)6Si(OH)4	0	0	-12.500	3	-6.00	8	2.00	64	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	44.613	1
184900	ALOHSO4	0	0	3.230	2	1.00	3	-1.00	8	1.00	68	1.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.000	0



## **ANNEXE 9**

### **Données analytiques brutes**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1	N°	Date	Pluviométrie (mm) ou volume (ml)	pH 20 °C	ANC μéquiv/L	Al total mg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	Fe mg/l	F mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Mn mg/l	Na mg/l	NO3 mg/l	PO4 mg/l	Si mg/l	SO4 mg/l	C org. mg/l	Al total moles/l	Al monomérique moles/l	Al 8-OH-O moles/l	Ca moles/l	Cl moles/l	C min moles/l	Fe moles/l	
3	BASSIN VERSANT PODZOLIQUE																										
4	Pluiolessivats																										
5	Plu 1	03/03/94	39	3.88	-137.9	0.053	1.66	2.65	0.000	0.04	2.20	0.51	0.13	1.10	5.75	0.00	0.01	8.04	9.1	1.96E-06	0.00E+00	0.00E+00	4.14E-05	7.47E-05	1.23E-04	0.00E+00	
6	Plu 2	03/03/94	50	4.30	-25	0.033	0.86	1.25	0.000	0.03	1.20	0.26	0.13	1.00	3.00	0.00	0.00	3.00	5.5	1.22E-06	0.00E+00	0.00E+00	2.15E-05	3.53E-05	1.23E-04	0.00E+00	
7	Plu 3	03/03/94	43	3.83	-64	0.094	2.50	2.68	0.000	0.08	2.10	0.71	0.21	1.50	5.78	0.00	0.00	8.08	9.5	3.48E-06	0.00E+00	0.00E+00	6.24E-05	7.56E-05	1.23E-04	0.00E+00	
8	Plu 3	24/03/94	45	4.01	-116	0.049	1.45	3.87	0.017	0.19	1.88	0.43	0.13	2.02	4.97	0.00	0.06	5.52	13.0	1.82E-06	0.00E+00	0.00E+00	3.62E-05	1.09E-04	1.26E-04	3.04E-07	
9	Plu 1	19/04/94	57	3.92	-81	0.054	1.30	2.75	0.014	0.13	3.00	0.44	0.10	1.50	4.45	0.00	0.07	6.54	9.9	2.00E-06	0.00E+00	0.00E+00	3.24E-05	7.76E-05	1.33E-04	2.51E-07	
10	Plu 2	19/04/94	71	4.10	-79	0.014	0.55	1.43	0.007	0.05	0.90	0.19	0.08	0.70	3.04	0.00	0.03	3.34	4.6	5.19E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.37E-05	4.03E-05	1.33E-04	1.25E-07	
11	Plu 3	19/04/94	70	3.86	-74	0.046	1.55	3.12	0.015	0.07	3.50	0.46	0.13	1.30	4.95	0.00	0.06	6.28	10.2	1.70E-06	0.00E+00	0.00E+00	3.87E-05	8.80E-05	1.33E-04	2.69E-07	
12	Plu 1	02/05/94	12	3.67	-146	0.076	2.19	2.13	0.027	0.11	4.10	0.62	0.15	1.06	6.26	0.00	0.10	11.15	16.4	2.82E-06	0.00E+00	0.00E+00	5.46E-05	6.01E-05	1.42E-04	4.83E-07	
13	Plu 2	02/05/94	11	4.13	-128	0.038	1.04	1.17	0.014	0.10	1.20	0.29	0.15	0.52	4.81	0.00	0.05	5.63	8.0	1.41E-06	0.00E+00	0.00E+00	2.59E-05	3.30E-05	1.42E-04	2.51E-07	
14	Plu 3	02/05/94	11	3.59	-158	0.082	2.59	2.09	0.027	0.09	2.50	0.63	0.21	1.10	7.61	0.00	0.10	10.26	15.4	3.04E-06	0.00E+00	0.00E+00	6.46E-05	5.89E-05	1.42E-04	4.83E-07	
15	Plu 1	26/05/94	68	4.20	-46	0.049	1.10	1.63	0.015	0.32	5.30	0.31	0.08	0.60	3.02	0.00	0.07	5.16	18.2	1.82E-06	0.00E+00	0.00E+00	2.74E-05	4.60E-05	1.42E-04	2.69E-07	
16	Plu 2	26/05/94	70	5.14	-6	0.010	0.46	1.01	0.005	0.01	3.90	0.14	0.06	0.28	2.47	0.00	0.03	2.70	7.1	3.71E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.14E-05	2.85E-05	1.42E-04	8.95E-08	
17	Plu 3	26/05/94	69	4.08	-67	0.055	1.55	1.40	0.016	0.02	3.50	0.40	0.13	0.71	5.05	0.00	0.08	5.40	17.2	2.04E-06	0.00E+00	0.00E+00	3.87E-05	3.95E-05	1.42E-04	2.86E-07	
18	Plu 1	09/06/94	19	4.65	21	0.031	0.73	2.71	0.012	0.17	7.10	0.28	0.06	0.90	0.99	0.00	0.07	4.10	18.2	1.15E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.82E-05	7.64E-05	1.25E-04	2.15E-07	
19	Plu 2	09/06/94	30	5.17	-1	0.000	0.34	1.25	0.003	0.13	3.30	0.11	0.04	0.50	0.76	0.00	0.01	2.28	7.6	1.00E-12	0.00E+00	0.00E+00	8.43E-06	3.53E-05	1.25E-04	5.37E-08	
20	Plu 3	09/06/94	20	4.94	17	0.029	1.21	2.42	0.009	0.15	4.50	0.34	0.10	1.10	1.38	0.00	0.06	3.93	14.2	1.07E-06	0.00E+00	0.00E+00	3.02E-05	6.82E-05	1.25E-04	1.61E-07	
21	G1	23/06/94	3	6.60	-11	0.080	5.89	2.63	0.041	0.49	8.70	1.02	0.18	1.10	11.95	2.54	1.27	13.21	18.0	2.95E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.47E-04	7.42E-05	1.26E-04	7.34E-07	
22	G1	08/07/94	3	5.46	-39	0.079	2.76	2.79	0.034	0.28	9.60	0.75	0.15	0.60	10.16	0.61	0.47	5.17	35.8	2.92E-06	0.00E+00	0.00E+00	6.89E-05	7.87E-05	1.26E-04	6.09E-07	
23	G1	15/07/94	7	4.60	-111	0.071	2.44	2.19	0.041	0.28	6.70	0.54	0.12	0.60	10.62	0.00	0.28	5.99	26.7	2.62E-06	0.00E+00	0.00E+00	6.09E-05	6.18E-05	1.30E-04	7.34E-07	
24	G1	21/07/94	28	4.30	-99	0.056	1.17	1.24	0.033	0.14	3.00	0.26	0.06	0.40	4.28	0.00	0.30	3.00	24.7	2.07E-06	0.00E+00	0.00E+00	2.92E-05	3.50E-05	1.30E-04	5.91E-07	
25	G1	01/08/94	39	4.52	-89	0.097	0.71	0.70	0.015	0.14	1.20	0.14	0.03	0.10	3.40	0.00	0.12	2.63	10.1	3.60E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.78E-05	1.97E-05	1.30E-04	2.69E-07	
26	G1	13/08/94	32	4.30	-115	0.102	0.77	0.77	0.023	0.20	1.90	0.19	0.04	0.10	4.50	0.00	0.29	3.09	14.4	3.76E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.93E-05	2.17E-05	1.30E-04	4.12E-07	
27	G1	20/08/94	17	4.36	-72	0.157	0.89	1.26	0.021	0.15	1.70	0.19	0.05	0.50	3.92	0.00	0.25	2.37	13.3	5.82E-06	0.00E+00	0.00E+00	2.22E-05	3.55E-05	1.30E-04	3.76E-07	
28	G1	29/08/94	2	5.32	-81	0.067	1.53	1.13	0.013	0.00	2.50	0.26	0.06	0.50	4.71	0.90	0.37	4.72	13.4	2.48E-06	0.00E+00	0.00E+00	3.82E-05	3.19E-05	1.30E-04	2.33E-07	
29	G1	09/09/94	50	4.00	-67	0.030	0.43	0.70	0.014	0.28	1.80	0.11	0.03	0.17	2.04	0.00	0.17	1.91	11.3	1.11E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.08E-05	1.97E-05	1.30E-04	2.51E-07	
30	G1	16/09/94	38	4.18	-61	0.047	0.24	0.98	0.003	0.24	1.30	0.08	0.02	0.31	1.16	0.00	0.10	2.15	6.4	1.73E-06	0.00E+00	0.00E+00	6.06E-06	2.76E-05	1.30E-04	5.37E-08	
31	G1	29/09/94	33	4.18	-21	0.083	0.51	0.88	0.006	0.07	1.40	0.14	0.03	0.50	1.97	0.00	0.20	2.00	5.1	3.09E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.28E-05	2.48E-05	1.30E-04	1.07E-07	
32	G1	05/10/94	10	4.13	-69	0.049	0.63	1.16	0.016	0.00	2.20	0.16	0.05	0.38	2.94	0.00	0.32	2.75	12.9	1.82E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.56E-05	3.27E-05	1.30E-04	2.86E-07	
33	G1	31/10/94	30	5.03	-9	0.026	0.65	3.60	0.020	0.25	7.50	0.32	0.09	0.60	2.26	0.00	0.25	2.52	20.5	9.75E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.61E-05	1.02E-04	1.30E-04	3.58E-07	
34	G1	24/11/94	19	3.96	-68	0.046	0.86	3.17	0.016	0.04	4.40	0.39	0.12	0.80	3.16	0.00	0.36	4.05	16.7	1.70E-06	0.00E+00	0.00E+00	2.16E-05	8.94E-05	1.30E-04	2.86E-07	
35	G1	13/12/94	48	4.22	-28	0.038	0.57	1.46	0.005	0.09	3.00	0.20	0.06	0.60	1.75	0.00	0.14	2.77	11.4	1.42E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.41E-05	4.12E-05	1.30E-04	8.95E-08	
36	G1	01/01/95	2	4.10	-61	0.040	1.23	3.36	0.001	0.16	3.10	0.51	0.12	1.40	3.53	0.00	0.31	5.50	8.9	1.47E-06	0.00E+00	0.00E+00	3.07E-05	9.48E-05	1.30E-04	1.79E-08	
37	G1	17/01/95	70	4.10	-74	0.067	0.99	3.37	0.003	0.00	2.20	0.37	0.13	1.30	2.48	0.00	0.07	5.30	7.6	2.49E-06	0.00E+00	0.00E+00	2.47E-05	9.50E-05	1.30E-04	5.37E-08	
38	G1	02/02/95	87	4.16	-47	0.032	0.80	4.26	0.010	0.03	2.30	0.34	0.08	1.70	0.79	0.00	0.14	3.45	11.4	1.17E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.99E-05	1.20E-04	1.30E-04	1.79E-07	
39	G1	27/02/95	83	4.00	-61	0.016	0.65	3.41	0.006	0.00	1.50	0.23	0.05	1.20	1.31	0.00	0.18	2.57	8.3	5.78E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.61E-05	9.62E-05	1.30E-04	1.07E-07	
40	G1	24/03/95	83	3.72	-41	0.025	0.90	3.01	0.008	0.07	1.90	0.32	0.08	1.60	2.46	0.00	0.17	3.44	8.3	9.34E-07	0.00E+00	0.00E+00	2.24E-05	8.49E-05	1.30E-04	1.43E-07	
41	G1	07/04/95	39	4.12	-71	0.025	0.87	2.65	0.009	0.52	1.70	0.30	0.08	1.30	2.99	0.00	0.16	3.90	3.2	9.38E-07	0.00E+00	0.00E+00	2.17E-05	7.47E-05	1.30E-04	1.61E-07	
42	G1	02/05/95	49	3.22	-124	0.030	1.23	2.07	0.015	0.13	1.90	0.37	0.10	0.80	5.30	0.00	0.19	5.04	12.0	1.10E-06	0.00E+00	0.00E+00	3.07E-05	5.84E-05	1.30E-04	2.69E-07	
43	G1	02/06/95	101	3.94	-70	0.052	0.70	1.71	0.002	0.04	3.70	0.23	0.06	0.40	2.85	0.00	1.11	3.23	1								











	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1	N°	Date	Pluviométrie (mm) ou volume (ml)	pH 20 °C	ANC µéquiv/L	Al total mg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	Fe mg/l	F mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Mn mg/l	Na mg/l	NO3 mg/l	PO4 mg/l	Si mg/l	SO4 mg/l	C org. mg/l	Al total moles/l	Al monomérique moles/l	Al 8-OH-Q moles/l	Ca moles/l	Cl moles/l	C min moles/l	Fe moles/l	
51	G1	05/01/96	66	4.34	-35	0.015	0.96	1.28	0.000	0.05	4.65	0.50	0.13	0.70	2.48	0.00	0.13	6.53	15.3	5.45E-07	0.00E+00	0.00E+00	2.39E-05	3.61E-05	1.57E-04	0.00E+00	
52	G1	31/01/96	2	5.35	-47	0.000	0.65	0.98	0.000	0.07	1.40	0.20	0.05	0.50	1.25	0.00	0.49	2.38	12.8	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.63E-05	2.76E-05	1.30E-04	0.00E+00	
53	G1	21/02/96	49	3.78	-136	0.057	2.84	4.34	0.016	0.13	5.30	1.24	0.36	1.50	8.66	0.00	0.18	12.79	15.5	2.11E-06	0.00E+00	0.00E+00	7.09E-05	1.22E-04	5.00E-05	2.86E-07	
54	G1	03/04/96	14	4.08	-158	0.043	2.70	3.07	0.002	0.16	3.20	1.06	0.29	1.30	14.76	0.00	0.20	7.81	9.4	1.61E-06	0.00E+00	0.00E+00	6.74E-05	8.66E-05	5.00E-05	3.58E-08	
55	G1	05/05/96	24	4.02	-192	0.048	2.62	1.92	0.007	0.27	3.00	0.86	0.23	0.70	14.92	0.00	0.21	7.16	14.4	1.79E-06	0.00E+00	0.00E+00	6.54E-05	5.41E-05	5.00E-05	1.25E-07	
56	G1	30/05/96	77	4.43	35	0.028	1.02	1.00	0.018	0.02	1.90	0.23	0.06	0.30	0.00	0.00	0.09	0.38	15.2	1.04E-06	0.00E+00	0.00E+00	2.54E-05	2.83E-05	5.00E-05	3.22E-07	
57	G1	12/06/96	47	4.60	-45	0.017	0.52	0.40	0.010	0.21	1.70	0.14	0.04	0.20	1.85	0.00	0.16	1.98	10.1	6.12E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.31E-05	1.13E-05	5.00E-05	1.79E-07	
58	G1	25/06/96	33	3.85	-67	0.014	0.74	0.46	0.002	0.40	1.80	0.22	0.04	0.20	3.17	0.00	0.11	2.22	10.9	5.30E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.86E-05	1.30E-05	5.00E-05	3.58E-08	
59	G1	08/07/96	43	4.48	-42	0.069	0.46	0.61	0.005	0.34	1.40	0.15	0.06	0.40	1.62	0.00	0.10	1.38	11.6	2.56E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.16E-05	1.72E-05	5.00E-05	8.95E-08	
60	G1	31/07/96	14	4.41	-58	0.019	1.07	0.97	0.001	0.34	2.30	0.28	0.07	0.60	4.10	0.00	0.37	3.56	9.4	7.15E-07	0.00E+00	0.00E+00	2.67E-05	2.74E-05	5.00E-05	1.79E-08	
61	G1	15/08/96	44	4.46	-100	0.016	1.08	1.18	0.019	0.25	2.80	0.28	0.08	0.40	5.16	0.00	0.22	2.45	21.4	5.82E-07	0.00E+00	0.00E+00	2.69E-05	3.33E-05	5.00E-05	3.40E-07	
62	G1	16/09/96	43	4.50	-50	0.000	0.49	0.69	0.009	0.12	1.90	0.16	0.04	0.40	2.28	0.00	0.10	2.01	12.2	1.11E-08	0.00E+00	0.00E+00	1.23E-05	1.95E-05	5.00E-05	1.61E-07	
63	G1	03/10/96	19	4.40	-42	0.001	1.37	3.05	0.000	0.17	4.30	0.50	0.12	1.10	5.52	0.00	0.18	3.36	14.3	4.82E-08	0.00E+00	0.00E+00	3.42E-05	8.60E-05	5.00E-05	0.00E+00	
64	G1	14/11/96	200	4.91	-25	0.013	0.64	1.42	0.000	0.21	2.70	0.20	0.07	0.70	1.18	0.00	0.08	2.08	14.8	4.71E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.60E-05	4.00E-05	5.00E-05	0.00E+00	
65	G1	05/12/96	104	4.19	-49	0.007	0.71	0.99	0.000	0.15	1.40	0.23	0.07	0.60	2.32	0.00	0.06	3.34	6.2	2.45E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.77E-05	2.79E-05	5.00E-05	0.00E+00	
66	G1	24/12/96	66	4.41	-34	0.013	0.52	0.58	0.000	0.11	1.00	0.15	0.04	0.50	1.10	0.00	0.05	2.36	7.9	4.82E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.28E-05	1.64E-05	5.00E-05	0.00E+00	
67	G1	11/02/97	22	4.76	-65	0.039	3.58	1.39	0.013	0.33	2.30	0.81	0.30	0.80	5.21	0.00	0.26	11.93	6.8	1.43E-06	0.00E+00	0.00E+00	8.93E-05	3.92E-05	5.00E-05	2.33E-07	
68	G1	28/02/97	78	4.51	-73	0.022	1.92	3.75	0.000	0.237	2.3	0.615	0.167	1.5	2	0	0.117	7.13	12.6	8.19E-07	0.00E+00	0.00E+00	4.79E-05	1.06E-04	5.00E-05	0.00E+00	
69																											
70	Eaux gravitaires Ao																										
71	1	01/02/94	1000	3.70	-124	0.294	0.69	3.01	0.133	0.72	1.30	0.11	0.01	3.10	0.06	1.44	1.22	5.10	30.2	1.09E-05	7.31E-06	1.37E-07	1.72E-05	8.49E-05	1.34E-04	2.38E-06	
72	1	09/02/94	800	3.69	-191	0.310	0.47	1.95	0.103	0.32	0.81	0.06	0.00	0.18	0.00	0.75	1.31	2.50	34.3	1.15E-05	8.36E-06	1.00E-12	1.17E-05	5.50E-05	1.12E-04	1.84E-06	
73	1	03/03/94	450	3.70	137	1.380	1.81	1.23	0.676	0.03	1.70	0.27	0.01	1.90	0.00	1.61	5.30	3.53	34.2	5.11E-05	9.50E-06	4.86E-07	4.52E-05	3.47E-05	1.23E-04	1.21E-05	
74	1	24/03/94	600	3.52	-187	0.359	0.19	1.59	0.188	0.11	2.61	0.05	0.00	0.84	0.05	0.51	1.66	3.49	49.0	1.33E-05	1.33E-05	7.26E-07	4.84E-06	4.48E-05	1.26E-04	3.37E-06	
75	1	19/04/94	900	3.38	-162	0.314	0.15	1.76	0.162	0.12	4.90	0.05	0.00	0.50	0.00	0.20	1.11	4.27	47.4	1.16E-05	1.16E-05	2.67E-08	3.82E-06	4.96E-05	1.33E-04	2.90E-06	
76	1	26/05/94	975	3.33	-322	0.491	0.19	2.63	0.250	0.65	6.20	0.09	0.00	0.66	0.00	0.00	1.89	9.37	63.3	1.82E-05	1.82E-05	5.49E-07	4.64E-06	7.42E-05	1.42E-04	4.48E-06	
77	1	15/07/94	177	3.78	-270	0.226	0.56	4.80	0.063	0.26	9.80	0.12	0.02	1.90	4.66	0.46	0.91	10.98	47.3	8.38E-06	8.38E-06	8.53E-07	1.39E-05	1.35E-04	1.30E-04	1.13E-06	
78	1	21/07/94	1130	3.70	-117	0.178	0.14	1.76	0.069	0.22	5.80	0.04	0.00	0.40	1.18	0.00	0.45	6.17	24.8	6.60E-06	6.60E-06	7.98E-07	3.54E-06	4.96E-05	1.30E-04	1.24E-06	
79	1	01/08/94	175	3.90	-112	0.208	0.18	1.39	0.053	0.29	4.20	0.03	0.00	0.30	2.07	0.00	0.43	4.01	22.7	7.70E-06	7.70E-06	9.17E-07	4.42E-06	3.92E-05	1.30E-04	9.49E-07	
80	1	13/08/94	400	3.53	-173	0.276	0.14	1.98	0.089	0.16	6.90	0.04	0.00	0.40	2.35	0.00	0.90	6.69	37.7	1.02E-05	1.02E-05	9.60E-07	3.42E-06	5.58E-05	1.30E-04	1.59E-06	
81	1	20/08/94	306	3.70	-160	0.301	0.23	2.05	0.105	0.22	7.10	0.05	0.00	0.60	0.80	0.00	1.23	7.94	38.7	1.12E-05	9.59E-06	8.99E-07	5.79E-06	5.78E-05	1.30E-04	1.88E-06	
82	1	09/09/94	1300	3.65	-128	0.203	0.19	2.69	0.088	0.20	9.20	0.08	0.01	0.49	0.71	0.00	1.39	8.86	32.0	7.52E-06	7.52E-06	7.97E-07	4.64E-06	7.59E-05	1.30E-04	1.58E-06	
83	1	16/09/94	1600	3.55	-132	0.300	0.17	3.94	0.119	0.12	11.00	0.10	0.01	0.85	0.00	0.00	1.85	9.90	41.0	1.11E-05	1.11E-05	1.53E-06	4.14E-06	1.11E-04	1.30E-04	2.13E-06	
84	1	29/09/94	1000	3.56	-116	0.253	0.22	3.10	0.105	0.09	7.80	0.11	0.01	0.40	0.86	0.00	1.29	6.20	33.2	9.38E-06	7.63E-06	9.98E-07	5.49E-06	8.74E-05	1.30E-04	1.88E-06	
85	1	31/10/94	500	3.25	-293	0.354	0.21	6.83	0.172	0.18	13.30	0.34	0.02	1.00	0.00	0.00	2.61	17.11	45.5	1.31E-05	1.31E-05	1.41E-06	5.21E-06	1.93E-04	1.30E-04	3.08E-06	
86	1	13/12/94	1200	3.30	-256	0.543	0.20	3.84	0.223	0.15	13.00	0.30	0.01	0.50	0.00	0.00	3.00	9.92	86.8	2.01E-05	2.01E-05	9.74E-07	4.94E-06	1.08E-04	1.30E-04	3.99E-06	
87	1	17/01/95	1400	3.46	-143	0.472	0.19	2.40	0.160	0.06	7.60	0.20	0.04	0.50	0.14	0.40	2.13	6.14	51.9	1.75E-05	1.70E-05	1.97E-06	4.84E-06	6.77E-05	1.30E-04	2.86E-06	
88	1	02/02/95	2100	3.52	-135	0.359	0.19	2.08	0.154	0.00	6.20	0.13	0.00	0.30	0.00	0.28	1.17	4.90	45.4	1.33E-05	1.12E-05	1.36E-06	4.62E-06	5.87E-05	1.30E-04	2.76E-06	
89	1	27/02/95	2000	3.62	-197	0.328	0.27	2.90	0.169	0.14	5.60	0.11	0.01	0.50	0.00	0.00	0.90	3.80	57.0	1.21E-05	1.21E-05	1.51E-06	6.84E-06	8.18E-05	1.30E-04	3.03E-06	
90	1	24/03/95	2000	3.78	-186	0.354	0.17	1.57	0.146	0.12	4.60	0.10	0.01	0.40	0.00	0.00	0.91	2.89	60.0	1.31E-05	1.31E-05	1.09E-06	4.14E-06	4.43E-05	1.30E-04	2.61E-06	
91	1	07/04/95	800	3.66	-163	0.277	0.16	1.58	0.142	0.17	4.30	0.09	0.00	1.70	0.00	1.58	1.04	3.45	56.7	1.03E-05	8.13E-06	9.22E-07	3.89E-06	4.46E-05	1.30E-04	2.54E-06	
92	1	02/05/95	1300	3.54	-128	0.405	0.20	1.54	0.173	0.07	5.20	0.14	0.00	0.50	0.00	0.00	1.21	4.64	45.7	1.50E-05	1.04E-05	1.53E-06	5.09E-06	4.34E-05	1.30E-04	3.10E-06	
93	1	02/06/95	2700	3.63	-172	0.342	0.00	1.01	0.261	0.00	4.50	0.11	0.01	0.40	0.00	0.00	1.04	4.29	53.3	1.27E-05	8.98E-06	5.40E-07	4.99E-08	2.85E-05	1.30E-04	4.67E-06	
94	1	28/06/95	970	3.44	-1	0.414	0.26	0.71	0.201	0.55	4.40	0.16	0.01	0.60	0.00	0.00	1.3										



	1	2	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	
1	N°	Date	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	Fulvate	Al 3+	AlOH 2+	Al(OH)2 +	Al(OH)3°	Al(OH)4 -	AlCl 2+	AlCl2 +	AlCl3°	AlSO4 +	Al(SO4)2	
2			moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	
51	G1	05/01/96	2.74E-06	1.19E-04	2.06E-05	2.38E-06	3.04E-05	4.00E-05	0.00E+00	4.77E-06	6.80E-05	5.51E-05											
52	G1	31/01/96	3.79E-06	3.58E-05	8.35E-06	8.92E-07	2.17E-05	2.02E-05	0.00E+00	1.76E-05	2.48E-05	4.61E-05											
53	G1	21/02/96	6.68E-06	1.36E-04	5.10E-05	6.63E-06	6.52E-05	1.40E-04	0.00E+00	6.48E-06	1.33E-04	5.59E-05											
54	G1	03/04/96	8.53E-06	8.18E-05	4.36E-05	5.22E-06	5.65E-05	2.38E-04	0.00E+00	7.01E-06	8.13E-05	3.38E-05											
55	G1	05/05/96	1.41E-05	7.67E-05	3.54E-05	4.17E-06	3.04E-05	2.41E-04	0.00E+00	7.48E-06	7.45E-05	5.19E-05											
56	G1	30/05/96	1.00E-06	4.86E-05	9.62E-06	1.00E-06	1.30E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.10E-06	3.99E-06	5.47E-05											
57	G1	12/06/96	1.09E-05	4.35E-05	5.92E-06	6.73E-07	8.70E-06	2.98E-05	0.00E+00	5.70E-06	2.06E-05	3.63E-05											
58	G1	25/06/96	2.08E-05	4.60E-05	8.92E-06	7.28E-07	8.70E-06	5.11E-05	0.00E+00	3.99E-06	2.31E-05	3.94E-05											
59	G1	08/07/96	1.76E-05	3.58E-05	6.04E-06	1.09E-06	1.74E-05	2.61E-05	0.00E+00	3.70E-06	1.44E-05	4.19E-05											
60	G1	31/07/96	1.78E-05	5.88E-05	1.16E-05	1.35E-06	2.61E-05	6.61E-05	0.00E+00	1.31E-05	3.71E-05	3.38E-05											
61	G1	15/08/96	1.32E-05	7.16E-05	1.15E-05	1.37E-06	1.74E-05	8.32E-05	0.00E+00	7.73E-06	2.55E-05	7.72E-05											
62	G1	16/09/96	6.11E-06	4.86E-05	6.54E-06	7.46E-07	1.74E-05	3.68E-05	0.00E+00	3.70E-06	2.09E-05	4.40E-05											
63	G1	03/10/96	8.79E-06	1.10E-04	2.06E-05	2.20E-06	4.78E-05	8.90E-05	0.00E+00	6.41E-06	3.50E-05	5.15E-05											
64	G1	14/11/96	1.11E-05	6.91E-05	8.06E-06	1.33E-06	3.04E-05	1.90E-05	0.00E+00	2.88E-06	2.17E-05	5.35E-05											
65	G1	05/12/96	7.74E-06	3.58E-05	9.46E-06	1.29E-06	2.61E-05	3.74E-05	0.00E+00	2.06E-06	3.48E-05	2.23E-05											
66	G1	24/12/96	5.53E-06	2.56E-05	6.33E-06	7.83E-07	2.17E-05	1.77E-05	0.00E+00	1.71E-06	2.46E-05	2.86E-05											
67	G1	11/02/97	1.74E-05	5.88E-05	3.31E-05	5.53E-06	3.48E-05	8.40E-05	0.00E+00	9.15E-06	1.24E-04	2.47E-05											
68	G1	28/02/97	1.25E-05	5.88E-05	2.53E-05	3.04E-06	6.52E-05	3.23E-05	0.00E+00	4.17E-06	7.42E-05	4.56E-05											
69																							
70	Eaux gravitaires Ao																						
71	1	01/02/94	3.78E-05	3.32E-05	4.52E-06	1.46E-07	1.35E-04	1.03E-06	1.51E-05	4.34E-05	5.31E-05	1.09E-04	5.10E-08	1.67E-09	4.06E-11	2.79E-14	1.51E-16	3.75E-10	2.89E-13	2.34E-18	5.88E-09	8.59E-12	
72	1	09/02/94	1.67E-05	2.08E-05	2.43E-06	7.28E-08	7.87E-06	0.00E+00	7.86E-06	4.66E-05	2.60E-05	1.24E-04	5.29E-13	1.72E-14	4.13E-16	2.78E-19	1.45E-21	2.59E-15	1.31E-18	6.95E-24	3.16E-14	2.30E-17	
73	1	03/03/94	1.32E-06	4.35E-05	1.11E-05	2.37E-07	8.26E-05	0.00E+00	1.70E-05	1.89E-04	3.67E-05	1.24E-04	1.73E-07	5.67E-09	1.38E-10	9.49E-14	5.13E-16	5.20E-10	1.64E-13	5.42E-19	1.37E-08	1.38E-11	
74	1	24/03/94	5.58E-06	6.68E-05	1.89E-06	5.46E-08	3.65E-05	8.71E-07	5.37E-06	5.91E-05	3.63E-05	1.77E-04	5.39E-07	1.17E-08	1.89E-10	8.57E-14	3.06E-16	2.10E-09	8.60E-13	3.68E-18	4.29E-08	4.27E-11	
75	1	19/04/94	6.32E-06	1.25E-04	1.85E-06	5.46E-08	2.17E-05	0.00E+00	2.11E-06	3.95E-05	4.44E-05	1.71E-04	2.29E-08	3.57E-10	4.15E-12	1.37E-15	3.54E-18	9.77E-11	4.38E-14	2.07E-19	2.15E-09	2.58E-12	
76	1	26/05/94	3.40E-05	1.59E-04	3.50E-06	7.28E-08	2.87E-05	0.00E+00	0.00E+00	6.73E-05	9.75E-05	2.29E-04	4.52E-07	6.16E-09	6.33E-11	1.86E-14	4.33E-17	2.81E-09	1.85E-12	1.29E-17	8.80E-08	2.27E-10	
77	1	15/07/94	1.37E-05	2.51E-04	4.89E-06	3.09E-07	8.26E-05	7.51E-05	4.84E-06	3.22E-05	1.14E-04	1.71E-04	4.45E-07	1.71E-08	4.94E-10	4.08E-13	2.69E-15	5.01E-09	6.00E-12	7.62E-17	1.03E-07	3.15E-10	
78	1	21/07/94	1.16E-05	1.48E-04	1.64E-06	3.64E-08	1.74E-05	1.90E-05	0.00E+00	1.62E-05	6.42E-05	8.97E-05	6.76E-07	2.22E-08	5.42E-10	3.73E-13	2.01E-15	2.92E-09	1.32E-12	6.26E-18	9.58E-08	1.70E-10	
79	1	01/08/94	1.54E-05	1.07E-04	1.03E-06	3.64E-08	1.30E-05	3.34E-05	0.00E+00	1.52E-05	4.17E-05	8.19E-05	7.94E-07	4.18E-08	1.63E-09	1.78E-12	1.51E-14	2.76E-09	9.99E-13	3.76E-18	7.61E-08	8.94E-11	
80	1	13/08/94	8.47E-06	1.76E-04	1.81E-06	0.00E+00	1.74E-05	3.79E-05	0.00E+00	3.19E-05	6.96E-05	1.36E-04	8.17E-07	1.79E-08	2.94E-10	1.37E-13	5.02E-16	3.91E-09	1.97E-12	1.04E-17	1.21E-07	2.28E-10	
81	1	20/08/94	1.16E-05	1.82E-04	1.97E-06	0.00E+00	2.61E-05	1.29E-05	0.00E+00	4.38E-05	8.26E-05	1.40E-04	7.39E-07	2.41E-08	5.84E-10	4.02E-13	2.18E-15	3.67E-09	1.92E-12	1.05E-17	1.31E-07	2.96E-10	
82	1	09/09/94	1.07E-05	2.35E-04	3.17E-06	1.46E-07	2.13E-05	1.14E-05	0.00E+00	4.95E-05	9.22E-05	1.16E-04	6.47E-07	1.87E-08	4.03E-10	2.47E-13	1.20E-15	4.19E-09	2.86E-12	2.06E-17	1.26E-07	3.16E-10	
83	1	16/09/94	6.21E-06	2.81E-04	4.07E-06	2.37E-07	3.70E-05	0.00E+00	0.00E+00	6.59E-05	1.03E-04	1.48E-04	1.23E-06	2.79E-08	4.77E-10	2.32E-13	8.98E-16	1.15E-08	1.14E-11	1.19E-16	2.58E-07	7.13E-10	
84	1	29/09/94	4.63E-06	1.99E-04	4.36E-06	1.64E-07	1.74E-05	1.39E-05	0.00E+00	4.59E-05	6.45E-05	1.20E-04	8.54E-07	2.01E-08	3.53E-10	1.76E-13	6.92E-16	6.40E-09	5.05E-12	4.19E-17	1.17E-07	2.05E-10	
85	1	31/10/94	9.32E-06	3.40E-04	1.41E-05	2.73E-07	4.35E-05	0.00E+00	0.00E+00	9.29E-05	1.78E-04	1.64E-04	1.04E-06	1.15E-08	9.71E-11	2.37E-14	4.66E-17	1.62E-08	2.70E-11	4.85E-16	3.39E-07	1.54E-09	
86	1	13/12/94	8.05E-06	3.32E-04	1.24E-05	1.82E-07	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.07E-04	1.03E-04	3.13E-04	7.99E-07	1.00E-08	9.55E-11	2.62E-14	5.73E-17	7.08E-09	6.70E-12	6.77E-17	1.57E-07	4.19E-10	
87	1	17/01/95	3.00E-06	1.94E-04	8.35E-06	7.10E-07	2.17E-05	2.26E-06	4.21E-06	7.58E-05	6.39E-05	1.87E-04	1.52E-06	2.83E-08	3.94E-10	1.56E-13	4.88E-16	8.76E-09	5.32E-12	3.41E-17	2.01E-07	3.46E-10	
88	1	02/02/95	0.00E+00	1.59E-04	5.51E-06	1.82E-08	1.30E-05	0.00E+00	2.95E-06	4.17E-05	5.10E-05	1.64E-04	1.08E-06	2.32E-08	3.72E-10	1.69E-13	6.05E-16	5.44E-09	2.90E-12	1.62E-17	1.17E-07	1.63E-10	
89	1	27/02/95	7.47E-06	1.43E-04	4.65E-06	9.10E-08	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.20E-05	3.96E-05	2.06E-04	1.35E-06	3.66E-08	7.41E-10	4.24E-13	1.91E-15	9.53E-09	7.07E-12	5.51E-17	1.15E-07	1.25E-10	
90	1	24/03/95	6.05E-06	1.18E-04	3.99E-06	9.10E-08	1.74E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.23E-05	3.01E-05	2.17E-04	9.80E-07	3.89E-08	1.14E-09	9.45E-13	6.12E-15	3.81E-09	1.55E-12	6.56E-18	6.61E-08	5.54E-11	
91	1	07/04/95	8.95E-06	1.10E-04	3.82E-06	7.28E-08	7.39E-05	0.00E+00	1.66E-05	3.70E-05	3.59E-05	2.05E-04	3.70E-07	1.11E-08	2.46E-10	1.55E-13	7.61E-16	1.44E-09	5.83E-13	2.48E-18	2.91E-08	2.88E-11	
92	1	02/05/95	3.89E-06	1.33E-04	5.67E-06	5.46E-08	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	4.31E-05	4.83E-05	1.65E-04	1.35E-06	3.06E-08	5.15E-10	2.45E-13	9.17E-16	5.08E-09	2.00E-12	8.28E-18	1.41E-07	1.86E-10	
93	1	02/06/95	0.00E+00	1.15E-04	4.56E-06	9.10E-08	1.74E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.70E-05	4.47E-05	1.93E-04	4.78E-07	1.34E-08	2.78E-10	1.63E-13	7.47E-16	1.19E-09	3.09E-13	8.43E-19	4.72E-08	5.83E-11	
94	1	28/06/95	2.89E-05	1.13E-04	6.46E-06	1.09E-07	2.61E-05	0.00E+00	0.00E+00	4.81E-05	4.55E-05	5.12E-05	2.05E-06	3.69E-08	4.94E-10	1.87E-13	5.54E-16	3.56E-09	6.48E-13	1.24E-18	2.01E-07	2.49E-10	
95	1	18/07/95	0.00E+00	4.86E-05	2.26E-06	1.46E-07	1.30E-05	1.11E-05	0.00E+00	1.51E-05	1.98E-05	9.64E-05	6.78E-07	3.79E-08	1.55E-09	1.77E-12	1.57E-14	1.07E-09	1.76E-13	2.97E-19	3.21E-08	1.81E-11	
96	1	17/08/95	0.00E+00	5.37E-05	2.80E-06	5.46E-08	2.61E-05	1.56E-05	0.00E+00	1.75E-05	2.65E-05	1.00E-04	7.08E-07	9.00E-08	8.43E-09	2.20E-11	4.48E-13	7.16E-09	7.52E-12	8.19E-17	4.42E-08	3.34E-11	
97	1	19/09/95	1.42E-06	7.93E-05	1.08E-05	2.37E-07	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	7.90E-05	4.57E-05												



	1	2	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	
1	N°	Date	AIPO4°	AIHPO4 +	AIH2PO4 2+	AIOS(OH)3 2+	AIF 2+	AIF2 +	AIF3 °	AIF4 -	Polymères	Al organique	Force ionique	Activités (moles/l)					
2			{moles/l}	{moles/l}	{moles/l}	{moles/l}	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	{moles d'Al/l}	{moles d'Al/l}	moles/l	{Ca 2+}	{Mg 2+}	{K +}	{Na +}	{Al 3+}	
51	G1	05/01/96																	
52	G1	31/01/96																	
53	G1	21/02/96																	
54	G1	03/04/96																	
55	G1	05/05/96																	
56	G1	30/05/96																	
57	G1	12/06/96																	
58	G1	25/06/96																	
59	G1	08/07/96																	
60	G1	31/07/96																	
61	G1	15/08/96																	
62	G1	16/09/96																	
63	G1	03/10/96																	
64	G1	14/11/96																	
65	G1	05/12/96																	
66	G1	24/12/96																	
67	G1	11/02/97																	
68	G1	28/02/97																	
69																			
70	Eaux gravitaires Ao																		
71	1	01/02/94	7.30E-08	4.30E-09	7.15E-10	2.65E-11	6.95E-07	5.36E-06	1.11E-06	7.68E-09	3.58E-06	2.57E-10	4.50E-04	1.57E-05	4.11E-06	3.25E-05	1.32E-04	4.12E-08	
72	1	09/02/94	3.91E-13	2.36E-14	3.98E-15	2.94E-16	2.48E-06	4.30E-06	1.99E-07	3.06E-10	3.13E-06	1.38E-06	2.98E-04	1.08E-05	2.24E-06	2.04E-05	7.72E-06	4.44E-13	
73	1	03/03/94	2.74E-07	1.61E-08	2.68E-09	3.91E-10	8.36E-07	8.09E-08	2.11E-10	1.83E-14	4.16E-05	8.10E-06	4.49E-04	4.11E-05	1.01E-05	4.25E-05	8.07E-05	1.40E-07	
74	1	24/03/94	1.17E-07	1.04E-08	2.62E-09	2.53E-10	3.07E-06	8.04E-07	5.66E-09	1.32E-12	0.00E+00	8.70E-06	4.08E-04	4.42E-06	1.73E-06	6.52E-05	3.57E-05	4.40E-07	
75	1	19/04/94	1.02E-09	1.25E-10	4.36E-11	5.17E-12	3.47E-06	9.11E-07	6.44E-09	1.52E-12	0.00E+00	7.22E-06	4.95E-04	3.46E-06	1.68E-06	1.22E-04	2.12E-05	1.83E-08	
76	1	26/05/94	7.20E-21	9.93E-22	3.92E-22	1.52E-10	5.80E-06	9.78E-06	4.49E-07	6.94E-10	0.00E+00	1.62E-06	6.95E-04	4.13E-06	3.11E-06	1.54E-04	2.79E-05	3.47E-07	
77	1	15/07/94	2.67E-07	1.31E-08	1.83E-09	2.02E-10	2.35E-06	3.41E-06	1.35E-07	1.80E-10	0.00E+00	1.63E-06	7.13E-04	1.24E-05	4.35E-06	2.43E-04	8.02E-05	3.41E-07	
78	1	21/07/94	6.08E-20	3.58E-21	5.94E-22	1.32E-10	2.36E-06	2.79E-06	8.84E-08	9.32E-11	0.00E+00	5.61E-07	4.06E-04	3.24E-06	1.50E-06	1.45E-04	1.70E-05	5.52E-07	
79	1	01/08/94	1.64E-19	6.10E-21	6.35E-22	2.33E-10	2.23E-06	3.98E-06	1.90E-07	2.98E-10	0.00E+00	3.81E-07	3.04E-04	4.08E-06	9.50E-07	1.05E-04	1.28E-05	6.65E-07	
80	1	13/08/94	3.34E-20	2.91E-21	7.19E-22	2.10E-10	3.58E-06	1.66E-06	2.08E-08	8.68E-12	0.00E+00	4.01E-06	5.13E-04	3.09E-06	1.64E-06	1.72E-04	1.70E-05	6.51E-07	
81	1	20/08/94	6.49E-20	3.82E-21	6.37E-22	3.86E-10	3.16E-06	2.82E-06	6.78E-08	5.45E-11	1.56E-06	2.64E-06	4.96E-04	5.24E-06	1.79E-06	1.77E-04	2.55E-05	5.91E-07	
82	1	09/09/94	4.55E-20	3.01E-21	5.64E-22	3.39E-10	2.73E-06	2.51E-06	6.24E-08	5.19E-11	0.00E+00	1.42E-06	5.46E-04	4.18E-06	2.85E-06	2.29E-04	2.08E-05	5.12E-07	
83	1	16/09/94	5.27E-20	4.38E-21	1.04E-21	6.74E-10	3.14E-06	1.00E-06	8.69E-09	2.54E-12	0.00E+00	5.43E-06	6.55E-04	3.70E-06	3.63E-06	2.73E-04	3.59E-05	9.53E-07	
84	1	29/09/94	3.99E-20	3.25E-21	7.48E-22	3.38E-10	2.28E-06	6.85E-07	5.55E-09	1.50E-12	1.75E-06	3.66E-06	5.08E-04	4.96E-06	3.94E-06	1.94E-04	1.70E-05	6.81E-07	
85	1	31/10/94	1.07E-20	1.78E-21	8.55E-22	3.91E-10	5.04E-06	1.46E-06	1.16E-08	3.17E-12	0.00E+00	5.19E-06	1.04E-03	4.53E-06	1.23E-05	3.28E-04	4.20E-05	7.56E-07	
86	1	13/12/94	1.07E-20	1.58E-21	6.72E-22	3.93E-10	4.68E-06	1.13E-06	7.54E-09	1.70E-12	0.00E+00	1.33E-05	8.70E-04	4.34E-06	1.09E-05	3.22E-04	2.10E-05	5.96E-07	
87	1	17/01/95	1.84E-07	1.88E-08	5.48E-09	7.85E-10	2.18E-06	2.26E-07	6.36E-10	6.00E-14	4.68E-07	1.26E-05	5.68E-04	4.35E-06	7.51E-06	1.89E-04	2.12E-05	1.20E-06	
88	1	02/02/95	1.24E-07	1.10E-08	2.77E-09	3.54E-10	8.21E-19	4.39E-32	6.31E-47	3.03E-63	2.11E-06	9.82E-06	4.70E-04	4.19E-06	5.00E-06	1.55E-04	1.27E-05	8.68E-07	
89	1	27/02/95	8.05E-20	5.70E-21	1.14E-21	4.30E-10	3.05E-06	1.44E-06	1.84E-08	7.78E-12	0.00E+00	6.13E-06	4.53E-04	6.22E-06	4.22E-06	1.40E-04	2.12E-05	1.09E-06	
90	1	24/03/95	1.20E-19	5.89E-21	8.11E-22	4.60E-10	2.41E-06	1.14E-06	1.44E-08	6.03E-12	0.00E+00	8.47E-06	3.64E-04	3.80E-06	3.66E-06	1.15E-04	1.70E-05	8.08E-07	
91	1	07/04/95	4.73E-07	3.06E-08	5.57E-09	1.50E-10	2.28E-06	1.97E-06	4.56E-08	3.52E-11	2.12E-06	2.92E-06	4.25E-04	3.55E-06	3.49E-06	1.07E-04	7.23E-05	3.01E-07	
92	1	02/05/95	5.71E-20	4.86E-21	1.17E-21	4.83E-10	2.19E-06	4.81E-07	2.85E-09	5.62E-13	4.56E-06	6.24E-06	4.47E-04	4.63E-06	5.16E-06	1.30E-04	2.12E-05	1.09E-06	
93	1	02/06/95	3.20E-20	2.21E-21	4.31E-22	1.81E-10	7.15E-19	6.44E-32	1.56E-46	1.25E-62	3.69E-06	8.44E-06	3.93E-04	4.57E-08	4.18E-06	1.13E-04	1.70E-05	3.91E-07	
94	1	28/06/95	5.45E-20	5.84E-21	1.76E-21	6.50E-10	3.16E-06	6.72E-06	3.84E-07	7.29E-10	2.76E-06	0.00E+00	4.18E-04	5.96E-06	5.89E-06	1.10E-04	2.55E-05	1.67E-06	
95	1	18/07/95	1.59E-19	5.64E-21	5.57E-22	2.10E-10	4.63E-19	9.79E-32	5.49E-46	1.01E-61	2.12E-06	2.04E-06	2.09E-04	4.86E-06	2.12E-06	4.78E-05	1.28E-05	5.85E-07	
96	1	17/08/95	5.05E-19	7.82E-21	3.38E-22	5.78E-10	2.05E-19	6.91E-32	6.20E-46	1.83E-61	3.15E-06	1.24E-06	2.53E-04	3.46E-06	2.60E-06	5.27E-05	2.56E-05	6.02E-07	
97	1	19/09/95	7.61E-20	5.39E-21	1.08E-21	9.93E-10	9.04E-07	9.52E-08	2.70E-10	2.54E-14	0.00E+00	9.28E-06	4.12E-04	7.20E-06	9.84E-06	7.75E-05	2.13E-05	1.03E-06	
98	1	10/10/95	2.33E-19	9.71E-21	1.15E-21	2.69E-09	3.38E-06	7.59E-06	4.60E-07	9.30E-10	0.00E+00	2.88E-06	4.77E-04	8.15E-06	1.55E-05	7.74E-05	3.40E-05	1.30E-06	



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1	N°	Date	Pluviométrie (mm)	pH	ANC	Al total	Ca	Cl	Fe	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	C org.	Al total	Al monomérique	Al 8-OH-O	Ca	Cl	C min	Fe	
2			ou volume (ml)	20 °C	μéquival/L	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l
99	1	06/11/95	110	3.13	-247	0.404	1.25	5.42	0.190	0.15	3.40	0.57	0.03	1.20	0.00	0.00	1.89	4.10	67.5	1.50E-05	1.15E-05	2.63E-06	3.12E-05	1.53E-04	1.57E-04	3.40E-06	
100	1	05/12/95	730	3.58	-212	0.660	0.45	3.44	0.305	0.07	3.90	0.60	0.02	1.40	0.73	0.00	3.47	5.71	67.5	2.45E-05	2.45E-05	2.72E-06	1.12E-05	9.70E-05	1.57E-04	5.46E-06	
101	1	05/01/96	1410	3.52	-160	0.658	1.56	2.49	0.319	0.16	3.90	0.84	0.02	1.30	1.08	0.49	3.85	5.79	70.0	2.44E-05	2.11E-05	1.60E-06	3.89E-05	7.02E-05	1.57E-04	5.71E-06	
102	1	21/02/96	600	3.44	-251	0.649	0.80	2.21	0.322	0.34	4.30	0.52	0.02	1.40	0.49	0.00	2.55	6.91	77.5	2.41E-05	1.74E-05	2.40E-06	1.99E-05	6.23E-05	5.00E-05	5.77E-06	
103	1	30/05/96	1630	3.62	-334	0.674	0.67	4.19	0.375	0.13	3.50	0.56	0.03	0.90	1.55	0.00	3.24	5.90	77.5	2.50E-05	1.72E-05	1.58E-06	1.68E-05	1.18E-04	5.00E-05	6.71E-06	
104	1	12/06/96	690	3.77	-173	0.500	0.61	0.72	0.301	0.11	2.00	0.35	0.02	1.10	0.68	0.00	1.70	3.08	57.5	1.85E-05	1.21E-05	2.30E-06	1.52E-05	2.03E-05	5.00E-05	5.39E-06	
105	1	08/07/96	700	3.77	-202	0.789	0.64	0.95	0.453	0.23	2.70	0.60	0.03	0.90	0.00	0.00	2.95	2.80	85.0	2.93E-05	1.32E-05	2.02E-06	1.59E-05	2.68E-05	5.00E-05	8.11E-06	
106	1	31/07/96	310	3.62	-227	0.674	0.90	1.27	0.408	0.30	2.60	0.61	0.03	1.70	0.00	0.00	3.75	3.81	92.5	2.50E-05	2.22E-05	2.89E-06	2.24E-05	3.58E-05	5.00E-05	7.31E-06	
107	1	14/11/96	3200	3.65	-494	0.589	0.91	1.76	0.269	0.14	1.80	0.62	0.03	1.00	0.00	0.00	3.63	3.55	142.9	2.18E-05	2.13E-05	2.02E-06	2.27E-05	4.96E-05	5.00E-05	4.82E-06	
108	1	05/12/96	2550	3.60	-470	0.391	0.35	0.57	0.169	0.13	0.80	0.24	0.01	0.50	0.00	0.00	1.21	2.10	120.0	1.45E-05	8.65E-06	1.98E-06	8.61E-06	1.61E-05	5.00E-05	3.03E-06	
109	1	24/12/96	1020	3.82	-568	0.582	0.56	0.62	0.257	0.12	0.90	0.32	0.03	0.70	0.50	0.00	1.62	2.78	147.7	2.16E-05	1.84E-05	2.11E-06	1.39E-05	1.75E-05	5.00E-05	4.60E-06	
110	1	28/02/97	1370	3.89	-710	0.715	0.71	0.70	0.316	0.18	1.40	0.45	0.02	0.70	0.00	0.00	2.32	4.22	184.7	2.65E-05	9.40E-06	3.09E-06	1.77E-05	1.97E-05	5.00E-05	5.66E-06	
111	2	01/02/94	1000	3.80	-146	0.388	0.89	2.83	0.194	0.69	1.30	0.15	0.01	4.10	0.08	1.24	0.99	5.22	53.4	1.44E-05	9.48E-06	3.06E-07	2.22E-05	7.99E-05	1.34E-04	3.47E-06	
112	2	09/02/94	875	3.65	-245	0.343	0.41	1.80	0.132	0.34	0.73	0.08	0.00	0.19	0.00	0.61	0.79	2.55	47.3	1.27E-05	9.57E-06	3.75E-07	1.02E-05	5.06E-05	1.12E-04	2.36E-06	
113	2	03/03/94	400	3.42	123	2.380	1.99	1.37	1.150	0.19	1.60	0.52	0.02	2.20	0.07	0.51	6.35	4.21	60.4	8.82E-05	1.47E-05	8.96E-07	4.97E-05	3.86E-05	1.23E-04	2.06E-05	
114	2	24/03/94	450	3.37	-295	0.585	0.27	1.54	0.290	0.00	1.95	0.12	0.00	1.23	0.06	0.38	1.71	4.73	76.8	2.17E-05	2.17E-05	5.09E-07	6.71E-06	4.34E-05	1.26E-04	5.19E-06	
115	2	19/04/94	600	3.23	-296	0.526	0.23	1.34	0.263	0.04	1.80	0.12	0.00	0.90	0.05	0.36	1.89	5.28	69.3	1.95E-05	1.66E-05	6.00E-08	5.64E-06	3.78E-05	1.33E-04	4.71E-06	
116	2	26/05/94	800	3.21	-447	0.847	0.32	1.44	0.429	0.56	3.60	0.21	0.01	0.95	0.00	0.43	2.89	9.74	98.0	3.14E-05	3.14E-05	1.58E-06	8.08E-06	4.06E-05	1.42E-04	7.68E-06	
117	2	21/07/94	340	3.64	-160	0.245	0.22	1.81	0.106	0.20	2.40	0.06	0.00	0.90	0.98	0.45	0.68	4.28	33.6	9.09E-06	9.09E-06	9.69E-07	5.46E-06	5.10E-05	1.30E-04	1.90E-06	
118	2	01/08/94	445	3.66	-198	0.220	0.15	1.51	0.060	0.33	2.40	0.04	0.00	0.50	2.95	0.00	0.37	4.02	29.1	8.17E-06	8.16E-06	9.02E-07	3.84E-06	4.26E-05	1.30E-04	1.07E-06	
119	2	20/08/94	145	3.48	-230	0.518	0.25	2.27	0.215	0.09	3.20	0.10	0.00	1.00	0.78	0.63	2.02	3.80	63.0	1.92E-05	1.73E-05	1.49E-06	6.19E-06	6.40E-05	1.30E-04	3.85E-06	
120	2	09/09/94	575	3.33	-316	0.596	0.27	3.06	0.283	0.23	4.40	0.17	0.01	0.79	0.71	0.00	3.64	5.25	77.4	2.21E-05	2.21E-05	1.78E-06	6.66E-06	8.63E-05	1.30E-04	5.07E-06	
121	2	16/09/94	750	3.33	-336	0.594	0.28	3.98	0.269	0.10	3.90	0.18	0.01	0.79	0.00	0.00	3.61	4.36	83.1	2.20E-05	2.20E-05	1.58E-06	7.04E-06	1.12E-04	1.30E-04	4.82E-06	
122	2	29/09/94	575	3.57	-231	0.392	0.24	2.69	0.180	0.04	3.00	0.12	0.01	0.90	0.86	0.00	2.08	4.30	54.0	1.45E-05	1.37E-05	1.18E-06	6.01E-06	7.59E-05	1.30E-04	3.22E-06	
123	2	13/12/94	550	3.00	-588	0.930	0.44	5.66	0.406	0.12	4.80	0.41	0.01	0.90	0.00	0.00	6.67	8.51	127.5	3.45E-05	3.45E-05	1.35E-06	1.09E-05	1.60E-04	1.30E-04	7.27E-06	
124	2	17/01/95	600	3.14	-390	0.684	0.31	3.80	0.244	0.00	3.40	0.31	0.04	0.80	0.00	0.00	4.25	7.71	84.5	2.53E-05	2.53E-05	2.10E-06	7.76E-06	1.07E-04	1.30E-04	4.37E-06	
125	2	02/02/95	1100	3.30	-317	0.657	0.31	3.04	0.289	0.00	2.80	0.24	0.00	1.10	0.00	0.00	3.18	5.49	77.1	2.44E-05	2.28E-05	1.84E-06	7.73E-06	8.57E-05	1.30E-04	5.17E-06	
126	2	27/02/95	1150	3.43	-410	0.670	0.32	2.95	0.311	0.14	2.60	0.19	0.01	1.10	0.00	0.35	2.00	2.85	107.6	2.48E-05	2.48E-05	1.73E-06	8.06E-06	8.32E-05	1.30E-04	5.57E-06	
127	2	24/03/95	850	3.57	-420	0.671	0.31	1.87	0.311	0.08	2.20	0.16	0.01	0.70	0.00	0.00	1.71	2.55	113.0	2.49E-05	2.44E-05	1.93E-06	7.83E-06	5.27E-05	1.30E-04	5.57E-06	
128	2	07/04/95	375	3.44	-332	0.589	0.25	2.17	0.282	0.19	2.10	0.15	0.00	3.10	0.66	2.56	1.81	2.52	103.3	2.18E-05	1.11E-05	1.12E-06	6.21E-06	6.12E-05	1.30E-04	5.05E-06	
129	2	02/05/95	575	3.23	-385	0.807	0.33	1.78	0.371	0.08	2.20	0.19	0.00	0.80	0.00	0.00	1.97	3.22	107.1	2.99E-05	2.05E-05	1.27E-06	8.18E-06	5.02E-05	1.30E-04	6.64E-06	
130	2	02/06/95	1000	3.27	-441	0.842	0.29	1.46	0.353	0.00	2.60	0.20	0.01	0.70	0.00	0.00	2.32	3.60	122.7	3.12E-05	2.27E-05	1.15E-06	7.21E-06	4.12E-05	1.30E-04	6.32E-06	
131	2	28/06/95	450	3.11	-610	0.920	0.36	1.30	0.422	0.54	2.80	0.25	0.00	1.00	0.00	0.00	2.93	4.52	160.0	3.41E-05	2.34E-05	2.34E-06	8.96E-06	3.67E-05	1.30E-04	7.56E-06	
132	2	18/07/95	550	3.62	-141	0.168	0.25	0.62	0.051	0.01	1.30	0.05	0.00	0.30	0.00	0.00	0.75	1.77	40.0	6.23E-06	3.90E-06	7.98E-07	6.21E-06	1.75E-05	1.57E-04	9.13E-07	
133	2	17/08/95	230	3.99	-178	0.203	0.22	1.19	0.090	0.00	1.40	0.06	0.00	1.30	0.64	0.85	1.04	2.80	44.4	7.54E-06	3.01E-06	9.61E-07	5.59E-06	3.36E-05	1.57E-04	1.61E-06	
134	2	19/09/95	1300	3.45	-318	0.357	0.26	0.91	0.154	0.08	1.40	0.16	0.01	0.50	0.00	0.00	2.34	3.06	78.8	1.32E-05	1.32E-05	1.48E-06	6.49E-06	2.57E-05	1.57E-04	2.76E-06	
135	2	10/10/95	545	3.41	-586	0.875	0.48	2.62	0.448	0.64	2.00	0.32	0.01	1.10	0.00	0.00	5.53	3.36	147.5	3.24E-05	2.90E-05	2.27E-06	1.20E-05	7.39E-05	1.57E-04	8.02E-06	
136	2	05/12/95	350	3.30	-493	1.296	0.63	3.24	0.653	0.06	2.00	0.45	0.01	1.30	0.00	0.00	5.76	5.06	137.5	4.80E-05	3.64E-05	3.62E-06	1.57E-05	9.14E-05	1.57E-04	1.17E-05	
137	2	05/01/96	1050	3.27	-379	1.030	1.24	2.17	0.501	0.28	2.10	0.49	0.01	1.80	0.00	0.00	6.51	6.33	116.3	3.82E-05	3.17E-05	1.78E-06	3.09E-05	6.12E-05	1.57E-04	8.97E-06	
138	2	21/02/96	400	3.19	-432	1.051	0.72	1.63	0.504	0.32	1.90	0.43	0.01	1.20	0.46	0.64	6.34	5.74	117.5	3.90E-05	3.44E-05	2.14E-06	1.80E-05	4.60E-05	5.00E-05	9.02E-06	
139	2	30/05/96	850	3.52	-350	1.095	0.74	1.48	0.579	0.07	2.20	0.41	0.01	1.60	0.00	0.00	5.65	4.25	120.0	4.06E-05	2.99E-05	2.14E-06	1.84E-05	4.17E-05	5.00E-05	1.04E-05	
140	2	12/06/96	325	3.60	-311	0.563	0.52	1.29	0.320	0.13	1.20	0.21	0.05	2.30	0.74	0.53	2.72	4.65	77.5	2.09E-05	2.05E-05	2.00E-06	1.30E-05	3.64E-05	5.00E-05	5.73E-06	
141	2	08/07/9																									



	1	2	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
1	N°	Date	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	Fulvate	Al 3+	Al(OH) 2+	Al(OH)2 +	Al(OH)3*	Al(OH)4 -	AlCl 2+	AlCl2 +	AlCl3°	AlSO4 +	Al(SO4)2 -
2			moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l
99	1	06/11/95	7.68E-06	8.70E-05	2.35E-05	5.46E-07	5.22E-05	0.00E+00	0.00E+00	6.73E-05	4.27E-05	2.44E-04	2.39E-06	2.03E-08	1.31E-10	2.43E-14	3.59E-17	3.01E-08	4.04E-11	5.80E-16	1.91E-07	2.08E-10
100	1	05/12/95	3.63E-06	9.97E-05	2.48E-05	3.82E-07	6.09E-05	1.18E-05	0.00E+00	1.24E-04	5.94E-05	2.44E-04	2.35E-06	5.75E-08	1.06E-09	5.51E-13	2.27E-15	1.93E-08	1.68E-11	1.54E-16	2.88E-07	4.59E-10
101	1	05/01/96	8.21E-06	9.97E-05	3.47E-05	3.46E-07	5.65E-05	1.74E-05	5.16E-06	1.37E-04	6.03E-05	2.53E-04	1.17E-06	2.48E-08	3.95E-10	1.80E-13	6.48E-16	6.91E-09	4.31E-12	2.85E-17	1.42E-07	2.27E-10
102	1	21/02/96	1.81E-05	1.10E-04	2.15E-05	3.64E-07	6.09E-05	7.90E-06	0.00E+00	9.08E-05	7.19E-05	2.80E-04	2.05E-06	3.62E-08	4.79E-10	1.81E-13	5.43E-16	1.07E-08	5.95E-12	3.49E-17	2.96E-07	5.63E-10
103	1	30/05/96	7.05E-06	8.95E-05	2.30E-05	5.10E-07	3.91E-05	2.51E-05	0.00E+00	1.15E-04	6.15E-05	2.80E-04	1.36E-06	3.63E-08	7.30E-10	4.18E-13	1.89E-15	1.35E-08	1.43E-11	1.59E-16	1.72E-07	2.84E-10
104	1	12/06/96	5.89E-06	5.12E-05	1.45E-05	4.00E-07	4.78E-05	1.10E-05	0.00E+00	6.05E-05	3.21E-05	2.08E-04	2.07E-06	7.99E-08	2.29E-09	1.85E-12	1.17E-14	3.66E-09	6.79E-13	1.32E-18	1.46E-07	1.30E-10
105	1	08/07/96	1.22E-05	6.91E-05	2.45E-05	6.19E-07	3.91E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.05E-04	2.91E-05	3.07E-04	1.83E-06	7.01E-08	2.00E-09	1.62E-12	1.03E-14	4.23E-09	1.03E-12	2.62E-18	1.15E-07	9.12E-11
106	1	31/07/96	1.57E-05	6.65E-05	2.51E-05	4.91E-07	7.39E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.33E-04	3.97E-05	3.34E-04	2.59E-06	6.97E-08	1.40E-09	8.04E-13	3.63E-15	7.90E-09	2.54E-12	8.61E-18	2.14E-07	2.28E-10
107	1	14/11/96	7.32E-06	4.60E-05	2.53E-05	5.64E-07	4.35E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.29E-04	3.70E-05	5.16E-04	1.82E-06	5.22E-08	1.12E-09	6.88E-13	3.34E-15	7.62E-09	3.38E-12	1.58E-17	1.38E-07	1.37E-10
108	1	05/12/96	6.74E-06	2.05E-05	9.75E-06	2.00E-07	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	4.31E-05	2.19E-05	4.33E-04	1.84E-06	4.78E-08	9.24E-10	5.05E-13	2.17E-15	2.56E-09	3.75E-13	5.74E-19	8.70E-08	5.20E-11
109	1	24/12/96	6.32E-06	2.30E-05	1.33E-05	4.91E-07	3.04E-05	8.06E-06	0.00E+00	5.77E-05	2.89E-05	5.33E-04	1.90E-06	8.16E-08	2.61E-09	2.37E-12	1.69E-14	2.86E-09	4.51E-13	7.50E-19	1.17E-07	9.28E-11
110	1	28/02/97	9.58E-06	3.58E-05	1.87E-05	3.82E-07	3.04E-05	0.00E+00	0.00E+00	8.26E-05	4.39E-05	6.67E-04	2.70E-06	1.34E-07	5.02E-09	5.35E-12	4.52E-14	4.48E-09	7.88E-13	1.47E-18	2.44E-07	2.90E-10
111	2	01/02/94	3.62E-05	3.32E-05	6.33E-06	2.18E-07	1.78E-04	1.26E-06	1.31E-05	3.51E-05	5.43E-05	1.93E-04	9.56E-08	3.91E-09	1.19E-10	1.03E-13	7.07E-16	6.55E-10	4.72E-13	3.58E-18	1.11E-08	1.65E-11
112	2	09/02/94	1.79E-05	1.87E-05	3.29E-06	5.46E-08	8.39E-06	0.00E+00	6.41E-06	2.80E-05	2.66E-05	1.71E-04	2.31E-07	6.84E-09	1.49E-10	9.16E-14	4.38E-16	1.03E-09	4.82E-13	2.34E-18	1.39E-08	1.03E-11
113	2	03/03/94	1.01E-05	4.09E-05	2.15E-05	3.46E-07	9.57E-05	1.13E-06	5.37E-06	2.26E-04	4.38E-05	2.18E-04	7.13E-07	1.20E-08	1.52E-10	5.49E-14	1.57E-16	2.32E-09	7.98E-13	2.91E-18	6.27E-08	7.25E-11
114	2	24/03/94	0.00E+00	4.99E-05	4.89E-06	7.28E-08	5.35E-05	8.87E-07	4.00E-06	6.09E-05	4.92E-05	2.77E-04	4.19E-07	6.36E-09	7.20E-11	2.32E-14	5.89E-17	1.55E-09	6.07E-13	2.50E-18	4.29E-08	5.67E-11
115	2	19/04/94	2.11E-06	4.60E-05	5.02E-06	7.28E-08	3.91E-05	8.06E-07	3.79E-06	6.73E-05	5.50E-05	2.50E-04	5.11E-08	5.58E-10	4.57E-12	1.07E-15	1.97E-18	1.64E-10	5.53E-14	1.98E-19	5.69E-09	8.26E-12
116	2	26/05/94	2.93E-05	9.21E-05	8.88E-06	1.46E-07	4.13E-05	0.00E+00	4.53E-06	1.03E-04	1.01E-04	3.54E-04	1.25E-06	1.29E-08	9.98E-11	2.22E-14	3.95E-17	4.21E-09	5.10E-12	7.33E-18	2.43E-07	6.35E-10
117	2	21/07/94	1.07E-05	6.14E-05	2.34E-06	3.84E-08	3.91E-05	1.58E-05	4.74E-06	2.43E-05	4.46E-05	1.21E-04	6.50E-07	1.87E-08	3.98E-10	2.38E-13	1.12E-15	2.91E-09	1.36E-12	6.63E-18	6.46E-08	7.99E-11
118	2	01/08/94	1.71E-05	6.14E-05	1.77E-06	0.00E+00	2.17E-05	4.76E-05	0.00E+00	1.32E-05	4.18E-05	1.05E-04	7.99E-07	2.41E-08	5.38E-10	3.37E-13	1.65E-15	2.99E-09	1.17E-12	4.78E-18	7.50E-08	8.71E-11
119	2	20/08/94	4.84E-06	8.18E-05	3.95E-06	1.82E-08	4.35E-05	1.26E-05	6.63E-06	7.19E-05	3.96E-05	2.27E-04	1.10E-06	2.16E-08	3.17E-10	1.31E-13	4.29E-16	6.07E-09	3.52E-12	2.14E-17	9.29E-08	9.99E-11
120	2	09/09/94	1.18E-05	1.13E-04	7.15E-06	1.82E-07	3.44E-05	1.14E-05	0.00E+00	1.30E-04	5.46E-05	2.80E-04	1.57E-06	2.16E-08	2.22E-10	6.51E-14	1.52E-16	1.14E-08	8.81E-12	7.18E-17	1.73E-07	2.51E-10
121	2	16/09/94	5.26E-06	9.97E-05	7.48E-06	1.27E-07	3.44E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.29E-04	4.54E-05	3.00E-04	1.42E-06	1.94E-08	2.00E-10	5.87E-14	1.37E-16	1.34E-08	1.34E-11	1.42E-16	1.30E-07	1.57E-10
122	2	29/09/94	2.05E-06	7.67E-05	5.10E-06	1.46E-07	3.91E-05	1.39E-05	0.00E+00	7.40E-05	4.48E-05	1.95E-04	1.05E-06	2.53E-08	4.57E-10	2.33E-13	9.35E-16	6.87E-09	4.73E-12	3.42E-17	1.01E-07	1.24E-10
123	2	13/12/94	6.26E-06	1.23E-04	1.70E-05	1.82E-07	3.91E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.37E-04	8.86E-05	4.60E-04	1.15E-06	7.12E-09	3.37E-11	4.63E-15	5.12E-18	1.47E-08	2.04E-11	3.03E-16	1.79E-07	3.90E-10
124	2	17/01/95	0.00E+00	8.70E-05	1.29E-05	7.46E-07	3.48E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.51E-04	8.03E-05	3.05E-04	1.79E-06	1.56E-08	1.03E-10	1.96E-14	2.96E-17	1.58E-08	1.49E-11	1.50E-16	2.73E-07	5.60E-10
125	2	02/02/95	0.00E+00	7.16E-05	9.91E-06	5.46E-08	4.78E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.13E-04	5.71E-05	2.78E-04	1.62E-06	2.07E-08	1.99E-10	5.45E-14	1.18E-16	1.17E-08	8.95E-12	7.24E-17	1.86E-07	2.80E-10
126	2	27/02/95	7.32E-06	6.65E-05	7.61E-06	9.10E-08	4.78E-05	0.00E+00	3.69E-06	7.12E-05	2.97E-05	3.89E-04	1.45E-06	2.52E-08	3.27E-10	1.21E-13	3.53E-16	1.03E-08	7.67E-12	6.04E-17	8.91E-08	7.09E-11
127	2	24/03/95	4.00E-06	5.63E-05	6.58E-06	1.09E-07	3.04E-05	0.00E+00	0.00E+00	6.09E-05	2.65E-05	4.08E-04	1.78E-06	4.29E-08	7.72E-10	3.94E-13	1.58E-15	8.05E-09	3.84E-12	1.92E-17	1.00E-07	7.22E-11
128	2	07/04/95	1.00E-05	5.37E-05	6.09E-06	7.28E-08	1.35E-04	1.06E-05	2.70E-05	6.44E-05	2.62E-05	3.73E-04	5.87E-07	1.04E-08	1.38E-10	5.24E-14	1.57E-16	3.05E-09	1.67E-12	9.70E-18	3.18E-08	2.24E-11
129	2	02/05/95	4.37E-06	5.63E-05	7.61E-06	7.28E-08	3.48E-05	0.00E+00	0.00E+00	7.01E-05	3.35E-05	3.87E-04	1.17E-06	1.28E-08	1.04E-10	2.43E-14	4.50E-17	4.96E-09	2.22E-12	1.05E-17	7.85E-08	6.89E-11
130	2	02/06/95	0.00E+00	6.65E-05	8.10E-06	1.09E-07	3.04E-05	0.00E+00	0.00E+00	8.26E-05	3.75E-05	4.43E-04	1.05E-06	1.26E-08	1.13E-10	2.88E-14	5.84E-17	3.66E-09	1.34E-12	5.22E-18	7.92E-08	7.81E-11
131	2	28/06/95	2.84E-05	7.16E-05	1.03E-05	0.00E+00	4.35E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.04E-04	4.70E-05	5.78E-04	2.13E-06	1.73E-08	1.06E-10	1.88E-14	2.66E-17	6.42E-09	2.07E-12	7.10E-18	1.87E-07	2.24E-10
132	2	18/07/95	5.26E-07	3.32E-05	2.06E-06	7.28E-08	1.30E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.66E-05	1.84E-05	1.44E-04	7.44E-07	2.06E-08	4.22E-10	2.42E-13	1.08E-15	1.16E-09	1.88E-13	3.17E-19	3.15E-08	1.63E-11
133	2	17/08/95	0.00E+00	3.58E-05	2.38E-06	3.64E-08	5.65E-05	1.03E-05	8.95E-06	3.70E-05	2.91E-05	1.60E-04	2.19E-07	1.43E-08	6.84E-10	9.17E-13	9.57E-15	6.57E-10	2.04E-13	6.61E-19	1.49E-08	1.22E-11
134	2	19/09/95	4.05E-06	3.58E-05	6.41E-06	1.27E-07	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	8.33E-05	3.19E-05	2.84E-04	1.36E-06	2.50E-08	3.42E-10	1.32E-13	4.02E-16	3.02E-09	7.05E-13	1.73E-18	9.30E-08	8.06E-11
135	2	10/10/95	3.36E-05	5.12E-05	1.32E-05	2.00E-07	4.78E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.97E-04	3.50E-05	5.33E-04	2.07E-06	3.41E-08	4.21E-10	1.49E-13	4.16E-16	1.29E-08	8.46E-12	5.90E-17	1.46E-07	1.35E-10
136	2	05/12/95	3.32E-06	5.12E-05	1.86E-05	2.37E-07	5.65E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.05E-04	5.27E-05	4.97E-04	3.22E-06	4.08E-08	3.90E-10	1.07E-13	2.33E-16	2.44E-08	1.97E-11	1.69E-16	3.28E-07	4.48E-10
137	2	05/01/96	1.46E-05	5.37E-05	2.00E-05	2.37E-07	7.83E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.32E-04	6.59E-05	4.20E-04	1.55E-06	1.83E-08	1.63E-10	4.17E-14	8.51E-17	7.86E-09	4.24E-12	2.43E-17	1.97E-07	3.35E-10
138	2	21/02/96	1.66E-05	4.86E-05	1.78E-05	1.82E-07	5.22E-05	7.42E-06	6.74E-06	5.97E-05	4.24E-04	1.79E-06	1.75E-08	1.30E-10	2.76E-14	4.68E-17	6.79E-09	2.75E-12	1.19E-17	2.04E-07	3.13E-10	
139	2	30/05/96	3.53E-0																			



	1	2	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
1	N°	Date	AIPO4°	AIHPO4 +	AIH2PO4 2+	AIOSi(OH)3 2+	AIF 2+	AIF2 +	AIF3 °	AIF4 -	Polymères	Al organique	Force ionique	Activités (moles/l)				
2			[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[moles d'Al/l]	[moles d'Al/l]	moles/l	{Ca 2+}	{Mg 2+}	{K +}	{Na +}	{Al 3+}
99	1	06/11/95	1.42E-20	3.11E-21	1.95E-21	5.01E-10	4.13E-06	1.07E-06	7.53E-09	1.80E-12	3.46E-06	3.67E-06	8.23E-04	2.75E-05	2.07E-05	8.42E-05	5.06E-05	1.80E-06
100	1	05/12/95	1.09E-19	8.48E-21	1.87E-21	2.61E-09	2.50E-06	3.36E-07	1.22E-09	1.50E-13	0.00E+00	1.89E-05	5.84E-04	1.01E-05	2.23E-05	9.71E-05	5.93E-05	1.84E-06
101	1	05/01/96	2.26E-07	2.02E-08	5.13E-09	1.24E-09	4.38E-06	1.34E-06	1.12E-08	3.13E-12	3.29E-06	1.38E-05	6.76E-04	3.47E-05	3.09E-05	9.69E-05	5.49E-05	9.03E-07
102	1	21/02/96	5.22E-20	5.59E-21	1.71E-21	1.20E-09	5.70E-06	4.49E-06	9.60E-08	6.92E-11	6.68E-06	4.69E-06	6.74E-04	1.78E-05	1.91E-05	1.07E-04	5.92E-05	1.58E-06
103	1	30/05/96	7.86E-20	5.57E-21	1.12E-21	1.53E-09	3.22E-06	1.24E-06	1.31E-08	4.60E-12	7.82E-06	1.11E-05	6.05E-04	1.51E-05	2.06E-05	8.71E-05	3.81E-05	1.06E-06
104	1	12/06/96	2.13E-19	1.07E-20	1.51E-21	1.77E-09	2.33E-06	1.08E-06	1.36E-08	5.64E-12	6.45E-06	6.34E-06	3.87E-04	1.40E-05	1.33E-05	5.00E-05	4.68E-05	1.70E-06
105	1	08/07/96	1.91E-19	9.57E-21	1.36E-21	2.69E-09	2.90E-06	2.97E-06	8.20E-08	7.54E-11	1.61E-05	5.22E-06	4.58E-04	1.45E-05	2.22E-05	6.74E-05	3.82E-05	1.48E-06
106	1	31/07/96	1.40E-19	9.94E-21	2.00E-21	3.39E-09	5.24E-06	3.86E-06	7.69E-08	5.14E-11	2.76E-06	1.01E-05	5.62E-04	2.01E-05	2.26E-05	6.47E-05	7.20E-05	2.04E-06
107	1	14/11/96	1.16E-19	7.67E-21	1.44E-21	2.46E-09	2.83E-06	1.42E-06	1.93E-08	8.80E-12	5.44E-07	1.50E-05	6.09E-04	2.03E-05	2.27E-05	4.48E-05	4.23E-05	1.42E-06
108	1	05/12/96	9.80E-20	7.27E-21	1.52E-21	7.55E-10	1.76E-06	1.29E-06	2.55E-08	1.68E-11	5.85E-06	3.59E-06	4.47E-04	7.83E-06	8.87E-06	2.00E-05	2.12E-05	1.49E-06
109	1	24/12/96	2.35E-19	1.05E-20	1.33E-21	1.72E-09	1.95E-06	1.25E-06	2.15E-08	1.23E-11	3.15E-06	1.31E-05	5.01E-04	1.26E-05	1.21E-05	2.24E-05	2.97E-05	1.52E-06
110	1	28/02/97	3.69E-19	1.40E-20	1.52E-21	4.06E-09	1.26E-06	1.91E-06	7.90E-08	1.10E-10	1.71E-05	3.06E-06	6.13E-04	1.59E-05	1.67E-05	3.48E-05	2.96E-05	2.11E-06
111	2	01/02/94	1.85E-07	8.64E-09	1.15E-09	5.03E-11	1.10E-06	6.86E-06	1.15E-06	6.46E-09	4.90E-06	5.47E-08	5.08E-04	2.01E-05	5.73E-06	3.24E-05	1.74E-04	7.62E-08
112	2	09/02/94	1.13E-07	7.45E-09	1.38E-09	7.02E-11	2.77E-06	4.70E-06	2.13E-07	3.20E-10	3.15E-06	1.51E-06	3.27E-04	9.36E-06	3.03E-06	1.83E-05	8.23E-06	1.92E-07
113	2	03/03/94	9.14E-08	1.03E-08	3.28E-09	9.89E-10	4.43E-06	1.70E-06	1.78E-08	6.25E-12	7.35E-05	7.62E-06	6.45E-04	4.44E-05	1.92E-05	3.98E-05	9.30E-05	5.53E-07
114	2	24/03/94	3.30E-08	4.15E-09	1.48E-09	1.42E-10	8.67E-19	2.75E-32	2.36E-47	6.78E-64	0.00E+00	2.12E-05	5.43E-04	6.05E-06	4.41E-06	4.86E-05	5.21E-05	3.32E-07
115	2	19/04/94	1.96E-09	3.40E-10	1.68E-10	1.38E-11	1.64E-06	9.33E-08	1.44E-10	7.46E-15	2.91E-06	1.48E-05	6.07E-04	5.05E-06	4.50E-06	4.48E-05	3.81E-05	3.99E-08
116	2	26/05/94	5.00E-08	9.10E-09	4.75E-09	4.85E-10	1.15E-05	6.98E-06	1.16E-07	6.50E-11	0.00E+00	1.12E-05	8.15E-04	7.13E-06	7.65E-06	8.92E-05	4.00E-05	9.41E-07
117	2	21/07/94	2.15E-07	1.45E-08	2.76E-09	1.66E-10	3.23E-06	2.50E-06	5.18E-08	3.57E-11	0.00E+00	2.34E-06	3.73E-04	5.01E-06	2.15E-06	6.01E-05	3.83E-05	5.35E-07
118	2	01/08/94	6.04E-20	3.90E-21	7.07E-22	1.17E-10	2.51E-06	4.42E-06	2.08E-07	3.25E-10	5.93E-09	1.19E-07	3.50E-04	3.53E-06	1.63E-06	6.01E-05	2.13E-05	6.61E-07
119	2	20/08/94	2.37E-07	2.31E-08	6.39E-09	5.70E-10	2.97E-06	5.80E-07	3.05E-09	5.36E-13	1.88E-06	1.23E-05	4.85E-04	5.61E-06	3.58E-06	7.98E-05	4.24E-05	8.81E-07
120	2	09/09/94	2.47E-20	3.41E-21	1.34E-21	1.02E-09	6.21E-06	2.04E-06	1.82E-08	5.46E-12	0.00E+00	1.20E-05	6.37E-04	5.96E-06	6.40E-06	1.09E-04	3.34E-05	1.22E-06
121	2	16/09/94	2.23E-20	3.08E-21	1.21E-21	9.16E-10	3.52E-06	5.34E-07	2.19E-09	3.03E-13	0.00E+00	1.64E-05	6.24E-04	6.30E-06	6.70E-06	9.70E-05	3.34E-05	1.11E-06
122	2	29/09/94	5.11E-20	4.06E-21	9.11E-22	6.87E-10	1.39E-06	1.52E-07	4.50E-10	4.43E-14	8.01E-07	1.10E-05	4.48E-04	5.47E-06	4.64E-06	7.49E-05	3.82E-05	8.48E-07
123	2	13/12/94	3.57E-21	1.05E-21	9.00E-22	6.15E-10	4.87E-06	3.80E-07	8.21E-10	6.06E-14	0.00E+00	2.79E-05	1.09E-03	9.43E-06	1.47E-05	1.18E-04	3.77E-05	8.30E-07
124	2	17/01/95	1.12E-20	2.40E-21	1.47E-21	8.63E-10	9.05E-19	1.53E-32	7.06E-48	1.10E-64	0.00E+00	2.32E-05	8.15E-04	6.84E-06	1.14E-05	8.42E-05	3.37E-05	1.35E-06
125	2	02/02/95	2.21E-20	3.27E-21	1.38E-21	8.56E-10	8.83E-19	2.24E-32	1.54E-47	3.58E-64	1.59E-06	2.09E-05	6.34E-04	6.92E-06	8.86E-06	6.96E-05	4.65E-05	1.26E-06
126	2	27/02/95	1.34E-07	1.47E-08	4.59E-09	6.56E-10	4.06E-06	1.09E-06	7.89E-09	1.92E-12	0.00E+00	1.79E-05	5.69E-04	7.25E-06	6.84E-06	6.47E-05	4.66E-05	1.14E-06
127	2	24/03/95	8.28E-20	6.58E-21	1.48E-21	9.57E-10	2.31E-06	4.82E-07	2.71E-09	5.10E-13	4.37E-07	1.97E-05	4.89E-04	7.10E-06	5.96E-06	5.49E-05	2.97E-05	1.43E-06
128	2	07/04/95	4.27E-07	4.58E-08	1.39E-08	2.46E-10	3.00E-06	2.09E-06	3.95E-08	2.50E-11	1.07E-05	4.84E-06	5.83E-04	5.58E-06	5.47E-06	5.23E-05	1.31E-04	4.61E-07
129	2	02/05/95	1.16E-20	2.02E-21	9.98E-22	3.28E-10	2.92E-06	3.77E-07	1.33E-09	1.57E-13	9.39E-06	1.59E-05	6.44E-04	7.31E-06	6.80E-06	5.47E-05	3.38E-05	9.08E-07
130	2	02/06/95	1.26E-20	1.99E-21	9.00E-22	3.80E-10	8.26E-19	2.87E-32	2.70E-47	8.57E-64	8.51E-06	2.15E-05	6.43E-04	6.44E-06	7.24E-06	6.46E-05	2.96E-05	8.15E-07
131	2	28/06/95	1.15E-20	2.64E-21	1.74E-21	6.57E-10	8.28E-06	7.02E-06	1.63E-07	1.28E-10	1.07E-05	5.64E-06	8.54E-04	7.87E-06	9.07E-06	6.93E-05	4.21E-05	1.59E-06
132	2	18/07/95	4.82E-20	3.41E-21	6.75E-22	2.01E-10	2.85E-07	1.96E-08	3.58E-11	2.16E-15	2.33E-06	2.80E-06	2.75E-04	5.77E-06	1.91E-06	3.26E-05	1.28E-05	6.29E-07
133	2	17/08/95	6.88E-07	2.08E-08	1.76E-09	1.93E-10	2.91E-19	8.18E-32	6.12E-46	1.51E-61	4.53E-06	2.05E-06	2.81E-04	5.18E-06	2.21E-06	3.51E-05	5.55E-05	1.85E-07
134	2	19/09/95	3.84E-20	4.02E-21	1.19E-21	7.61E-10	2.25E-06	5.00E-07	3.00E-09	5.99E-13	0.00E+00	8.99E-06	4.46E-04	5.90E-06	5.84E-06	3.50E-05	2.12E-05	1.10E-06
135	2	10/10/95	4.61E-20	5.30E-21	1.73E-21	2.45E-09	7.97E-06	9.66E-06	3.19E-07	3.54E-10	3.40E-06	8.83E-06	6.71E-04	1.07E-05	1.17E-05	4.97E-05	4.65E-05	1.60E-06
136	2	05/12/95	4.17E-20	6.17E-21	2.61E-21	3.05E-09	2.45E-06	1.99E-07	4.43E-10	3.32E-14	1.16E-05	3.02E-05	7.63E-04	1.39E-05	1.65E-05	4.96E-05	5.48E-05	2.45E-06
137	2	05/01/96	1.80E-20	2.85E-21	1.30E-21	1.55E-09	7.74E-06	2.50E-06	2.21E-08	6.63E-12	6.44E-06	1.97E-05	8.07E-04	2.73E-05	1.77E-05	5.20E-05	7.59E-05	1.17E-06
138	2	21/02/96	9.57E-08	1.82E-08	9.97E-09	1.44E-09	9.15E-06	2.75E-06	2.26E-08	6.29E-12	4.56E-06	2.03E-05	8.04E-04	1.59E-05	1.57E-05	4.71E-05	5.06E-05	1.35E-06
139	2	30/05/96	6.98E-20	6.22E-21	1.58E-21	2.99E-09	2.27E-06	3.33E-07	1.33E-09	1.78E-13	1.07E-05	2.52E-05	6.11E-04	1.65E-05	1.50E-05	5.47E-05	6.77E-05	1.50E-06
140	2	12/06/96	4.13E-07	3.06E-08	6.43E-09	1.25E-09	3.50E-06	1.16E-06	1.03E-08	3.06E-12	3.85E-07	1.39E-05	5.06E-04	1.18E-05	7.85E-06	2.99E-05	9.76E-05	1.09E-06
141	2	08/07/96	4.22E-20	5.31E-21	1.90E-21	1.62E-09	4.29E-06	1.45E-06	1.33E-08	4.09E-12	1.69E-05	1.32E-05	5.88E-04	9.65E-06	1.18E-05	3.48E-05	4.66E-05	1.78E-06
142	2	31/07/96	4.07E-20	4.57E-21	1.47E-21	1.71E-09	6.60E-06	2.97E-06	3.65E-08	1.51E-11	2.81E-06	2.31E-05	7.11E-04	1.86E-05	1.49E-05	3.97E-05	9.71E-05	1.35E-06
143	2	14/11/96	3.92E-20	4.61E-21	1.55E-21	1.82E-09	2.71E-06	1.15E-06	1.33E-08	5.16E-12	7.88E-06	1.17E-05	7.34E-04	1.25E-05	1.07E-05	2.23E-05	5.91E-05	1.42E-06
144	2	05/12/96	4.03E-20	4.08E-21	2.08E-21	1.53E-09	1.77E-06	2.47E-07	9.28E-10	1.17E-13	9.69E-06	1.16E-05	5.58E-04	6.67E-06	7.74E-06	1.74E-05	3.39E-05	1.95E-06
145	2	24/12/96	5.16E-20	5.93E-21	1.93E-21	1.31E-09	7.61E-19	4.36E-32	6.76E-47	3.51E-63	7.96E-06	1.81E-05	5.63E-04	6.87E-06	7.44E-06	1.74E-05	3.39E-05	1.82E-06
146	2	28/02/97	2.42E-19	1.18E-20	1.66E-21	3.30E-09	1.19E-06	1.22E-06	3.42E-08	3.21E-11	1.93E-05	5.82E-06	6.84E-04	8.64E-06	8.68E-06	1.74E-05	3.38E-05	1.90E-06



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	N°	Date	Pluviométrie (mm)	pH	ANC	Al total	Ca	Cl	Fe	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	C org.	Al total	Al monomérique	Al 8-OH-O	Ca	Cl	C min	Fe
2			ou volume (ml)	20 °C	µéquiv/L	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l
147	3	01/02/94	1000	3.67	-183	0.281	0.58	2.11	0.165	0.60	1.20	0.12	0.00	2.90	0.00	1.04	0.75	4.63	50.5	1.04E-05	8.89E-06	5.95E-07	1.45E-05	5.94E-05	1.34E-04	2.95E-06
148	3	09/02/94	1350	3.67	-209	0.241	0.40	1.25	0.097	0.29	0.56	0.07	0.00	0.18	0.05	0.70	0.58	2.21	41.4	8.93E-06	8.31E-06	2.38E-07	1.01E-05	3.51E-05	1.12E-04	1.74E-06
149	3	03/03/94	550	3.46	59	1.610	1.39	0.81	0.861	0.05	1.00	0.41	0.01	1.50	0.00	0.42	4.63	3.46	48.2	5.97E-05	9.10E-06	1.08E-06	3.47E-05	2.28E-05	1.23E-04	1.54E-05
150	3	24/03/94	1150	3.37	-258	0.401	0.18	1.11	0.223	0.05	1.67	0.10	0.00	0.79	0.48	0.00	1.33	3.09	66.9	1.49E-05	1.40E-05	3.35E-07	4.37E-06	3.13E-05	1.26E-04	3.99E-06
151	3	19/04/94	1850	3.30	-266	0.357	0.14	1.28	0.193	0.06	1.50	0.10	0.00	0.40	0.00	0.00	1.31	3.80	58.5	1.32E-05	1.10E-05	2.53E-07	3.42E-06	3.61E-05	1.33E-04	3.46E-06
152	3	26/05/94	2000	3.20	-426	0.555	0.25	1.50	0.280	0.56	3.60	0.27	0.00	0.83	0.00	0.00	2.23	11.95	78.8	2.06E-05	2.06E-05	7.28E-07	6.19E-06	4.23E-05	1.42E-04	5.01E-06
153	3	09/06/94	350	3.00	-398	0.763	0.29	1.31	0.325	0.08	3.70	0.27	0.00	0.80	0.00	0.00	2.09	10.97	85.6	2.83E-05	2.83E-05	2.58E-06	7.31E-06	3.69E-05	1.25E-04	5.82E-06
154	3	21/07/94	640	3.45	-210	0.367	0.34	2.29	0.155	0.25	3.10	0.14	0.03	0.70	0.89	0.00	0.81	5.33	43.0	1.36E-05	1.36E-05	1.40E-06	8.56E-06	6.46E-05	1.30E-04	2.78E-06
155	3	01/08/94	837	3.64	-179	0.199	0.12	1.38	0.056	0.36	2.30	0.05	0.00	0.30	2.90	0.00	0.29	3.63	24.2	7.36E-06	6.74E-06	8.40E-07	2.94E-06	3.89E-05	1.30E-04	1.00E-06
156	3	13/08/94	720	3.42	-251	0.267	0.15	1.69	0.082	0.20	3.10	0.09	0.00	0.40	3.61	0.00	0.43	4.40	42.1	9.90E-06	9.90E-06	1.04E-06	3.84E-06	4.77E-05	1.30E-04	1.47E-06
157	3	20/08/94	284	3.41	-276	0.634	0.33	2.99	0.262	0.08	4.10	0.21	0.00	0.80	0.78	0.00	2.63	5.68	75.2	2.35E-05	2.35E-05	1.68E-06	8.18E-06	8.43E-05	1.30E-04	4.69E-06
158	3	09/09/94	2000	3.36	-254	0.445	0.20	2.31	0.201	0.21	3.40	0.17	0.01	0.66	0.71	0.00	2.34	4.48	61.9	1.65E-05	1.65E-05	1.39E-06	5.04E-06	6.51E-05	1.30E-04	3.60E-06
159	3	16/09/94	1500	3.31	-329	0.546	0.26	2.69	0.236	0.09	3.50	0.23	0.01	0.84	0.00	0.00	2.73	5.96	77.6	2.02E-05	2.02E-05	1.85E-06	6.56E-06	7.59E-05	1.30E-04	4.23E-06
160	3	29/09/94	1400	3.42	-229	0.436	0.38	1.89	0.196	0.03	2.50	0.18	0.01	0.60	0.81	0.00	1.78	4.50	55.1	1.62E-05	1.51E-05	1.44E-06	9.58E-06	5.33E-05	1.30E-04	3.51E-06
161	3	24/11/94	350	3.01	-601	1.173	0.24	4.22	0.549	0.16	3.60	0.49	0.01	1.00	0.00	0.00	5.04	6.94	144.5	6.35E-05	3.68E-05	0.00E+00	5.89E-06	1.19E-04	1.30E-04	9.83E-06
162	3	13/12/94	1750	3.12	-494	0.787	0.35	3.09	0.328	0.11	3.50	0.40	0.01	0.90	0.00	0.00	3.69	5.76	124.0	2.92E-05	2.92E-05	9.51E-07	8.68E-06	8.71E-05	1.30E-04	5.87E-06
163	3	01/01/95	500	3.30	-424	0.910	0.36	2.10	0.417	0.97	2.80	0.33	0.01	2.40	0.00	0.00	2.83	4.84	119.7	3.37E-05	3.37E-05	1.56E-06	9.03E-06	5.92E-05	1.30E-04	7.47E-06
164	3	17/01/95	2350	3.27	-254	0.358	0.20	2.10	0.147	0.00	2.00	0.17	0.04	1.00	0.11	0.36	1.29	4.75	57.5	1.33E-05	1.33E-05	1.30E-06	5.04E-06	5.92E-05	1.30E-04	2.63E-06
165	3	02/02/95	3850	3.69	-222	0.357	0.19	1.53	0.172	0.00	1.40	0.11	0.00	0.60	0.00	0.00	0.75	2.40	56.3	1.32E-05	1.14E-05	1.36E-06	4.77E-06	4.31E-05	1.30E-04	3.08E-06
166	3	27/02/95	3550	3.39	-328	0.437	0.19	2.16	0.236	0.15	1.60	0.13	0.00	0.60	0.00	0.00	0.96	1.62	81.6	1.62E-05	1.62E-05	1.94E-06	4.72E-06	6.09E-05	1.30E-04	4.23E-06
167	3	24/03/95	3100	3.40	-290	0.385	0.19	1.52	0.191	0.47	1.40	0.11	0.00	0.50	0.00	0.00	1.04	1.75	70.0	1.43E-05	1.43E-05	1.39E-06	4.82E-06	4.29E-05	1.30E-04	3.42E-06
168	3	07/04/95	1550	3.53	-288	0.368	0.20	1.49	0.201	0.18	1.10	0.10	0.00	3.40	0.66	2.31	0.99	1.92	90.0	1.36E-05	1.06E-05	1.14E-06	5.09E-06	4.20E-05	1.30E-04	3.60E-06
169	3	02/05/95	2000	3.20	-307	0.481	0.26	1.44	0.234	0.08	1.20	0.14	0.00	0.40	0.00	0.00	1.23	2.61	75.7	1.78E-05	1.22E-05	1.02E-06	6.56E-06	4.06E-05	1.30E-04	4.19E-06
170	3	02/06/95	2800	3.18	-463	0.671	0.29	1.10	0.325	0.03	1.30	0.18	0.00	0.50	0.70	0.00	1.76	3.65	112.9	2.49E-05	2.21E-05	1.51E-06	7.26E-06	3.10E-05	1.30E-04	5.82E-06
171	3	28/06/95	1370	3.11	-116	0.739	0.31	0.86	0.397	0.59	1.10	0.20	0.00	0.70	0.00	0.00	1.61	3.36	34.5	2.74E-05	1.78E-05	3.19E-06	7.61E-06	2.43E-05	1.30E-04	7.11E-06
172	3	18/07/95	1200	3.65	-146	0.130	0.25	0.61	0.030	0.00	0.60	0.04	0.00	0.30	0.00	0.00	0.46	1.83	36.7	4.83E-06	2.24E-06	6.32E-07	6.29E-06	1.72E-05	1.57E-04	5.37E-07
173	3	19/09/95	3880	3.52	-248	0.267	0.27	0.67	0.131	0.05	0.90	0.14	0.01	0.40	0.00	0.00	1.87	2.83	60.0	9.88E-06	9.88E-06	8.89E-07	6.84E-06	1.89E-05	1.57E-04	2.35E-06
174	3	10/10/95	1600	3.63	-516	0.795	0.42	1.98	0.408	0.16	0.80	0.28	0.01	1.90	0.00	1.83	3.99	2.83	137.5	2.95E-05	2.53E-05	3.46E-06	1.04E-05	5.58E-05	1.57E-04	7.31E-06
175	3	06/11/95	500	2.94	-248	0.359	0.42	2.05	0.165	0.17	0.70	0.19	0.01	0.70	0.67	0.00	1.54	2.42	57.5	1.33E-05	1.07E-05	1.84E-06	1.06E-05	5.78E-05	1.57E-04	2.95E-06
176	3	05/12/95	1050	3.41	-398	0.920	0.55	2.35	0.507	0.04	1.10	0.37	0.01	1.40	0.00	0.72	4.35	3.38	112.5	3.41E-05	2.82E-05	1.84E-05	1.37E-05	6.63E-05	1.57E-04	9.08E-06
177	3	05/01/96	2450	3.30	-444	0.731	0.96	2.38	0.397	0.25	0.70	0.40	0.01	1.40	0.00	0.00	3.51	6.67	105.0	2.71E-05	2.07E-05	2.95E-06	2.40E-05	6.71E-05	1.57E-04	7.11E-06
178	3	21/02/96	1320	3.27	-424	0.847	0.36	0.55	0.185	0.28	0.50	0.20	0.00	0.90	0.00	0.00	3.65	3.68	110.0	3.14E-05	2.49E-05	2.50E-06	9.01E-06	1.55E-05	5.00E-05	3.31E-06
179	3	30/05/96	2600	3.38	-489	0.864	0.44	2.23	0.511	0.21	0.50	0.33	0.01	0.90	0.00	0.00	3.34	4.80	115.0	3.20E-05	2.81E-05	2.23E-06	1.11E-05	6.27E-05	5.00E-05	9.15E-06
180	3	12/06/96	870	3.55	-322	0.565	0.55	1.00	0.351	0.13	0.20	0.19	0.01	1.20	0.69	0.00	1.61	2.57	77.5	2.09E-05	1.78E-05	2.15E-06	1.37E-05	2.82E-05	5.00E-05	6.28E-06
181	3	25/06/96	385	3.18	-350	0.577	0.57	1.42	0.376	0.25	0.50	0.24	0.01	1.00	1.50	0.00	1.84	3.10	77.5	2.14E-05	1.31E-05	3.03E-07	1.42E-05	4.00E-05	5.00E-05	6.73E-06
182	3	08/07/96	880	3.38	-402	0.924	0.39	0.82	0.548	0.20	0.50	0.29	0.01	0.90	0.00	0.00	2.91	2.40	117.5	3.42E-05	1.84E-05	2.68E-06	9.83E-06	2.31E-05	5.00E-05	9.81E-06
183	3	31/07/96	350	3.45	-355	0.739	0.64	1.19	0.511	0.28	0.50	0.35	0.01	1.40	0.00	0.00	3.83	2.81	110.0	2.74E-05	2.74E-05	1.68E-06	1.58E-05	3.36E-05	5.00E-05	9.15E-06
184	3	14/11/96	6830	3.47	-631	0.467	0.48	1.79	0.251	0.15	0.40	0.20	0.00	1.00	0.00	0.00	2.83	2.01	155.5	1.73E-05	1.34E-05	2.20E-06	1.21E-05	5.05E-05	5.00E-05	4.49E-06
185	3	05/12/96	3300	3.47	-429	0.361	0.16	0.36	0.206	0.10	0.20	0.11	0.00	0.70	0.00	0.00	1.12	1.68	108.0	1.34E-05	7.86E-06	1.80E-06	3.89E-06	1.02E-05	5.00E-05	3.69E-06
186	3	24/12/96	1960	3.50	-621	0.455	0.22	0.45	0.257	0.00	0.10	0.13	0.00	0.50	0.00	0.00	1.27	2.12	152.0	1.69E-05	1.30E-05	1.95E-06	5.36E-06	1.27E-05	5.00E-05	4.60E-06
187	3	11/02/97	650	3.97	-682	0.442	0.27	0.37	0.230	0.24	0.20	0.12	0.00	1.00	0.50	0.38	1.35	2.75	162.7	1.64E-05	2.76E-06	9.86E-07	6.79E-06	1.04E-05	5.00E-05	4.12E-06
188	3	28/02/97	2250	3.79	-757	0.487	0.29	0.70	0.261	0.06	0.20	0.16	0.00	0.60	0.00	0.00	1.56	3.04	180.2	1.80E-05	6.98E-06	2.92E-06	7.31E-06	1.97E-05	5.00E-05	4.67E-06
189	4</																									



	1	2	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
1	N°	Date	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	Fulvate	Al 3+	Al(OH) 2+	Al(OH)2 +	Al(OH)3*	Al(OH)4 -	AlCl 2+	AlCl2 +	AlCl3*	AlSO4 +	Al(SO4)2
2			moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l
147	3	01/02/94	3.14E-05	3.07E-05	4.89E-06	7.28E-08	1.26E-04	0.00E+00	1.09E-05	2.66E-05	4.82E-05	1.82E-04	2.85E-07	8.70E-09	1.98E-10	1.27E-13	6.40E-16	1.46E-09	7.90E-13	4.47E-18	2.98E-08	3.94E-11
148	3	09/02/94	1.53E-05	1.44E-05	2.88E-06	3.64E-08	7.74E-06	8.06E-07	7.32E-06	2.06E-05	2.30E-05	1.49E-04	1.36E-07	4.21E-09	9.66E-11	6.21E-14	3.10E-16	4.23E-10	1.37E-13	4.64E-19	7.17E-09	4.62E-12
149	3	03/03/94	2.47E-06	2.56E-05	1.67E-05	2.37E-07	6.52E-05	0.00E+00	4.42E-06	1.65E-04	3.60E-05	1.74E-04	8.68E-07	1.62E-08	2.27E-10	8.98E-14	2.80E-16	1.70E-09	3.49E-13	7.56E-19	6.55E-08	6.32E-11
150	3	24/03/94	2.68E-06	4.27E-05	4.07E-06	3.64E-08	3.44E-05	7.74E-06	0.00E+00	4.73E-05	3.22E-05	2.42E-04	3.08E-07	4.71E-09	5.35E-11	1.72E-14	4.36E-17	8.33E-10	2.36E-13	7.04E-19	2.11E-08	1.84E-11
151	3	19/04/94	3.16E-06	3.84E-05	4.19E-06	1.82E-08	1.74E-05	0.00E+00	0.00E+00	4.66E-05	3.96E-05	2.11E-04	2.30E-07	2.98E-09	2.89E-11	7.90E-15	1.70E-17	7.15E-10	2.33E-13	8.01E-19	1.92E-08	2.04E-11
152	3	26/05/94	2.96E-05	9.21E-05	1.12E-05	7.28E-08	3.61E-05	0.00E+00	0.00E+00	7.94E-05	1.24E-04	2.84E-04	5.81E-07	5.82E-09	4.41E-11	9.60E-15	1.67E-17	2.03E-09	7.55E-13	3.00E-18	1.38E-07	4.43E-10
153	3	09/06/94	4.32E-06	9.46E-05	1.11E-05	7.28E-08	3.48E-05	0.00E+00	0.00E+00	7.44E-05	1.14E-04	3.09E-04	2.12E-06	1.33E-08	6.31E-11	8.66E-15	9.54E-18	6.35E-09	2.04E-12	7.01E-18	4.35E-07	1.23E-09
154	3	21/07/94	1.32E-05	7.93E-05	5.76E-06	5.28E-07	3.04E-05	1.44E-05	0.00E+00	2.89E-05	5.55E-05	1.55E-04	1.23E-06	2.24E-08	3.06E-10	1.19E-13	3.61E-16	6.81E-09	3.97E-12	2.44E-17	1.44E-07	2.16E-10
155	3	01/08/94	1.88E-05	5.88E-05	2.18E-06	0.00E+00	1.30E-05	4.68E-05	0.00E+00	1.04E-05	3.78E-05	8.74E-05	7.51E-07	2.17E-08	4.63E-10	2.77E-13	1.30E-15	2.58E-09	9.23E-13	3.44E-18	6.42E-08	6.75E-11
156	3	13/08/94	1.06E-05	7.93E-05	3.87E-06	1.82E-08	1.74E-05	5.82E-05	0.00E+00	1.53E-05	4.58E-05	1.52E-04	9.29E-07	1.59E-08	2.03E-10	7.33E-14	2.08E-16	3.82E-09	1.65E-12	7.49E-18	9.06E-08	1.12E-10
157	3	20/08/94	4.42E-06	1.05E-04	8.43E-06	5.46E-08	3.48E-05	1.26E-05	0.00E+00	9.36E-05	5.91E-05	2.71E-04	1.47E-06	2.42E-08	3.00E-10	1.06E-13	2.96E-16	1.05E-08	7.90E-12	6.30E-17	1.78E-07	2.80E-10
158	3	09/09/94	1.08E-05	8.70E-05	6.95E-06	1.46E-07	2.87E-05	1.14E-05	0.00E+00	8.33E-05	4.66E-05	2.23E-04	1.24E-06	1.84E-08	2.04E-10	6.41E-14	1.59E-16	6.91E-09	4.05E-12	2.50E-17	1.20E-07	1.50E-10
159	3	16/09/94	4.58E-06	8.95E-05	9.29E-06	9.10E-08	3.65E-05	0.00E+00	0.00E+00	9.72E-05	6.20E-05	2.80E-04	1.62E-06	2.11E-08	2.08E-10	5.83E-14	1.29E-16	1.03E-08	7.00E-12	5.02E-17	2.02E-07	3.30E-10
160	3	29/09/94	1.32E-06	6.39E-05	7.36E-06	1.46E-07	2.61E-05	1.31E-05	0.00E+00	6.34E-05	4.68E-05	1.99E-04	1.28E-06	2.19E-08	2.80E-10	1.01E-13	2.87E-16	5.88E-09	2.83E-12	1.44E-17	2.27E-07	1.60E-10
161	3	24/11/94	8.37E-06	9.21E-05	2.00E-05	2.00E-07	4.35E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.79E-04	7.22E-05	5.22E-04	8.73E-19	5.56E-21	2.70E-23	3.79E-27	4.29E-30	8.38E-21	8.64E-24	9.58E-29	1.12E-19	2.01E-22
162	3	13/12/94	5.89E-06	8.95E-05	1.66E-05	1.82E-07	3.91E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.31E-04	6.00E-05	4.48E-04	8.42E-07	7.00E-09	4.41E-11	7.97E-15	1.15E-17	6.03E-09	4.61E-12	3.76E-17	9.50E-08	1.45E-10
163	3	01/01/95	5.12E-05	7.16E-05	1.37E-05	1.46E-07	1.04E-04	0.00E+00	0.00E+00	1.01E-04	5.04E-05	4.32E-04	1.40E-06	1.77E-08	1.70E-10	4.64E-14	1.01E-16	6.89E-09	3.61E-12	2.01E-17	1.38E-07	1.83E-10
164	3	17/01/95	0.00E+00	5.12E-05	7.11E-06	6.37E-07	4.35E-05	1.77E-06	3.79E-06	4.59E-05	4.94E-05	2.08E-04	1.11E-06	1.33E-08	1.19E-10	3.05E-14	6.17E-17	5.57E-09	2.96E-12	1.66E-17	1.12E-07	1.47E-10
165	3	02/02/95	0.00E+00	3.58E-05	4.69E-06	0.00E+00	2.61E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.67E-05	2.50E-05	2.03E-04	1.24E-06	4.03E-08	9.64E-10	6.48E-13	3.40E-15	4.73E-09	1.88E-12	7.76E-18	7.03E-08	4.90E-11
166	3	27/02/95	8.11E-06	4.09E-05	5.14E-06	5.46E-08	2.61E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.43E-05	1.69E-05	2.95E-04	1.83E-06	2.93E-08	3.49E-10	1.18E-13	3.12E-16	9.64E-09	5.32E-12	3.08E-17	6.59E-08	3.00E-11
167	3	24/03/95	2.45E-05	3.58E-05	4.52E-06	7.28E-08	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.70E-05	1.82E-05	2.53E-04	1.31E-06	2.15E-08	2.63E-10	9.07E-14	2.45E-16	4.88E-09	1.90E-12	7.79E-18	5.14E-08	2.54E-11
168	3	07/04/95	9.47E-06	2.81E-05	4.11E-06	5.46E-08	1.48E-04	1.06E-05	2.43E-05	3.52E-05	2.00E-05	3.25E-04	5.21E-07	1.15E-08	1.88E-10	8.76E-14	3.21E-16	1.88E-09	7.14E-13	2.85E-18	2.22E-08	1.21E-11
169	3	02/05/95	4.26E-06	3.07E-05	5.55E-06	3.64E-08	1.74E-05	0.00E+00	0.00E+00	4.38E-05	2.72E-05	2.73E-04	9.54E-07	9.76E-09	7.47E-11	1.63E-14	2.79E-17	3.30E-09	1.20E-12	4.63E-18	5.28E-08	3.79E-11
170	3	02/06/95	1.32E-06	3.32E-05	7.48E-06	7.28E-08	2.17E-05	1.13E-05	0.00E+00	6.27E-05	3.80E-05	4.08E-04	1.39E-06	1.34E-08	9.78E-11	2.03E-14	3.35E-17	3.61E-09	9.97E-13	2.92E-18	1.04E-07	1.03E-10
171	3	28/06/95	3.11E-05	2.81E-05	8.14E-06	0.00E+00	3.04E-05	0.00E+00	0.00E+00	5.73E-05	3.50E-05	1.24E-04	2.95E-06	2.44E-08	1.52E-10	2.69E-14	3.76E-17	6.07E-09	1.32E-12	3.03E-18	2.05E-07	1.85E-10
172	3	18/07/95	0.00E+00	1.53E-05	1.81E-06	5.46E-08	1.30E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.64E-05	1.90E-05	1.33E-04	5.87E-07	1.75E-08	3.84E-10	2.36E-13	1.12E-15	9.05E-10	1.45E-13	2.40E-19	2.60E-08	1.39E-11
173	3	19/09/95	2.79E-06	2.30E-05	5.88E-06	1.09E-07	1.74E-05	0.00E+00	0.00E+00	6.66E-05	2.95E-05	2.17E-04	8.16E-07	1.78E-08	2.87E-10	1.31E-13	4.64E-16	1.35E-09	2.34E-13	4.23E-19	5.33E-08	4.33E-11
174	3	10/10/95	8.58E-06	2.05E-05	1.14E-05	1.64E-07	8.26E-05	0.00E+00	1.93E-05	1.42E-04	2.95E-05	4.97E-04	1.47E-06	4.03E-08	8.31E-10	4.87E-13	2.25E-15	6.96E-09	3.49E-12	1.84E-17	9.05E-08	7.22E-11
175	3	06/11/95	8.68E-06	1.79E-05	7.73E-06	1.64E-07	3.04E-05	1.08E-05	0.00E+00	5.48E-05	2.52E-05	2.08E-04	1.74E-06	9.58E-09	3.99E-11	4.77E-15	4.55E-18	8.30E-09	4.22E-12	2.29E-17	8.09E-08	5.07E-11
176	3	05/12/95	1.95E-06	2.81E-05	1.50E-05	2.37E-07	6.09E-05	0.00E+00	7.58E-06	1.55E-04	3.52E-05	4.06E-04	1.49E-05	2.44E-07	3.02E-09	1.07E-12	2.98E-15	8.27E-08	4.87E-11	3.04E-16	1.02E-06	9.30E-10
177	3	05/01/96	1.32E-05	1.79E-05	1.63E-05	1.82E-07	6.09E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.25E-04	6.94E-05	3.79E-04	2.55E-06	3.24E-08	3.10E-10	8.50E-14	1.85E-16	1.43E-08	8.48E-12	5.35E-17	3.47E-07	6.27E-10
178	3	21/02/96	1.49E-05	1.28E-05	8.18E-06	1.82E-08	3.91E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.30E-04	3.83E-05	3.97E-04	2.29E-06	2.74E-08	2.46E-10	6.30E-14	1.27E-16	3.01E-09	4.17E-13	6.12E-19	1.78E-07	1.79E-10
179	3	30/05/96	1.12E-05	1.28E-05	1.34E-05	1.09E-07	3.91E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.19E-04	4.99E-05	4.15E-04	1.99E-06	3.06E-08	3.53E-10	1.16E-13	3.04E-16	1.05E-08	5.89E-12	3.49E-17	2.01E-07	2.66E-10
180	3	12/06/96	6.63E-06	5.12E-06	7.94E-06	1.09E-07	5.22E-05	1.11E-05	0.00E+00	5.73E-05	2.68E-05	2.80E-04	1.98E-06	4.60E-08	7.93E-10	3.86E-13	1.48E-15	4.85E-09	1.24E-12	3.34E-18	1.15E-07	8.39E-11
181	3	25/06/96	1.33E-05	1.28E-05	9.70E-06	2.00E-07	4.35E-05	2.42E-05	0.00E+00	6.55E-05	3.23E-05	2.80E-04	2.81E-07	2.73E-09	1.99E-11	4.13E-15	6.81E-18	9.48E-10	3.39E-13	1.28E-18	1.81E-08	1.53E-11
182	3	08/07/96	1.07E-05	1.28E-05	1.20E-05	1.64E-07	3.91E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.04E-04	2.50E-05	4.24E-04	2.51E-06	3.88E-08	4.50E-10	1.48E-13	3.85E-16	4.93E-09	1.02E-12	2.24E-18	1.29E-07	8.60E-11
183	3	31/07/96	1.46E-05	1.28E-05	1.43E-05	1.46E-07	6.09E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.36E-04	2.92E-05	3.97E-04	1.55E-06	2.82E-08	3.85E-10	1.49E-13	4.55E-16	4.44E-09	1.34E-12	4.27E-18	9.40E-08	7.36E-11
184	3	14/11/96	7.95E-06	1.02E-05	8.39E-06	7.28E-08	4.35E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.01E-04	2.09E-05	5.61E-04	2.06E-06	3.92E-08	5.58E-10	2.26E-13	7.25E-16	8.84E-09	4.00E-12	1.91E-17	8.90E-08	4.99E-11
185	3	05/12/96	5.47E-06	5.12E-06	4.36E-06	0.00E+00	3.04E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.99E-05	1.75E-05	3.90E-04	1.70E-06	3.28E-08	4.70E-10	1.91E-13	6.06E-16	1.50E-09	1.40E-13	1.36E-19	6.43E-08	3.06E-11
186	3	24/12/96	0.00E+00	2.56E-06	5.30E-06	7.28E-08	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	4.52E-05	2.21E-05	5.49E-04	1.82E-06	3.74E-08	5.73E-10	2.49E-13	8.51E-16	1.99E-09	2.28E-13	2.75E-19	8.52E-08	5.10E-11
187	3	11/02/97																				



1	2	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	
1	N°	Date	AIP04°	AIPH04 +	AIH2P04 2+	AIOSI(OH)3 2+	AIF 2+	AIF2 +	AIF3 °	AIF4 -	Polymères	Al organique	Force ionique	Activités (moles/l)				
2			[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[moles d'Al/l]	[moles d'Al/l]	moles/l	(Ca 2+)	(Mg 2+)	(K +)	(Na +)	(Al 3+)
147	3	01/02/94	2.51E-07	1.58E-08	2.82E-09	8.49E-11	1.28E-06	6.20E-06	8.09E-07	3.53E-09	1.53E-06	1.02E-10	4.56E-04	1.32E-05	4.45E-06	3.00E-05	1.23E-04	2.30E-07
148	3	09/02/94	8.42E-08	5.31E-09	9.38E-10	3.18E-11	2.51E-06	3.89E-06	1.61E-07	2.20E-10	6.22E-07	1.51E-06	2.93E-04	9.33E-06	2.66E-06	1.41E-05	7.59E-06	1.14E-07
149	3	03/03/94	1.13E-07	1.15E-08	3.34E-09	9.78E-10	1.45E-06	1.92E-07	6.81E-10	8.10E-14	5.06E-05	6.38E-06	5.09E-04	3.14E-05	1.51E-05	2.49E-05	6.36E-05	6.92E-07
150	3	24/03/94	6.17E-21	7.77E-22	2.76E-22	8.16E-11	1.83E-06	2.02E-07	5.98E-10	5.92E-14	8.90E-07	1.16E-05	4.70E-04	3.96E-06	3.69E-06	4.17E-05	3.35E-05	2.48E-07
151	3	19/04/94	3.31E-21	4.89E-22	2.05E-22	5.09E-11	2.07E-06	2.67E-07	9.25E-10	1.07E-13	2.25E-06	8.39E-06	4.92E-04	3.10E-06	3.80E-06	3.74E-05	1.70E-05	1.84E-07
152	3	26/05/94	4.91E-21	9.15E-22	4.89E-22	1.69E-10	8.03E-06	7.90E-06	2.13E-07	1.94E-10	0.00E+00	3.70E-06	8.21E-04	5.45E-06	9.89E-06	8.92E-05	3.50E-05	4.37E-07
153	3	09/06/94	6.66E-21	1.97E-21	1.67E-21	3.61E-10	3.59E-06	1.78E-07	2.43E-10	1.13E-14	0.00E+00	2.19E-05	9.84E-04	6.37E-06	9.67E-06	9.14E-05	3.36E-05	1.55E-06
154	3	21/07/94	3.45E-20	3.61E-21	1.07E-21	2.38E-10	5.19E-06	2.93E-06	4.46E-08	2.27E-11	0.00E+00	4.05E-06	4.98E-04	7.75E-06	5.21E-06	7.73E-05	2.97E-05	9.83E-07
155	3	01/08/94	5.24E-20	3.54E-21	6.72E-22	8.27E-11	1.58E-06	4.04E-06	2.76E-07	6.22E-10	6.26E-07	0.00E+00	3.29E-04	2.71E-06	2.01E-06	5.76E-05	1.28E-05	6.25E-07
156	3	13/08/94	2.31E-20	2.59E-21	8.23E-22	8.93E-11	3.91E-06	2.27E-06	3.55E-08	1.85E-11	0.00E+00	2.65E-06	4.77E-04	3.49E-06	3.51E-06	7.74E-05	1.70E-05	7.46E-07
157	3	20/08/94	3.35E-20	3.84E-21	1.26E-21	8.30E-10	3.08E-06	4.05E-07	1.44E-09	1.72E-13	0.00E+00	1.83E-05	6.00E-04	7.34E-06	7.56E-06	1.02E-04	3.39E-05	1.15E-06
158	3	09/09/94	2.30E-20	2.96E-21	1.08E-21	5.61E-10	5.29E-06	1.97E-06	1.99E-08	6.73E-12	0.00E+00	7.83E-06	5.47E-04	4.54E-06	6.26E-06	8.47E-05	2.80E-05	9.81E-07
159	3	16/09/94	2.31E-20	3.34E-21	1.38E-21	7.52E-10	3.17E-06	4.16E-07	1.49E-09	1.78E-13	0.00E+00	1.48E-05	6.36E-04	5.87E-06	8.31E-06	8.70E-05	3.55E-05	1.26E-06
160	3	29/09/94	3.14E-20	3.53E-21	1.12E-21	5.09E-10	1.03E-06	5.08E-08	6.75E-11	2.99E-15	1.11E-06	1.25E-05	4.94E-04	8.68E-06	6.67E-06	6.24E-05	2.55E-05	1.02E-06
161	3	24/11/94	2.88E-33	8.30E-34	6.92E-34	3.63E-22	6.07E-06	6.63E-07	2.00E-09	2.05E-13	6.63E-06	3.01E-05	1.04E-03	5.11E-06	1.73E-05	8.88E-05	4.20E-05	6.35E-19
162	3	13/12/94	4.81E-21	1.08E-21	6.93E-22	3.35E-10	4.25E-06	4.72E-07	1.44E-09	1.48E-13	0.00E+00	2.35E-05	8.57E-04	7.63E-06	1.46E-05	8.66E-05	3.79E-05	6.30E-07
163	3	01/01/95	1.89E-20	2.80E-21	1.18E-21	6.55E-10	1.03E-05	1.57E-05	6.48E-07	9.05E-10	0.00E+00	5.53E-06	7.38E-04	8.01E-06	1.21E-05	6.95E-05	1.01E-04	1.07E-06
164	3	17/01/95	5.09E-08	8.06E-09	3.63E-09	2.23E-10	8.64E-19	2.72E-32	2.32E-47	6.62E-64	0.00E+00	1.19E-05	5.67E-04	4.53E-06	6.40E-06	4.98E-05	4.24E-05	8.74E-07
165	3	02/02/95	1.03E-19	6.21E-21	1.05E-21	3.94E-10	7.38E-19	6.59E-32	1.57E-46	1.24E-62	1.86E-06	1.00E-05	3.25E-04	4.39E-06	4.32E-06	3.51E-05	2.56E-05	1.03E-06
166	3	27/02/95	3.88E-20	4.67E-21	1.59E-21	3.69E-10	4.01E-06	1.36E-06	1.24E-08	3.80E-12	0.00E+00	8.88E-06	4.68E-04	4.28E-06	4.67E-06	3.99E-05	2.55E-05	1.47E-06
167	3	24/03/95	2.97E-20	3.49E-21	1.16E-21	2.92E-10	4.63E-06	6.75E-06	2.65E-07	3.47E-10	0.00E+00	1.25E-06	4.35E-04	4.39E-06	4.12E-06	3.50E-05	2.12E-05	1.06E-06
168	3	07/04/95	5.26E-07	4.58E-08	1.13E-08	1.48E-10	2.74E-06	2.04E-06	4.09E-08	2.74E-11	3.07E-06	4.62E-06	4.93E-04	4.61E-06	3.72E-06	2.74E-05	1.44E-04	4.17E-07
169	3	02/05/95	8.34E-21	1.55E-21	8.22E-22	1.57E-10	2.67E-06	4.08E-07	1.69E-09	2.35E-13	6.05E-06	8.15E-06	5.64E-04	5.90E-06	4.99E-06	2.99E-05	1.69E-05	7.52E-07
170	3	02/06/95	1.08E-20	2.10E-21	1.17E-21	3.09E-10	1.05E-06	3.67E-08	3.48E-11	1.11E-15	2.80E-06	1.95E-05	6.66E-04	6.48E-06	6.67E-06	3.23E-05	2.11E-05	1.07E-06
171	3	28/06/95	1.65E-20	3.78E-21	2.46E-21	5.13E-10	7.08E-06	7.27E-06	2.03E-07	1.89E-10	9.64E-06	5.44E-09	6.11E-04	6.82E-06	7.29E-06	2.74E-05	2.96E-05	2.30E-06
172	3	18/07/95	4.42E-20	2.92E-21	5.39E-22	1.05E-10	4.71E-19	8.70E-32	4.27E-46	6.92E-62	2.58E-06	1.61E-06	2.53E-04	5.85E-06	1.68E-06	1.51E-05	1.28E-05	4.99E-07
173	3	19/09/95	3.28E-20	2.92E-21	7.33E-22	4.34E-10	1.57E-06	2.97E-07	1.51E-09	2.54E-13	0.00E+00	7.12E-06	3.72E-04	6.27E-06	5.39E-06	2.25E-05	1.70E-05	6.72E-07
174	3	10/10/95	1.71E-06	1.18E-07	2.33E-08	2.09E-09	3.41E-06	1.71E-06	2.31E-08	1.05E-11	4.13E-06	1.67E-05	5.61E-04	9.36E-06	1.03E-05	1.99E-05	8.05E-05	1.16E-06
175	3	06/11/95	4.20E-21	1.42E-21	1.38E-21	1.92E-10	4.87E-06	1.11E-06	6.88E-09	1.45E-12	2.60E-06	2.89E-06	8.11E-04	9.31E-06	6.82E-06	1.73E-05	2.95E-05	1.31E-06
176	3	05/12/95	1.88E-06	2.16E-07	7.07E-08	1.38E-08	1.44E-06	9.92E-08	1.85E-10	1.16E-14	5.92E-06	8.20E-06	6.03E-04	1.23E-05	1.35E-05	2.74E-05	5.93E-05	1.17E-05
177	3	05/01/96	3.38E-20	5.00E-21	2.12E-21	1.48E-09	5.88E-06	2.54E-06	3.00E-08	1.20E-11	6.44E-06	9.27E-06	7.27E-04	2.13E-05	1.45E-05	1.74E-05	5.91E-05	1.95E-06
178	3	21/02/96	2.72E-20	4.31E-21	1.94E-21	1.30E-09	7.06E-06	2.94E-06	3.32E-08	1.26E-11	6.49E-06	1.24E-05	6.03E-04	8.08E-06	7.34E-06	1.24E-05	3.81E-05	1.79E-06
179	3	30/05/96	3.88E-20	4.77E-21	1.67E-21	1.33E-09	5.73E-08	1.92E-06	1.75E-08	5.37E-12	3.96E-06	1.82E-05	6.24E-04	9.91E-06	1.20E-05	1.24E-05	3.81E-05	1.55E-06
180	3	12/06/96	8.49E-20	7.06E-21	1.66E-21	9.65E-10	3.32E-06	1.07E-06	9.32E-09	2.70E-12	3.11E-06	1.13E-05	4.32E-04	1.25E-05	7.23E-06	5.00E-06	5.10E-05	1.61E-06
181	3	25/06/96	2.22E-21	4.34E-22	2.41E-22	6.55E-11	5.17E-06	2.58E-06	3.49E-08	1.59E-11	8.28E-06	5.01E-06	6.39E-04	1.27E-05	8.67E-06	1.24E-05	4.23E-05	2.18E-07
182	3	08/07/96	4.89E-20	6.02E-21	2.10E-21	1.48E-09	4.39E-06	2.02E-06	2.52E-08	1.05E-11	1.58E-05	9.27E-06	5.51E-04	8.85E-06	1.09E-05	1.25E-05	3.81E-05	1.98E-06
183	3	31/07/96	4.26E-20	4.46E-21	1.32E-21	1.40E-09	6.29E-06	3.06E-06	4.02E-08	1.77E-11	0.00E+00	1.63E-05	5.56E-04	1.43E-05	1.28E-05	1.25E-05	5.93E-05	1.22E-06
184	3	14/11/96	6.07E-20	6.07E-21	1.73E-21	1.45E-09	2.60E-06	1.54E-06	2.47E-08	1.32E-11	3.93E-06	7.01E-06	5.70E-04	1.08E-05	7.54E-06	9.96E-06	4.24E-05	1.62E-06
185	3	05/12/96	5.21E-20	5.21E-21	1.47E-21	4.80E-10	1.77E-06	9.10E-07	1.26E-08	5.81E-12	5.53E-06	3.37E-06	4.29E-04	3.55E-06	3.97E-06	5.00E-06	2.97E-05	1.38E-06
186	3	24/12/96	6.25E-20	5.83E-21	1.54E-21	6.20E-10	6.20E-19	6.59E-32	1.89E-46	1.81E-62	3.87E-06	1.11E-05	4.98E-04	4.86E-06	4.80E-06	2.49E-06	2.12E-05	1.45E-06
187	3	11/02/97	4.91E-07	1.55E-08	1.39E-09	4.54E-10	3.72E-07	1.28E-06	1.19E-07	3.70E-10	1.36E-05	6.30E-11	4.79E-04	6.15E-06	4.55E-06	4.99E-06	4.24E-05	3.45E-07
188	3	28/02/97	2.68E-19	1.28E-20	1.74E-21	2.13E-09	6.48E-07	4.01E-07	6.72E-09	3.76E-12	1.10E-05	3.01E-06	5.23E-04	6.60E-06	5.87E-06	4.99E-06	2.54E-05	2.09E-06
189	4	01/02/94	2.07E-07	1.25E-08	2.12E-09	6.44E-11	1.40E-06	6.15E-06	7.29E-07	2.87E-09	4.60E-06	2.78E-09	4.29E-04	1.23E-05	5.17E-06	3.25E-05	1.10E-04	1.73E-07
190	4	09/02/94	2.04E-07	1.09E-08	1.64E-09	9.61E-11	2.61E-06	4.21E-06	1.81E-07	2.57E-10	1.92E-06	1.61E-06	2.81E-04	1.02E-05	3.89E-06	1.48E-05	6.79E-06	3.18E-07
191	4	03/03/94	9.96E-08	9.30E-09	2.46E-09	1.10E-09	2.84E-06	1.03E-06	1.01E-08	3.33E-12	6.28E-05	4.77E-06	5.41E-04	3.71E-05	2.40E-05	2.99E-05	6.78E-05	8.00E-07
192	4	24/03/94	3.20E-08	3.59E-09	1.14E-09	1.35E-10	1.52E-06	1.30E-07	3.00E-10	2.31E-14	3.58E-06	1.34E-05	4.78E-04	5.77E-06	7.05E-06	5.19E-05	3.40E-05	4.23E-07
193	4	19/04/94	1.11E-20	1.50E-21	5.73E-22	1.17E-10	2.98E-06	5.22E-07	2.47E-09	3.91E-13	1.87E-06	9.78E-06	4.88E-04	4.97E-06	6.67E-06	3.74E-05	2.12E-05	5.17E-07
194	4	26/05/94	6.03E-21	1.10E-21	5.73E-22	1.78E-10	1.09E-05	7.58E-06	1.44E-07	9.22E-11	0.00E+00	7.15E-06	8.01E-04	8.39E-06	1.46E-05	7.43E-05	4.17E-05	5.12E-07



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1	N°	Date	Pluviométrie (mm)	pH	ANC	Al total	Ca	Cl	Fe	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	C org.	Al total	Al monomérique	Al 8-OH-Q	Ca	Cl	C min	Fe	
2			ou volume (ml)	20 °C	μéquiv/L	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l
195	4	09/06/94	200	3.19	-320	0.786	0.34	1.59	0.247	0.02	3.20	0.35	0.01	0.80	0.00	0.00	1.76	10.28	68.7	2.91E-05	2.72E-05	2.37E-06	8.56E-06	4.48E-05	1.25E-04	4.42E-06	
196	4	21/07/94	1805	3.46	-204	0.348	0.23	1.97	0.112	0.24	3.00	0.17	0.01	0.70	0.89	0.00	0.79	6.22	40.7	1.29E-05	1.29E-05	1.45E-06	5.81E-06	5.56E-05	1.30E-04	2.01E-06	
197	4	01/08/94	600	3.64	-187	0.224	0.15	1.39	0.052	0.30	2.20	0.07	0.00	0.30	2.45	0.00	0.36	4.13	28.2	8.29E-06	8.03E-06	1.01E-06	3.74E-06	3.92E-05	1.30E-04	9.31E-07	
198	4	13/08/94	262	3.42	-237	0.394	0.21	1.99	0.135	0.19	3.20	0.12	0.00	0.65	2.81	0.00	0.66	5.17	43.8	1.46E-05	1.46E-05	1.27E-06	5.11E-06	5.61E-05	1.30E-04	2.42E-06	
199	4	20/08/94	290	3.40	-326	0.695	0.41	2.88	0.216	0.07	4.40	0.27	0.01	0.90	0.79	0.00	2.62	8.39	72.5	2.58E-05	2.54E-05	1.82E-06	1.02E-05	1.81E-05	1.30E-04	3.87E-06	
200	4	09/09/94	2220	3.36	-244	0.530	0.21	1.90	0.203	0.22	3.00	0.20	0.01	0.71	0.00	0.00	2.47	4.97	63.3	1.96E-05	1.96E-05	1.76E-06	5.24E-06	5.36E-05	1.30E-04	3.63E-06	
201	4	16/09/94	1700	3.35	-251	0.612	0.25	1.95	0.230	0.08	2.70	0.20	0.01	0.75	0.00	0.00	2.32	3.69	74.6	2.27E-05	2.27E-05	2.56E-06	6.29E-06	5.50E-05	1.30E-04	4.12E-06	
202	4	29/09/94	1100	3.47	-222	0.483	0.20	1.44	0.185	0.05	1.90	0.14	0.00	0.50	0.84	0.00	1.27	2.75	56.5	1.79E-05	1.36E-05	1.41E-06	5.01E-06	4.06E-05	1.30E-04	3.31E-06	
203	4	31/10/94	1300	3.18	-303	0.526	0.22	2.21	0.249	0.20	1.70	0.22	0.01	0.70	0.00	0.00	2.28	3.95	69.7	1.95E-05	1.95E-05	1.59E-06	5.39E-06	6.23E-05	1.30E-04	4.46E-06	
204	4	24/11/94	350	3.08	-495	1.251	0.32	3.07	0.476	0.17	3.00	0.44	0.01	1.00	0.00	0.00	3.38	6.85	124.7	4.64E-05	3.10E-05	1.95E-07	7.88E-06	8.66E-05	1.30E-04	8.52E-06	
205	4	13/12/94	1500	3.06	-463	0.858	0.37	3.03	0.309	0.08	2.30	0.36	0.01	0.80	0.00	0.00	3.51	4.93	115.1	3.18E-05	3.18E-05	8.94E-07	9.28E-06	8.54E-05	1.30E-04	5.53E-06	
206	4	01/01/95	350	3.30	-330	1.026	0.42	2.20	0.386	0.29	1.90	0.33	0.01	3.70	0.66	0.00	2.94	5.00	112.6	3.80E-05	3.67E-05	5.45E-07	1.04E-05	6.20E-05	1.30E-04	6.91E-06	
207	4	17/01/95	3200	3.33	-207	0.279	0.19	1.57	0.102	0.00	0.90	0.12	0.03	0.50	0.19	0.00	1.02	3.12	43.7	1.04E-05	9.41E-06	1.23E-06	4.82E-06	4.43E-05	1.30E-04	1.83E-06	
208	4	02/02/95	3400	3.44	-206	0.386	0.18	1.15	0.166	0.00	0.90	0.11	0.00	0.60	0.00	0.00	0.80	1.83	54.9	1.43E-05	1.13E-05	1.44E-06	4.39E-06	3.24E-05	1.30E-04	2.97E-06	
209	4	27/02/95	3200	3.46	-348	0.477	0.23	1.77	0.223	0.15	1.00	0.12	0.00	0.50	0.00	0.00	0.98	1.37	86.3	1.77E-05	1.77E-05	2.23E-06	5.79E-06	4.99E-05	1.30E-04	3.99E-06	
210	4	24/03/95	2800	3.40	-331	0.469	0.16	1.44	0.209	0.09	0.90	0.11	0.00	0.50	0.00	0.00	1.05	1.62	83.0	1.74E-05	1.74E-05	1.49E-06	3.99E-06	4.06E-05	1.30E-04	3.74E-06	
211	4	07/04/95	1325	3.54	-317	0.439	0.18	1.41	0.215	0.17	0.80	0.10	0.00	1.00	0.00	0.87	1.18	1.60	80.0	1.63E-05	9.67E-06	1.60E-06	4.57E-06	3.98E-05	1.30E-04	3.85E-06	
212	4	02/05/95	1600	3.20	-307	0.615	0.26	1.40	0.278	0.07	0.80	0.14	0.00	0.50	0.00	0.00	1.30	2.53	77.1	2.28E-05	1.69E-05	1.09E-06	6.49E-06	3.95E-05	1.30E-04	4.98E-06	
213	4	02/06/95	2730	3.18	-437	0.675	0.21	0.96	0.323	0.00	0.90	0.15	0.00	0.60	0.00	0.00	1.81	3.25	112.4	2.50E-05	1.47E-05	1.46E-06	5.34E-06	2.71E-05	1.30E-04	5.78E-06	
214	4	28/06/95	1450	3.17	-504	0.793	0.29	1.45	0.339	0.63	0.90	0.18	0.00	2.20	0.00	1.76	1.81	3.26	130.0	2.94E-05	1.62E-05	2.68E-06	7.34E-06	4.09E-05	1.30E-04	6.07E-06	
215	4	18/07/95	1830	3.58	-157	0.130	0.21	0.59	0.024	0.00	0.70	0.05	0.00	0.30	0.00	0.00	0.50	2.28	36.7	4.82E-06	4.82E-06	5.80E-07	5.34E-06	1.66E-05	1.57E-04	4.30E-07	
216	4	17/08/95	575	3.86	-260	0.253	0.17	2.73	0.093	0.00	0.90	0.07	0.00	0.90	0.99	0.00	0.80	2.74	47.8	9.38E-06	2.81E-06	1.15E-06	4.34E-06	7.70E-05	1.57E-04	1.67E-06	
217	4	19/09/95	2950	3.53	-264	0.300	0.23	0.30	0.133	0.06	0.70	0.14	0.01	0.50	0.00	0.00	2.02	2.73	66.3	1.11E-05	1.11E-05	1.43E-06	5.79E-06	8.46E-06	1.57E-04	2.38E-06	
218	4	10/10/95	1650	3.63	-522	0.743	0.30	1.28	0.334	0.52	0.70	0.21	0.01	0.70	0.00	0.00	3.06	2.66	127.5	2.75E-05	2.69E-05	3.64E-06	7.46E-06	3.61E-05	1.57E-04	5.98E-06	
219	4	06/11/95	550	2.97	-195	0.342	0.37	2.03	0.111	0.14	0.50	0.18	0.01	0.70	0.00	0.00	1.80	2.88	48.8	1.27E-05	1.27E-05	1.42E-06	9.21E-06	5.72E-05	1.57E-04	1.99E-06	
220	4	05/12/95	950	3.32	-357	0.981	0.40	1.82	0.485	0.06	0.70	0.35	0.01	0.90	0.00	0.00	5.44	3.63	97.5	3.64E-05	2.90E-05	3.96E-06	9.98E-06	5.13E-05	1.57E-04	8.68E-06	
221	4	05/01/96	2180	3.31	-275	0.749	0.83	1.12	0.360	0.24	0.70	0.37	0.01	1.50	0.00	0.00	4.09	4.34	85.0	2.78E-05	2.14E-05	2.85E-06	2.08E-05	3.16E-05	1.57E-04	6.45E-06	
222	4	21/02/96	1480	3.26	-374	0.736	0.45	0.51	0.346	0.25	0.40	0.27	0.01	1.00	0.00	0.00	2.84	4.35	100.0	2.73E-05	2.73E-05	2.34E-06	1.12E-05	1.44E-05	5.00E-05	6.20E-06	
223	4	30/05/96	2010	3.66	-336	0.767	0.41	1.50	0.382	0.12	0.30	0.27	0.01	0.90	0.00	0.00	3.19	3.48	87.5	2.84E-05	2.12E-05	3.06E-06	1.02E-05	4.22E-05	5.00E-05	6.84E-06	
224	4	12/06/96	860	3.56	-272	0.521	0.29	0.63	0.275	0.06	0.20	0.16	0.01	0.90	0.63	0.00	1.92	2.53	62.2	1.93E-05	1.72E-05	1.90E-06	7.31E-06	1.78E-05	5.00E-05	4.92E-06	
225	4	25/06/96	335	3.63	-358	0.707	0.74	1.56	0.376	0.25	0.60	0.27	0.01	1.20	1.21	0.00	2.65	3.29	85.0	2.62E-05	1.57E-05	1.98E-07	1.84E-05	4.40E-05	5.00E-05	6.73E-06	
226	4	08/07/96	800	3.40	-337	0.875	0.39	0.72	0.447	0.15	0.30	0.27	0.01	0.90	0.00	0.00	3.16	2.40	100.0	3.24E-05	1.77E-05	2.47E-06	9.68E-06	2.03E-05	5.00E-05	8.00E-06	
227	4	31/07/96	370	3.42	-348	0.696	0.64	1.01	0.436	0.23	0.30	0.29	0.01	1.40	0.00	0.00	3.67	2.78	105.0	2.58E-05	2.46E-05	3.26E-06	1.59E-05	2.85E-05	5.00E-05	7.81E-06	
228	4	15/08/96	850	3.88	-296	0.286	0.29	1.08	0.156	0.20	0.40	0.13	0.01	0.60	0.56	0.00	1.91	2.17	67.5	1.06E-05	1.06E-05	1.13E-06	7.16E-06	3.05E-05	5.00E-05	2.79E-06	
229	4	16/09/96	600	3.87	-181	0.197	0.17	0.38	0.091	0.14	0.30	0.07	0.01	1.10	0.60	0.37	0.99	1.68	47.5	7.31E-06	3.54E-06	7.94E-07	4.24E-06	1.07E-05	5.00E-05	1.63E-06	
230	4	14/11/96	7220	3.54	-536	0.364	0.42	1.19	0.167	0.14	0.20	0.16	0.01	0.80	0.00	0.00	2.29	1.94	133.0	1.35E-05	1.07E-05	1.70E-06	1.05E-05	3.36E-05	5.00E-05	2.99E-06	
231	4	05/12/96	4020	3.57	-500	0.316	0.19	0.32	0.139	0.08	0.10	0.09	0.00	0.50	0.00	0.00	0.92	1.83	121.2	1.17E-05	6.90E-06	1.90E-06	4.77E-06	9.02E-06	5.00E-05	2.49E-06	
232	4	24/12/96	1880	3.86	-436	0.378	0.23	0.34	0.174	0.00	0.10	0.11	0.01	0.50	0.00	0.00	1.03	2.12	110.9	1.40E-05	1.14E-05	1.44E-06	5.71E-06	9.59E-06	5.00E-05	3.12E-06	
233	4	11/02/97	210	3.90	-659	0.515	0.34	0.14	0.252	0.09	0.10	0.14	0.01	1.00	0.50	0.00	1.71	2.32	166.1	1.91E-05	7.44E-06	8.30E-07	8.46E-06	3.95E-06	5.00E-05	4.51E-06	
234	4	28/02/97	1700	3.84	-359	0.487	0.29	0.42	0.232	0.15	0.10	0.16	0.01	0.60	0.00	0.00	1.69	3.18	88.1	1.80E-05	7.08E-06	2.51E-06	7.21E-06	1.18E-05	5.00E-05	4.15E-06	
235	1+2	09/06/94	250	3.30	-268	0.561	0.22	2.91	0.223	0.00	7.30	0.10	0.01	0.70	1.00	0.00	1.59	10.02	59.4	2.08E-05	1.89E-05	1.63E-06	5.36E-06	8.21E-05	1.25E-04	3.99E-06	
236	1+2	24/11/94	350	3.10	-510	0.849	0.35	8.09	0.359	0.16	14.00	0.58	0.02	1.10	0.00	0.00	4.58	19.27	98.2	3.15E-05	2.99E-05	9.34E-07	8.76E-06	2.28E-04	1.30E-04	6.43E-06	
237																											



	1	2	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	
1	N°	Date	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	Fulvate	Al 3+	Al(OH) 2+	Al(OH)2 +	Al(OH)3°	Al(OH)4 -	AlCl 2+	AlCl2 +	AlCl3°	AlSO4 +	Al(SO4)2 -	
2			moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l
195	4	09/06/94	8.95E-07	8.18E-05	1.44E-05	1.64E-07	3.48E-05	0.00E+00	0.00E+00	6.27E-05	1.07E-04	2.48E-04	1.94E-06	1.91E-08	1.41E-10	3.01E-14	5.10E-17	7.21E-09	2.85E-12	1.20E-17	3.99E-07	1.10E-09	
196	4	21/07/94	1.25E-05	7.67E-05	6.78E-06	9.10E-08	3.04E-05	1.44E-05	0.00E+00	2.81E-05	6.47E-05	1.47E-04	1.25E-06	2.34E-08	3.27E-10	1.29E-13	4.04E-16	5.97E-09	3.00E-12	1.59E-17	1.71E-07	3.00E-10	
197	4	01/08/94	1.57E-05	5.63E-05	2.88E-06	1.82E-08	1.30E-05	3.95E-05	0.00E+00	1.27E-05	4.30E-05	1.02E-04	8.94E-07	2.58E-08	5.49E-10	3.29E-13	1.54E-15	3.09E-09	1.11E-12	4.17E-18	8.64E-08	1.03E-10	
198	4	13/08/94	1.02E-05	8.18E-05	4.89E-06	3.64E-08	2.83E-05	4.53E-05	0.00E+00	2.36E-05	5.38E-05	1.58E-04	1.12E-06	1.91E-08	2.43E-10	8.78E-14	2.50E-16	5.38E-09	2.73E-12	1.45E-17	1.27E-07	1.84E-10	
199	4	20/08/94	3.42E-06	1.13E-04	1.10E-05	9.10E-08	3.91E-05	1.27E-05	0.00E+00	9.33E-05	8.73E-05	2.62E-04	1.52E-06	2.44E-08	2.94E-10	1.01E-13	2.78E-16	1.03E-08	7.47E-12	5.72E-17	2.66E-07	6.16E-10	
200	4	09/09/94	1.17E-05	7.67E-05	8.35E-06	1.27E-07	3.09E-05	0.00E+00	0.00E+00	8.79E-05	5.17E-05	2.28E-04	1.56E-06	2.31E-08	2.56E-10	8.05E-14	2.00E-16	7.14E-09	3.44E-12	1.75E-17	1.67E-07	2.31E-10	
201	4	16/09/94	3.95E-06	6.91E-05	8.06E-06	1.09E-07	3.26E-05	0.00E+00	0.00E+00	8.26E-05	3.84E-05	2.69E-04	2.33E-06	3.37E-08	3.65E-10	1.12E-13	2.72E-16	1.09E-08	5.41E-12	2.82E-17	1.85E-07	1.90E-10	
202	4	29/09/94	2.68E-06	4.86E-05	5.72E-06	7.28E-08	2.17E-05	1.35E-05	0.00E+00	4.52E-05	2.86E-05	2.04E-04	1.30E-06	2.51E-08	3.61E-10	1.46E-13	4.64E-16	4.59E-09	1.70E-12	6.58E-18	8.08E-08	6.31E-11	
203	4	31/10/94	1.06E-05	4.35E-05	8.92E-06	1.64E-07	3.04E-05	0.00E+00	0.00E+00	8.12E-05	4.11E-05	2.52E-04	1.45E-06	1.41E-08	1.03E-10	2.13E-14	3.51E-17	7.62E-09	4.24E-12	2.49E-17	1.19E-07	1.28E-10	
204	4	24/11/94	8.79E-06	7.67E-05	1.80E-05	2.18E-07	4.35E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.20E-04	7.13E-05	4.50E-04	1.70E-07	1.28E-09	7.35E-12	1.21E-15	1.60E-18	1.20E-09	9.10E-13	7.37E-18	2.24E-08	4.03E-11	
205	4	13/12/94	4.26E-06	5.88E-05	1.48E-05	1.64E-07	3.48E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.25E-04	5.13E-05	4.16E-04	8.05E-07	5.83E-09	3.19E-11	5.03E-15	6.34E-18	5.65E-09	4.23E-12	3.39E-17	7.70E-08	9.98E-11	
206	4	01/01/95	1.55E-05	4.86E-05	1.37E-05	1.64E-07	1.61E-04	1.06E-05	0.00E+00	1.05E-04	5.20E-05	4.07E-04	4.86E-07	6.17E-09	5.90E-11	1.62E-14	3.52E-17	2.51E-09	1.38E-12	8.03E-18	4.97E-08	6.77E-11	
207	4	17/01/95	0.00E+00	2.30E-05	4.93E-06	6.19E-07	2.17E-05	3.06E-06	0.00E+00	3.63E-05	3.25E-05	1.58E-04	1.13E-06	1.58E-08	1.64E-10	4.81E-14	1.11E-16	4.34E-09	1.75E-12	7.38E-18	7.85E-08	6.89E-11	
208	4	02/02/95	0.00E+00	2.30E-05	4.48E-06	0.00E+00	2.61E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.84E-05	1.90E-05	1.98E-04	1.35E-06	2.45E-08	3.30E-10	1.25E-13	3.69E-16	3.84E-09	1.14E-12	3.53E-18	5.66E-08	2.94E-11	
209	4	27/02/95	7.74E-06	2.56E-05	5.02E-06	5.46E-08	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.48E-05	1.43E-05	3.12E-04	2.11E-06	3.99E-08	6.59E-10	2.21E-13	6.88E-16	9.16E-09	4.16E-12	1.98E-17	6.52E-08	2.54E-11	
210	4	24/03/95	4.79E-06	2.30E-05	4.65E-06	7.28E-08	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.74E-05	1.69E-05	3.00E-04	1.41E-06	2.31E-08	2.82E-10	9.74E-14	2.64E-16	4.96E-09	1.70E-12	7.09E-18	5.12E-08	2.35E-11	
211	4	07/04/95	8.95E-06	2.05E-05	4.07E-06	7.28E-08	4.35E-05	0.00E+00	9.16E-06	4.20E-05	1.67E-05	2.89E-04	1.07E-06	2.42E-08	4.09E-10	1.95E-13	7.27E-16	3.70E-09	1.35E-12	5.12E-18	3.91E-08	1.79E-11	
212	4	02/05/95	3.42E-06	2.05E-05	5.84E-06	5.46E-08	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	4.63E-05	2.63E-05	2.79E-04	1.02E-06	1.04E-08	8.00E-11	1.74E-14	2.99E-17	3.43E-09	1.22E-12	4.56E-18	5.47E-08	3.79E-11	
213	4	02/06/95	0.00E+00	2.30E-05	6.25E-06	7.28E-08	2.61E-05	0.00E+00	0.00E+00	6.44E-05	3.38E-05	4.06E-04	1.35E-06	1.31E-08	9.56E-11	1.99E-14	3.27E-17	3.09E-09	7.46E-13	1.91E-18	9.09E-08	8.01E-11	
214	4	28/06/95	3.32E-05	2.30E-05	7.36E-06	0.00E+00	9.57E-05	0.00E+00	1.85E-05	6.44E-05	3.39E-05	4.69E-04	2.13E-06	2.01E-08	1.42E-10	2.89E-14	4.67E-17	7.26E-09	2.63E-12	1.01E-17	1.40E-07	1.23E-10	
215	4	18/07/95	0.00E+00	1.79E-05	1.85E-06	3.64E-08	1.30E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.77E-05	2.37E-05	1.33E-04	5.36E-07	1.36E-08	2.53E-10	1.32E-13	5.36E-16	7.93E-10	1.22E-13	1.95E-19	2.92E-08	1.94E-11	
216	4	17/08/95	0.00E+00	2.30E-05	2.80E-06	3.64E-08	3.91E-05	1.60E-05	0.00E+00	2.86E-05	2.85E-05	1.73E-04	1.02E-06	4.92E-08	1.74E-09	1.74E-12	1.35E-14	6.99E-09	4.97E-12	3.67E-17	6.69E-08	5.36E-11	
217	4	19/09/95	3.16E-06	1.79E-05	5.76E-06	1.09E-07	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	7.19E-05	2.84E-05	2.39E-04	1.32E-06	2.93E-08	4.85E-10	2.26E-13	8.21E-16	9.76E-10	7.56E-14	6.12E-20	8.27E-08	6.46E-11	
218	4	10/10/95	2.73E-05	1.79E-05	8.76E-06	1.27E-07	3.04E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.09E-04	2.77E-05	4.60E-04	3.34E-06	9.24E-08	1.91E-09	1.12E-12	5.16E-15	1.03E-08	3.37E-12	1.16E-17	1.96E-07	1.48E-10	
219	4	06/11/95	7.16E-06	1.28E-05	7.52E-06	1.64E-07	3.04E-05	0.00E+00	0.00E+00	6.41E-05	3.00E-05	1.76E-04	1.33E-06	7.88E-09	3.52E-11	4.52E-15	4.61E-18	6.32E-09	3.19E-12	1.72E-17	7.51E-08	5.66E-11	
220	4	05/12/95	2.95E-06	1.79E-05	1.44E-05	1.82E-07	3.91E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.94E-04	3.78E-05	3.52E-04	3.62E-06	4.86E-08	4.89E-10	1.40E-13	3.19E-16	1.57E-08	7.21E-12	3.50E-17	2.76E-07	2.75E-10	
221	4	05/01/96	1.27E-05	1.79E-05	1.53E-05	1.82E-07	6.52E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.46E-04	4.52E-05	3.07E-04	2.57E-06	3.37E-08	3.32E-10	9.30E-14	2.06E-16	6.87E-09	1.94E-12	5.79E-18	2.34E-07	2.78E-10	
222	4	21/02/96	1.29E-05	1.02E-05	1.09E-05	1.09E-07	4.35E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.01E-04	4.53E-05	3.61E-04	2.12E-06	2.48E-08	2.17E-10	5.42E-14	1.07E-16	2.58E-09	3.32E-13	4.51E-19	1.93E-07	2.30E-10	
223	4	30/05/96	6.21E-06	7.67E-06	1.10E-05	1.27E-07	3.91E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.14E-04	3.62E-05	3.16E-04	2.75E-06	8.20E-08	1.82E-09	1.14E-12	5.63E-15	1.00E-08	3.85E-12	1.55E-17	2.15E-07	2.13E-10	
224	4	12/06/96	3.00E-06	5.12E-06	6.54E-06	1.09E-07	3.91E-05	1.02E-05	0.00E+00	6.84E-05	2.63E-05	2.25E-04	1.75E-06	4.18E-08	7.41E-10	3.69E-13	1.44E-15	2.73E-09	4.45E-13	7.58E-19	1.02E-07	7.37E-11	
225	4	25/06/96	1.31E-05	1.53E-05	1.12E-05	2.55E-07	5.22E-05	1.95E-05	0.00E+00	9.43E-05	3.42E-05	3.07E-04	1.79E-07	4.97E-09	1.03E-10	6.02E-14	2.77E-16	6.79E-10	2.71E-13	1.13E-18	1.32E-08	1.23E-11	
226	4	08/07/96	8.00E-06	7.67E-06	1.09E-05	1.64E-07	3.91E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.12E-04	2.50E-05	3.61E-04	2.31E-06	3.76E-08	4.57E-10	1.12E-13	1.58E-16	4.28E-16	4.01E-09	7.36E-13	1.42E-18	1.21E-07	8.09E-11
227	4	31/07/96	1.18E-05	7.67E-06	1.19E-05	1.46E-07	6.09E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.31E-04	2.89E-05	3.79E-04	3.02E-06	5.13E-08	6.52E-10	2.35E-13	6.71E-16	7.33E-09	1.88E-12	5.08E-18	1.80E-07	1.39E-10	
228	4	15/08/96	1.07E-05	1.02E-05	5.43E-06	1.09E-07	2.61E-05	9.03E-06	0.00E+00	6.80E-05	2.26E-05	2.44E-04	1.02E-06	5.13E-08	1.91E-09	1.98E-12	1.61E-14	2.76E-09	7.76E-13	2.27E-18	5.28E-08	3.36E-11	
229	4	16/09/96	7.53E-06	7.67E-06	2.96E-06	1.09E-07	4.78E-05	9.68E-06	3.90E-06	3.53E-05	1.75E-05	1.72E-04	4.15E-07	2.06E-08	7.49E-10	7.63E-13	6.03E-15	3.98E-10	3.97E-14	4.09E-20	1.71E-08	8.48E-12	
230	4	14/11/96	7.58E-06	5.12E-06	6.62E-06	9.10E-08	3.48E-05	0.00E+00	0.00E+00	8.15E-05	2.02E-05	4.80E-04	1.59E-06	3.58E-08	6.02E-10	2.86E-13	1.07E-15	4.59E-09	1.40E-12	4.46E-18	6.83E-08	3.75E-11	
231	4	05/12/96	4.21E-06	2.56E-06	3.70E-06	0.00E+00	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.28E-05	1.90E-05	4.38E-04	1.78E-06	4.33E-08	7.82E-10	3.99E-13	1.60E-15	1.40E-09	1.15E-13	9.87E-20	7.37E-08	3.84E-11	
232	4	24/12/96	0.00E+00	2.56E-06	4.32E-06	1.09E-07	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.67E-05	2.21E-05	4.00E-04	1.31E-06	6.25E-08	2.21E-09	2.20E-12	1.71E-14	1.10E-09	9.69E-14	8.90E-20	6.50E-08	4.01E-11	
233	4	11/02/97	4.84E-06	2.56E-06	5.80E-06	9.10E-08	4.35E-05	8.06E-06	0.00E+00	6.09E-05	2.41E-05	6.00E-04	7.50E-07	3.87E-08	1.49E-09	1.63E-12	1.40E-14	2.55E-10	9.11E-15	3.42E-21	3.91E-08	2.60E-11	
234	4	28/02/97	7.84E-06	2.56E-06	6.58E-06	1.09E-07	2.61E-05	0.00E+00	0.00E+00	6.02E-05	3.31E-05	3.18E-04	2.23E-06	1.02E-07	3.44E-09	3.27E-12	2.43E-14	2.31E-09	2.50E-13	2.83E-19	1.66E-07	1.52E-10	



	1	2	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
1	N°	Date	AlPO4° [moles/l]	AlH2PO4 + [moles/l]	AlH2PO4 2+ [moles/l]	AlOS(OH)3 2+ [moles/l]	AlF 2+ [moles/l]	AlF2 + [moles/l]	AlF3 ° [moles/l]	AlF4 - [moles/l]	Polymères [moles d'Al/l]	Al organique [moles d'Al/l]	Force ionique [moles/l]	Activités (moles/l)				
2														{Ca 2+}	{Mg 2+}	{K +}	{Na +}	{Al 3+}
195	4	09/06/94	1.55E-20	2.95E-21	1.61E-21	4.38E-10	8.03E-07	1.08E-08	3.98E-12	4.95E-17	1.97E-06	2.40E-05	7.79E-04	7.56E-06	1.27E-05	7.93E-05	3.37E-05	1.47E-06
196	4	21/07/94	3.68E-20	3.76E-21	1.09E-21	2.41E-10	4.95E-06	2.75E-06	4.12E-08	2.06E-11	0.00E+00	3.72E-06	4.96E-04	5.26E-06	6.14E-06	7.48E-05	2.97E-05	9.99E-07
197	4	01/08/94	6.15E-20	4.16E-21	7.90E-22	1.20E-10	2.66E-06	4.04E-06	1.64E-07	2.22E-10	2.61E-07	1.53E-07	3.45E-04	3.44E-06	2.65E-06	5.51E-05	1.28E-05	7.41E-07
198	4	13/08/94	2.75E-20	3.08E-21	9.80E-22	1.65E-10	5.08E-06	1.86E-06	1.85E-08	6.13E-12	0.00E+00	6.36E-06	5.09E-04	4.62E-06	4.42E-06	7.98E-05	2.76E-05	8.93E-07
199	4	20/08/94	3.27E-20	3.84E-21	1.29E-21	8.32E-10	2.59E-06	2.36E-07	5.83E-10	4.86E-14	3.27E-07	2.08E-05	6.68E-04	9.08E-06	9.83E-06	1.09E-04	3.80E-05	1.17E-06
200	4	09/09/94	2.86E-20	3.69E-21	1.35E-21	7.44E-10	6.04E-06	2.10E-06	1.97E-08	6.22E-12	0.00E+00	9.73E-06	5.49E-04	4.72E-06	7.52E-06	7.47E-05	3.01E-05	1.23E-06
201	4	16/09/94	4.01E-20	5.29E-21	1.98E-21	1.02E-09	2.88E-06	3.11E-07	9.07E-10	8.86E-14	0.00E+00	1.69E-05	5.40E-04	5.67E-06	7.27E-06	6.73E-05	3.18E-05	1.85E-06
202	4	29/09/94	4.05E-20	4.05E-21	1.14E-21	4.16E-10	1.80E-06	2.21E-07	7.29E-10	7.99E-14	4.27E-06	1.02E-05	4.13E-04	4.58E-06	5.22E-06	4.75E-05	2.13E-05	1.06E-06
203	4	31/10/94	1.14E-20	2.21E-21	1.23E-21	4.18E-10	6.24E-06	1.52E-06	1.01E-08	2.24E-12	0.00E+00	1.01E-05	6.35E-04	4.82E-06	7.98E-06	4.23E-05	2.96E-05	1.13E-06
204	4	24/11/94	7.98E-22	1.96E-22	1.39E-22	5.63E-11	6.00E-06	8.60E-07	3.38E-09	4.53E-13	1.53E-05	2.40E-05	9.18E-04	6.90E-06	1.57E-05	7.42E-05	4.21E-05	1.26E-07
205	4	13/12/94	3.45E-21	8.88E-22	6.56E-22	2.66E-10	3.42E-06	2.11E-07	3.55E-10	2.03E-14	0.00E+00	2.73E-05	8.60E-04	8.16E-06	1.30E-05	5.69E-05	3.37E-05	6.02E-07
206	4	01/01/95	6.66E-21	9.85E-22	4.17E-22	2.37E-10	8.54E-06	2.67E-06	2.28E-08	6.59E-12	1.37E-06	2.49E-05	7.50E-04	9.22E-06	1.22E-05	4.71E-05	1.56E-04	3.70E-07
207	4	17/01/95	1.86E-20	2.57E-21	1.00E-21	2.10E-10	8.46E-19	3.37E-32	3.61E-47	1.29E-63	9.40E-07	8.18E-06	4.40E-04	4.38E-06	4.49E-06	2.25E-05	2.12E-05	9.15E-07
208	4	02/02/95	3.71E-20	3.98E-21	1.20E-21	2.55E-10	8.15E-19	4.20E-32	5.80E-47	2.66E-63	3.06E-06	9.82E-06	3.79E-04	4.03E-06	4.11E-06	2.25E-05	2.55E-05	1.11E-06
209	4	27/02/95	6.11E-20	6.25E-21	1.81E-21	5.09E-10	3.79E-06	1.32E-06	1.24E-08	3.87E-12	0.00E+00	1.03E-05	4.29E-04	5.28E-06	4.57E-06	2.50E-05	2.12E-05	1.71E-06
210	4	24/03/95	3.17E-20	3.73E-21	1.24E-21	3.17E-10	2.89E-06	5.68E-07	3.01E-09	5.31E-13	0.00E+00	1.24E-05	4.39E-04	3.63E-06	4.23E-06	2.25E-05	2.12E-05	1.14E-06
211	4	07/04/95	4.22E-07	3.59E-08	8.61E-09	3.73E-10	2.63E-06	1.89E-06	3.66E-08	2.35E-11	6.60E-06	3.51E-06	3.96E-04	4.18E-06	3.72E-06	2.00E-05	4.25E-05	8.75E-07
212	4	02/05/95	8.92E-21	1.66E-21	8.78E-22	1.77E-10	2.48E-06	2.28E-07	5.69E-10	4.75E-14	5.88E-06	1.31E-05	5.65E-04	5.84E-06	5.25E-06	1.99E-05	2.12E-05	8.04E-07
213	4	02/06/95	1.05E-20	2.06E-21	1.14E-21	3.09E-10	7.88E-19	2.98E-32	3.07E-47	1.06E-63	1.03E-05	1.32E-05	6.35E-04	4.77E-06	5.59E-06	2.24E-05	2.54E-05	1.05E-06
214	4	28/06/95	2.88E-07	5.75E-08	3.28E-08	4.73E-10	4.73E-06	8.34E-06	4.01E-07	6.52E-10	1.32E-05	6.71E-09	7.36E-04	6.51E-06	6.53E-06	2.23E-05	9.29E-05	1.63E-06
215	4	18/07/95	2.94E-20	2.28E-21	4.95E-22	8.80E-11	6.90E-19	7.16E-32	1.98E-46	1.80E-62	0.00E+00	4.24E-06	2.80E-04	4.95E-06	1.72E-06	1.76E-05	1.28E-05	4.52E-07
216	4	17/08/95	1.74E-19	7.07E-21	8.07E-22	5.16E-10	3.58E-19	8.67E-32	5.62E-46	1.20E-61	6.58E-06	1.66E-06	3.05E-04	4.01E-06	2.58E-06	2.26E-05	3.84E-05	8.54E-07
217	4	19/09/95	5.41E-20	4.71E-21	1.15E-21	7.72E-10	1.74E-06	3.65E-07	2.06E-09	3.84E-13	0.00E+00	7.56E-06	3.69E-04	5.31E-06	5.28E-06	1.75E-05	2.13E-05	1.09E-06
218	4	10/10/95	1.82E-19	1.26E-20	2.47E-21	3.68E-09	6.17E-06	8.00E-06	2.80E-07	3.28E-10	6.70E-07	8.78E-06	4.89E-04	6.76E-06	7.93E-06	1.75E-05	2.97E-05	2.67E-06
219	4	06/11/95	3.75E-21	1.19E-21	1.07E-21	1.85E-10	4.88E-06	6.93E-07	2.69E-09	3.53E-13	0.00E+00	5.68E-06	7.62E-04	8.15E-06	6.66E-06	1.24E-05	2.95E-05	1.01E-06
220	4	05/12/95	5.24E-20	7.40E-21	2.97E-21	3.44E-09	2.25E-06	1.64E-07	3.25E-10	2.16E-14	7.40E-06	2.26E-05	5.92E-04	8.96E-06	1.29E-05	1.74E-05	3.81E-05	2.84E-06
221	4	05/01/96	3.63E-20	5.24E-21	2.16E-21	1.80E-09	6.24E-06	2.31E-06	2.33E-08	7.86E-12	6.35E-06	9.99E-06	6.21E-04	1.86E-05	1.37E-05	1.74E-05	6.35E-05	2.00E-06
222	4	21/02/96	2.39E-20	3.88E-21	1.79E-21	9.15E-10	7.07E-06	2.13E-06	1.74E-08	4.80E-12	0.00E+00	1.57E-05	6.23E-04	1.00E-05	9.75E-06	9.95E-06	4.23E-05	1.65E-06
223	4	30/05/96	1.76E-19	1.13E-20	2.07E-21	3.42E-09	3.02E-06	1.03E-06	9.44E-09	2.88E-12	7.25E-06	1.41E-05	4.34E-04	9.30E-06	1.00E-05	7.49E-06	3.82E-05	2.23E-06
224	4	12/06/96	8.02E-20	6.52E-21	1.49E-21	1.05E-09	1.96E-06	2.78E-07	1.05E-09	1.33E-13	2.09E-06	1.31E-05	3.71E-04	6.71E-06	6.00E-06	5.00E-06	3.83E-05	1.44E-06
225	4	25/06/96	1.20E-20	8.33E-22	1.63E-22	1.71E-10	3.91E-06	3.15E-06	6.66E-08	4.98E-11	1.05E-05	8.34E-06	4.73E-04	1.67E-05	1.01E-05	1.50E-05	5.09E-05	1.44E-07
226	4	08/07/96	4.99E-20	5.86E-21	1.95E-21	1.54E-09	3.82E-06	1.32E-06	1.23E-08	3.81E-12	1.47E-05	1.01E-05	5.04E-04	8.76E-06	9.90E-06	7.48E-06	3.82E-05	1.84E-06
227	4	31/07/96	6.96E-20	7.81E-21	2.49E-21	2.46E-09	5.52E-06	2.24E-06	2.45E-08	9.00E-12	1.17E-06	1.36E-05	5.46E-04	1.43E-05	1.07E-05	7.47E-06	5.93E-05	2.39E-06
228	4	15/08/96	1.86E-19	7.25E-21	7.91E-22	1.28E-09	2.29E-06	2.59E-06	7.80E-08	7.78E-11	0.00E+00	4.51E-06	3.08E-04	6.62E-06	5.02E-06	1.00E-05	2.56E-05	8.54E-07
229	4	16/09/96	3.25E-07	1.30E-08	1.44E-09	2.66E-10	8.98E-07	1.32E-06	5.13E-08	6.58E-11	3.77E-06	4.76E-07	2.48E-04	3.95E-06	2.76E-06	7.54E-06	4.70E-05	3.54E-07
230	4	14/11/96	6.59E-20	5.60E-21	1.35E-21	1.07E-09	2.19E-06	1.51E-06	2.80E-08	1.73E-11	2.82E-06	5.26E-06	4.86E-04	9.54E-06	6.00E-06	4.99E-06	3.39E-05	1.27E-06
231	4	05/12/96	8.43E-20	6.69E-21	1.50E-21	5.20E-10	1.21E-06	6.41E-07	9.10E-09	4.30E-12	4.82E-06	3.14E-06	4.16E-04	4.35E-06	3.38E-06	2.50E-06	2.13E-05	1.45E-06
232	4	24/12/96	2.09E-19	8.51E-21	9.74E-22	8.40E-10	4.99E-19	9.28E-32	4.61E-46	7.61E-62	2.59E-06	9.98E-06	3.52E-04	5.25E-06	3.97E-06	2.50E-06	2.13E-05	1.08E-06
233	4	11/02/97	1.51E-19	5.62E-21	5.90E-22	8.64E-10	7.84E-07	7.31E-07	1.84E-08	1.54E-11	1.16E-05	5.08E-06	4.78E-04	7.67E-06	5.26E-06	2.50E-06	4.24E-05	6.02E-07
234	4	28/02/97	2.89E-19	1.23E-20	1.48E-21	2.25E-09	1.40E-06	1.59E-06	4.81E-08	4.83E-11	1.10E-05	1.54E-06	3.52E-04	6.63E-06	6.05E-06	2.50E-06	2.56E-05	1.84E-06
235	1+2	09/06/94	1.80E-20	2.66E-21	1.12E-21	3.50E-10	8.92E-19	2.18E-32	1.46E-47	3.28E-64	1.85E-06	1.73E-05	7.36E-04	4.76E-06	3.79E-06	1.81E-04	2.95E-05	1.01E-06
236	1+2	24/11/94	3.34E-21	7.82E-22	5.35E-22	3.12E-10	6.04E-06	7.68E-07	2.72E-09	3.32E-13	1.55E-06	2.22E-05	1.33E-03	7.47E-06	2.03E-05	3.44E-04	4.60E-05	4.76E-07
237	1+2	01/01/95	5.70E-08	3.36E-09	5.68E-10	9.54E-11	5.10E-06	1.53E-05	1.26E-06	3.50E-09	0.00E+00	3.69E-06	8.35E-04	5.93E-06	1.09E-05	2.80E-04	2.27E-04	5.89E-08
238	1+2	25/06/96	1.81E-21	6.15E-22	6.01E-22	1.44E-10	6.40E-06	1.40E-06	8.47E-09	1.74E-12	1.16E-05	7.34E-06	9.67E-04	2.44E-05	1.60E-05	5.93E-05	7.57E-05	5.64E-07
239	1+2	11/02/97	5.15E-07	8.95E-09	4.40E-10	4.57E-10	8.50E-07	2.81E-06	2.52E-07	7.52E-10	9.18E-06	3.55E-06	5.08E-04	1.39E-05	8.44E-06	2.49E-05	4.67E-05	1.32E-07
240	1+2+3+4	02/05/94	1.30E-08	7.29E-10	1.16E-10	3.38E-10	1.96E-06	4.14E-07	2.36E-09	4.50E-13	0.00E+00	3.4E-05	4.74E-04	4.48E-06	5.34E-06	5.49E-05	4.88E-05	5.08E-07
241	1+2+3+4	05/10/94	3.28E-20	3.85E-21	1.29E-21	7.85E-10	8.62E-19	2.75E-32	2.40E-47	7.03E-64	4.00E-06	2.52E-05	7.16E-04	9.62E-06	9.93E-06	1.69E-04	6.08E-05	1.18E-06
242	1+2+3+4	03/04/96	2.17E-07	2.17E-08	6.19E-09	8.49E-10	4.27E-06	1.50E-06	1.43E-08	4.59E-12	3.18E-06	8.39E-06	6.79E-04	1.66E-05	1.52E-05	4.97E-05	1.01E-04	1.12E-06



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
1	N°	Date	Pluviométrie (mm) ou volume (ml)	pH 20 °C	ANC μéquiv/L	Al total mg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	Fe mg/l	F mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Mn mg/l	Na mg/l	NO3 mg/l	PO4 mg/l	Si mg/l	SO4 mg/l	C org. mg/l	Al total moles/l	Al monomérique moles/l	Al 8-OH-O moles/l	Ca moles/l	Cl moles/l	C min moles/l	Fe moles/l	
243	1+3	05/05/96	170	3.54	-257	0.215	0.73	1.87	0.105	0.24	1.10	0.30	0.02	1.30	4.27	0.29	1.28	6.08	38.8	7.96E-06	7.96E-06	1.19E-06	1.82E-05	5.27E-05	5.00E-05	1.88E-06	
244	1+3	03/10/96	165	3.87	-233	0.180	0.51	0.92	0.093	0.08	1.10	0.18	0.01	1.70	1.07	2.09	1.39	2.15	64.5	6.67E-06	2.65E-06	1.68E-06	1.28E-05	2.59E-05	5.00E-05	1.67E-06	
245	2+3	31/10/94	950	3.14	-378	0.628	0.31	4.36	0.349	0.17	3.10	0.32	0.01	0.90	0.00	0.00	3.23	5.75	82.1	2.33E-05	2.33E-05	1.77E-06	7.71E-06	1.23E-04	1.30E-04	6.25E-06	
246	2+3	15/08/96	410	3.59	-244	0.358	0.49	1.18	0.236	0.25	0.40	0.18	0.01	0.70	0.63	0.27	2.25	2.00	60.0	1.33E-05	9.15E-06	1.83E-06	1.23E-05	3.33E-05	5.00E-05	4.23E-06	
247	2+3	16/09/96	720	3.74	-187	0.204	0.26	0.42	0.100	0.12	0.30	0.07	0.01	1.00	0.46	0.50	1.12	1.52	50.0	7.56E-06	6.64E-06	2.25E-06	6.56E-06	1.18E-05	5.00E-05	1.79E-06	
248	3+4	15/07/94	212	3.52	-385	0.320	0.62	4.81	0.101	0.29	5.30	0.33	0.02	2.00	5.38	0.65	1.35	9.39	58.8	1.19E-05	1.19E-05	1.40E-06	1.55E-05	1.36E-04	1.30E-04	1.81E-06	
249																											
250	Eaux gravitaires A2																										
251	5	01/02/94	1000	3.78	-62	1.490	0.88	1.59	0.424	0.39	1.30	0.17	0.00	2.20	0.16	1.14	2.40	4.48	46.0	5.52E-05	1.26E-05	6.41E-07	2.19E-05	4.48E-05	1.34E-04	7.59E-06	
252	5	03/03/94	250	3.64	251	2.940	2.77	1.11	0.627	0.00	1.20	0.47	0.02	1.30	0.13	0.59	5.84	4.70	29.5	1.09E-04	1.10E-05	1.61E-06	6.91E-05	3.13E-05	1.23E-04	1.12E-05	
253	5	19/04/94	300	3.45	-168	0.667	0.21	1.46	0.127	0.12	0.80	0.07	0.00	0.60	0.05	0.25	1.47	2.30	44.8	2.47E-05	1.50E-05	1.17E-06	5.31E-06	4.12E-05	1.33E-04	2.27E-06	
254	5	26/05/94	310	3.39	-220	0.795	0.26	1.72	0.149	0.56	1.90	0.10	0.00	0.66	0.78	0.00	2.50	5.13	44.2	2.95E-05	2.36E-05	3.49E-06	6.59E-06	4.85E-05	1.42E-04	2.67E-06	
255	5	21/07/94	1350	3.55	-120	0.419	0.38	2.09	0.070	0.26	2.60	0.10	0.00	1.20	0.00	0.00	0.62	4.41	31.5	1.55E-05	1.55E-05	2.29E-06	9.48E-06	5.89E-05	1.30E-04	1.25E-06	
256	5	01/08/94	431	3.52	-166	0.353	0.19	1.76	0.049	0.27	2.70	0.07	0.00	0.50	2.72	0.00	0.61	3.84	27.6	1.31E-05	1.11E-05	1.74E-06	4.69E-06	4.96E-05	1.30E-04	8.77E-07	
257	5	09/09/94	800	3.46	-26	0.511	0.18	2.46	0.098	0.22	3.20	0.09	0.01	0.64	0.00	0.00	2.26	2.42	16.1	1.89E-05	1.77E-05	2.14E-06	4.44E-06	6.94E-05	1.30E-04	1.75E-06	
258	5	16/09/94	320	3.51	-122	0.621	0.26	2.29	0.113	0.12	2.60	0.08	0.00	0.71	0.00	0.00	1.86	2.14	42.7	2.30E-05	1.25E-05	3.65E-06	6.49E-06	6.46E-05	1.30E-04	2.02E-06	
259	5	29/09/94	320	3.52	-120	0.424	0.30	1.73	0.083	0.15	2.10	0.07	0.00	0.50	0.87	0.00	1.26	2.31	31.6	1.57E-05	1.27E-05	1.45E-06	7.53E-06	4.88E-05	1.30E-04	1.49E-06	
260	5	31/10/94	350	3.30	-176	0.632	0.25	2.76	0.144	0.23	2.30	0.11	0.01	0.70	0.00	0.00	2.98	3.08	43.5	2.34E-05	1.89E-05	2.46E-06	6.19E-06	7.78E-05	1.30E-04	2.58E-06	
261	5	13/12/94	250	3.66	-237	0.980	0.40	2.93	0.185	0.12	3.80	0.16	0.01	0.90	0.00	0.00	3.53	3.38	76.7	3.63E-05	2.39E-05	4.03E-06	1.01E-05	8.26E-05	1.30E-04	3.31E-06	
262	5	17/01/95	1550	3.47	-112	0.279	0.17	1.85	0.046	0.00	1.60	0.07	0.04	0.40	0.22	0.00	0.74	2.84	22.9	1.04E-05	7.20E-06	1.36E-06	4.19E-06	5.22E-05	1.30E-04	8.24E-07	
263	5	02/02/95	250	3.69	-70	0.690	0.29	1.36	0.136	0.04	1.70	0.08	0.00	2.10	0.00	1.06	1.27	2.36	42.3	2.56E-05	1.35E-05	2.27E-06	7.16E-06	3.84E-05	1.30E-04	2.44E-06	
264	5	24/03/95	1100	3.54	-226	0.435	0.15	1.60	0.092	0.05	1.50	0.05	0.00	0.60	0.68	0.00	0.71	1.76	56.7	1.61E-05	1.61E-05	1.85E-06	3.67E-06	4.51E-05	1.30E-04	1.65E-06	
265	5	07/04/95	75	3.90	-70	0.652	0.28	1.70	0.132	0.13	1.30	0.06	0.01	4.60	0.70	3.33	1.23	2.01	53.3	2.42E-05	6.12E-06	8.37E-07	6.96E-06	4.79E-05	1.30E-04	2.36E-06	
266	5	02/05/95	400	3.39	-175	0.557	0.23	1.54	0.116	0.05	1.40	0.07	0.00	0.80	0.00	0.00	1.06	2.54	48.6	2.06E-05	1.17E-05	2.77E-06	5.61E-06	4.34E-05	1.30E-04	2.08E-06	
267	5	02/06/95	760	3.30	-228	0.646	0.22	1.53	0.135	0.02	1.70	0.09	0.01	0.80	0.77	0.00	1.41	4.41	53.4	2.40E-05	1.36E-05	1.77E-06	5.44E-06	4.31E-05	1.30E-04	2.42E-06	
268	5	18/07/95	710	3.52	-195	0.291	0.26	1.47	0.035	0.02	1.30	0.04	0.00	0.50	0.94	0.00	1.05	2.99	40.0	1.08E-05	4.86E-06	1.36E-06	6.54E-06	4.15E-05	1.57E-04	6.27E-07	
269	5	17/08/95	380	3.96	-175	0.344	0.23	1.64	0.063	0.00	1.60	0.06	0.00	1.00	1.55	0.00	1.57	2.82	40.0	1.28E-05	7.60E-06	1.68E-06	5.81E-06	4.62E-05	1.57E-04	1.13E-06	
270	5	19/09/95	2075	3.70	-141	0.302	0.17	1.11	0.046	0.11	1.60	0.06	0.00	0.50	0.00	0.00	1.26	2.67	35.0	1.12E-05	9.13E-06	1.46E-06	4.14E-06	3.13E-05	1.57E-04	8.24E-07	
271	5	10/10/95	300	3.79	-226	0.923	0.30	2.11	0.189	0.52	2.00	0.11	0.01	1.30	0.00	0.60	3.06	2.89	65.0	3.42E-05	1.89E-05	4.60E-06	7.39E-06	5.95E-05	1.57E-04	3.38E-06	
272	5	05/12/95	310	3.70	-129	0.739	0.30	2.31	0.167	0.05	2.20	0.14	0.01	1.80	0.96	1.12	4.14	3.70	42.0	2.74E-05	1.89E-05	2.43E-06	7.56E-06	6.51E-05	1.57E-04	2.99E-06	
273	5	05/01/96	510	3.60	-115	0.767	0.74	0.92	0.173	0.17	2.10	0.19	0.01	1.40	0.00	0.00	4.13	5.12	47.5	2.84E-05	1.90E-05	3.09E-06	1.84E-05	2.59E-05	1.57E-04	3.10E-06	
274	5	21/02/96	300	3.52	-136	0.806	0.56	0.51	0.137	0.29	2.00	0.16	0.00	1.80	0.53	0.00	3.48	5.19	52.5	2.99E-05	2.09E-05	3.07E-06	1.40E-05	1.44E-05	5.00E-05	2.45E-06	
275	5	30/05/96	1050	3.65	-130	0.548	0.21	1.33	0.108	0.02	2.20	0.13	0.01	0.90	0.00	0.00	2.27	3.91	40.0	2.03E-05	1.43E-05	3.17E-06	5.11E-06	3.75E-05	5.00E-05	1.93E-06	
276	5	12/06/96	305	3.88	-167	0.479	0.44	1.37	0.122	0.12	1.30	0.12	0.01	1.00	0.54	0.00	2.22	3.17	37.5	1.78E-05	1.56E-05	2.62E-06	1.11E-05	3.86E-05	5.00E-05	2.18E-06	
277	5	08/07/96	250	3.61	-176	0.906	0.34	1.74	0.209	0.22	1.70	0.19	0.01	1.00	0.57	0.00	3.94	3.13	55.0	3.36E-05	1.80E-05	3.49E-06	8.43E-06	4.91E-05	5.00E-05	3.74E-06	
278	5	15/08/96	500	3.78	-109	0.489	0.27	1.47	0.121	0.23	1.60	0.10	0.01	1.00	0.00	0.00	2.39	2.15	37.5	1.81E-05	1.09E-05	1.94E-06	6.61E-06	4.15E-05	5.00E-05	2.17E-06	
279	5	14/11/96	3490	3.61	-312	0.517	0.26	2.10	0.099	0.00	1.70	0.12	0.01	1.00	0.00	0.00	3.00	2.04	84.1	1.92E-05	1.30E-05	2.90E-06	6.36E-06	5.92E-05	5.00E-05	1.77E-06	
280	5	05/12/96	3270	3.78	-193	0.228	0.10	0.33	0.023	0.10	0.50	0.04	0.00	0.40	0.46	0.00	0.58	1.70	44.7	8.47E-06	4.33E-06	1.94E-06	2.47E-06	9.31E-06	5.00E-05	4.12E-07	
281	5	24/12/96	785	3.70	-306	0.443	0.18	0.77	0.087	0.13	0.60	0.08	0.00	0.50	0.00	0.00	1.12	2.41	73.1	1.64E-05	1.29E-05	2.66E-06	4.44E-06	2.17E-05	5.00E-05	1.56E-06	
282	5	28/02/97	310	3.94	-326	0.618	0.31	0.91	0.116	0.02	1.00	0.14	0.01	1.20	0.56	0.38	2.49	4.35	81.8	2.29E-05	8.07E-06	3.38E-06	7.76E-06	2.57E-05	5.00E-05	2.08E-06	
283	6	01/02/94	1000	3.89	-76	0.815	1.00	1.72	0.233	0.51	0.80	0.15	0.01	2.80	0.82	1.05	1.36	4.11	38.3	3.02E-05	1.24E-05	1.19E-06	2.48E-05	4.86E-05	1.34E-04	4.17E-06	
284	6	09/02/94	600	3.92	-102	0.863	0.38	1.20	0.195	0.22	0.42	0.14	0.00	0.14	0.26	0.43	1.32	1.64	30.8	3.20E-05	9.34E-06	1.35E-06	9.43E-06	3.37E-05	1.12E-04	3.49E-06	
285	6	03/03/94	400	3.73	325	3.250	2.20	1.11	0.712	0.00	1.10	0.50	0.02	2.05	0.28	0.79	6.80	4.08	26.3	1.20E-04	1.18E-05	1.24E-06	5.49E-05	3.13E-05	1.23E-04	1.27E-05	
286	6	19/04/94	600	3.46	-139	0.634	0.26	1.53																			



	1	2	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	
1	N°	Date	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	Fulvate	Al 3+	AlOH 2+	Al(OH)2 +	Al(OH)3 <sup>p</sup>	Al(OH)4 -	AlCl 2 +	AlCl2 +	AlCl3 <sup>p</sup>	AlSO4 +	Al(SO4)2 -	
2			moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]
243	1+3	05/05/96	1.27E-05	2.81E-05	1.23E-05	2.91E-07	5.65E-05	6.89E-05	3.05E-06	4.56E-05	6.33E-05	1.40E-04	9.11E-07	2.05E-08	3.44E-10	1.64E-13	6.14E-16	4.12E-09	1.96E-12	9.81E-18	1.22E-07	2.09E-10	
244	1+3	03/10/96	4.21E-06	2.81E-05	7.44E-06	1.64E-07	7.39E-05	1.73E-05	2.20E-05	4.95E-05	2.24E-05	2.33E-04	2.94E-07	1.43E-08	5.19E-10	5.28E-13	4.20E-15	6.68E-10	1.59E-13	3.94E-19	1.48E-08	9.26E-12	
245	2+3	31/10/94	8.68E-06	7.93E-05	1.32E-05	2.18E-07	3.91E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.15E-04	5.99E-05	2.97E-04	1.56E-06	1.36E-08	9.02E-11	1.71E-14	2.58E-17	1.59E-08	1.72E-11	1.99E-16	1.79E-07	2.74E-10	
246	2+3	15/08/96	1.32E-05	1.02E-05	7.24E-06	1.46E-07	3.04E-05	1.02E-05	2.84E-06	8.01E-05	2.08E-05	2.17E-04	1.48E-06	3.78E-08	7.17E-10	3.83E-13	1.60E-15	4.31E-09	1.31E-12	4.19E-18	6.80E-08	3.90E-11	
247	2+3	16/09/96	6.05E-06	7.67E-06	3.00E-06	1.64E-07	4.35E-05	7.42E-06	5.26E-06	3.99E-05	1.58E-05	1.81E-04	1.37E-06	5.01E-08	1.35E-09	1.02E-12	5.98E-15	1.44E-09	1.57E-13	1.79E-19	5.00E-08	2.22E-11	
248	3+4	15/07/94	1.54E-05	1.36E-04	1.37E-05	3.46E-07	8.70E-05	8.68E-05	6.84E-06	4.81E-05	9.77E-05	2.12E-04	9.25E-07	1.95E-08	3.09E-10	1.41E-13	5.08E-16	1.05E-08	1.26E-11	1.61E-16	1.80E-07	4.66E-10	
249																							
250		Eaux gravitaires A2																					
251	5	01/02/94	2.04E-05	3.32E-05	7.03E-06	7.28E-08	9.57E-05	2.64E-06	1.20E-05	8.54E-05	4.66E-05	1.66E-04	2.25E-07	8.87E-09	2.60E-10	2.15E-13	1.40E-15	8.76E-10	3.57E-13	1.53E-18	2.30E-08	2.96E-11	
252	5	03/03/94	0.00E+00	3.07E-05	1.92E-05	3.64E-07	5.65E-05	2.10E-06	6.21E-06	2.08E-04	4.89E-05	1.06E-04	1.02E-06	2.89E-08	6.11E-10	3.66E-13	1.73E-15	2.74E-09	7.74E-13	2.30E-18	1.05E-07	1.38E-10	
253	5	19/04/94	6.32E-06	2.05E-05	2.80E-06	3.64E-08	2.61E-05	8.06E-07	2.63E-06	5.23E-05	2.39E-05	1.62E-04	1.01E-06	1.87E-08	2.57E-10	9.93E-14	3.01E-16	3.64E-09	1.37E-12	5.41E-18	5.31E-08	3.48E-11	
254	5	26/05/94	2.93E-05	4.86E-05	4.28E-06	7.28E-08	2.87E-05	1.26E-05	0.00E+00	8.90E-05	5.34E-05	1.60E-04	3.08E-06	4.91E-08	5.84E-10	1.97E-13	5.22E-16	1.28E-08	5.62E-12	2.59E-17	3.46E-07	4.95E-10	
255	5	21/07/94	1.37E-05	6.65E-05	4.19E-06	5.46E-08	5.22E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.21E-05	4.59E-05	1.14E-04	2.03E-06	4.71E-08	8.13E-10	3.96E-13	1.51E-15	1.04E-08	5.58E-12	3.14E-17	2.03E-07	2.55E-10	
256	5	01/08/94	1.41E-05	6.91E-05	2.71E-06	3.64E-08	2.17E-05	4.39E-05	0.00E+00	2.19E-05	4.00E-05	9.97E-05	1.56E-06	3.39E-08	5.47E-10	2.49E-13	8.86E-16	6.76E-09	3.06E-12	1.45E-17	1.37E-07	1.50E-10	
257	5	09/09/94	1.17E-05	8.18E-05	3.50E-06	1.09E-07	2.78E-05	0.00E+00	0.00E+00	8.05E-05	2.52E-05	5.83E-05	1.98E-06	3.76E-08	5.28E-10	2.09E-13	6.48E-16	1.20E-08	7.65E-12	5.08E-17	1.10E-07	7.58E-11	
258	5	16/09/94	6.47E-06	6.65E-05	3.37E-06	7.28E-08	3.09E-05	0.00E+00	0.00E+00	6.62E-05	2.23E-05	1.54E-04	3.39E-06	7.20E-08	1.14E-09	5.05E-13	1.76E-15	1.91E-08	1.13E-11	6.97E-17	1.65E-07	1.01E-10	
259	5	29/09/94	7.84E-06	5.37E-05	3.00E-06	7.28E-08	2.17E-05	1.40E-05	0.00E+00	4.49E-05	2.40E-05	1.14E-04	1.34E-06	2.93E-08	4.74E-10	2.15E-13	7.65E-16	5.76E-09	2.58E-12	1.21E-17	7.17E-08	4.74E-11	
260	5	31/10/94	1.19E-05	5.88E-05	4.32E-06	1.46E-07	3.04E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.06E-04	3.21E-05	1.57E-04	2.26E-06	2.93E-08	2.83E-10	7.76E-14	1.67E-16	1.51E-08	1.06E-11	7.85E-17	1.52E-07	1.30E-10	
261	5	13/12/94	6.16E-06	9.72E-05	6.41E-06	1.64E-07	3.91E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.26E-04	3.52E-05	2.77E-04	3.62E-06	1.08E-07	2.38E-09	1.50E-12	7.39E-15	2.57E-08	1.92E-11	1.51E-16	2.72E-07	2.61E-10	
262	5	17/01/95	0.00E+00	4.09E-05	3.00E-06	6.37E-07	1.74E-05	3.55E-06	0.00E+00	2.63E-05	2.96E-05	8.26E-05	1.25E-06	2.43E-08	3.50E-10	1.42E-13	4.49E-16	5.73E-09	2.75E-12	1.38E-17	8.22E-08	6.70E-11	
263	5	02/02/95	2.26E-06	4.35E-05	3.41E-06	1.82E-08	9.13E-05	0.00E+00	1.12E-05	4.52E-05	2.46E-05	1.53E-04	1.08E-06	3.50E-08	8.37E-10	5.63E-13	2.96E-15	3.66E-09	1.29E-12	4.75E-18	5.98E-08	4.09E-11	
264	5	24/03/95	2.63E-06	3.84E-05	2.10E-06	5.46E-08	2.61E-05	1.10E-05	0.00E+00	2.52E-05	1.83E-05	2.05E-04	1.73E-06	3.96E-08	6.70E-10	3.19E-13	1.19E-15	6.86E-09	2.84E-12	1.23E-17	7.05E-08	3.56E-11	
265	5	07/04/95	6.84E-06	3.32E-05	2.51E-06	9.10E-08	2.00E-04	1.13E-05	3.51E-05	4.38E-05	2.09E-05	1.92E-04	8.50E-08	4.43E-09	1.72E-10	1.87E-13	1.60E-15	3.56E-10	1.56E-13	7.13E-19	3.97E-09	2.31E-12	
266	5	02/05/95	2.53E-06	3.58E-05	2.75E-06	5.46E-08	3.48E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.77E-05	2.64E-05	1.75E-04	2.57E-06	4.13E-08	4.93E-10	1.66E-13	4.39E-16	9.70E-09	3.83E-12	1.59E-17	1.46E-07	1.04E-10	
267	5	02/06/95	8.42E-07	4.35E-05	3.70E-06	9.10E-08	3.48E-05	1.24E-05	0.00E+00	5.02E-05	4.59E-05	1.93E-04	1.59E-06	2.06E-08	1.99E-10	5.44E-14	1.18E-16	5.87E-09	2.28E-12	9.34E-18	1.52E-07	1.86E-10	
268	5	18/07/95	7.89E-07	3.32E-05	1.69E-06	3.64E-08	2.17E-05	1.52E-05	0.00E+00	3.74E-05	3.11E-05	1.44E-04	1.24E-06	2.71E-08	4.38E-10	1.99E-13	7.08E-16	4.53E-09	1.72E-12	6.85E-18	8.59E-08	7.36E-11	
269	5	17/08/95	0.00E+00	4.09E-05	2.38E-06	5.46E-08	4.35E-05	2.50E-05	0.00E+00	5.59E-05	2.94E-05	1.44E-04	1.48E-06	8.96E-08	4.01E-09	5.02E-12	4.89E-14	6.08E-09	2.60E-12	1.15E-17	1.00E-07	8.33E-11	
270	5	19/09/95	5.58E-06	4.09E-05	2.59E-06	7.28E-08	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	4.49E-05	2.78E-05	1.26E-04	1.33E-06	4.42E-08	1.09E-09	7.47E-13	4.00E-15	3.69E-09	1.07E-12	3.22E-18	8.48E-08	6.61E-11	
271	5	10/10/95	2.74E-06	5.12E-05	4.69E-06	1.09E-07	5.65E-05	0.00E+00	6.32E-06	1.09E-04	3.01E-05	2.35E-04	2.53E-06	1.02E-07	3.08E-09	2.61E-12	1.73E-14	1.32E-08	7.15E-12	4.07E-17	1.69E-07	1.40E-10	
272	5	05/12/95	2.47E-06	5.63E-05	5.59E-06	1.09E-07	7.83E-05	1.55E-05	1.18E-05	1.47E-04	3.85E-05	1.52E-04	1.10E-06	3.60E-08	8.80E-10	6.05E-13	3.26E-15	6.23E-09	3.70E-12	2.30E-17	9.32E-08	9.92E-11	
273	5	05/01/96	9.16E-06	5.37E-05	7.94E-06	1.27E-07	6.09E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.47E-04	5.33E-05	1.72E-04	2.70E-06	7.01E-08	1.35E-09	7.40E-13	3.18E-15	6.04E-09	1.42E-12	3.51E-18	3.09E-07	4.49E-10	
274	5	21/02/96	1.51E-05	5.12E-05	6.62E-06	7.28E-08	7.83E-05	8.55E-06	0.00E+00	1.24E-04	5.40E-05	1.90E-04	2.70E-06	5.80E-08	9.32E-10	4.24E-13	1.52E-15	3.34E-09	4.35E-13	5.96E-19	3.09E-07	4.52E-10	
275	5	30/05/96	1.00E-06	5.63E-05	5.18E-06	9.10E-08	3.91E-05	0.00E+00	0.00E+00	8.08E-05	4.07E-05	1.44E-04	2.82E-06	8.29E-08	1.81E-09	1.11E-12	5.32E-15	9.27E-09	3.19E-12	1.14E-17	2.55E-07	2.86E-10	
276	5	12/06/96	6.53E-06	3.32E-05	4.93E-06	1.27E-07	4.35E-05	8.71E-06	0.00E+00	7.90E-05	3.30E-05	1.35E-04	2.31E-06	1.16E-07	4.32E-09	4.50E-12	3.65E-14	7.92E-09	2.82E-12	1.05E-17	1.74E-07	1.61E-10	
277	5	08/07/96	1.14E-05	4.35E-05	7.69E-06	1.82E-07	4.35E-05	9.19E-06	0.00E+00	1.40E-04	3.26E-05	1.99E-04	3.16E-06	8.44E-08	1.67E-09	9.36E-13	4.10E-15	1.35E-08	6.05E-12	2.84E-17	2.25E-07	2.01E-10	
278	5	15/08/96	1.18E-05	4.09E-05	4.15E-06	1.09E-07	4.35E-05	0.00E+00	0.00E+00	8.51E-05	2.24E-05	1.35E-04	1.77E-06	7.07E-08	2.09E-09	1.73E-12	1.11E-14	6.52E-09	2.50E-12	9.98E-18	9.09E-08	5.71E-11	
279	5	14/11/96	2.21E-07	4.35E-05	4.98E-06	1.27E-07	4.35E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.07E-04	2.12E-05	3.04E-04	2.69E-06	7.16E-08	1.42E-09	7.94E-13	3.48E-15	1.38E-08	7.46E-12	4.21E-17	1.24E-07	7.21E-11	
280	5	05/12/96	5.47E-06	1.28E-05	1.60E-06	0.00E+00	1.74E-05	7.42E-06	0.00E+00	2.05E-05	1.77E-05	1.61E-04	1.79E-06	7.22E-08	2.14E-09	1.77E-12	1.14E-14	1.50E-09	1.30E-13	1.17E-19	7.44E-08	3.72E-11	
281	5	24/12/96	6.89E-06	1.53E-05	3.13E-06	7.28E-08	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.99E-05	2.51E-05	2.64E-04	2.43E-06	8.06E-08	1.97E-09	1.36E-12	7.30E-15	4.66E-09	9.29E-13	1.93E-18	1.38E-07	9.59E-11	
282	5	28/02/97	1.11E-06	2.56E-05	5.84E-06	1.64E-07	5.22E-05	9.03E-06	4.00E-06	8.66E-05	4.53E-05	2.95E-04	1.72E-06	9.84E-08	4.17E-09	4.99E-12	4.67E-14	3.86E-09	9.07E-13	2.23E-18	1.73E-07	2.18E-10	
283	6	01/02/94	2.66E-05	2.05E-05	6.04E-06	9.10E-08	1.22E-04	1.32E-05	1.10E-05	4.84E-05	4.28E-05	1.38E-04	3.29E-07	1.67E-08	6.32E-10	6.74E-13	5.63E-15	1.39E-09	6.18E-13	2.67E-18	3.11E-08	3.70E-11	
284	6	09/02/94	1.15E-05	1.06E-05	5.72E-06	5.46E-08</																	



	1	2	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
1	N°	Date	AlPO4°	AlH2PO4 +	AlH2PO4 2+	AlOS(OH)3 2+	AIF 2+	AIF2 +	AIF3 °	AIF4 -	Polymères	Al organique	Force ionique	Activités (moles/l)				
2			[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[molesd'Al/l]	[moles d'Al/l]	moles/l	{Ca 2+}	{Mg 2+}	{K +}	{Na +}	{Al 3+}
243	1+3	05/05/96	1.19E-07	1.01E-08	2.43E-09	3.42E-10	2.90E-06	3.06E-06	8.69E-08	8.26E-11	0.00E+00	7.21E-07	5.10E-04	1.64E-05	1.11E-05	2.74E-05	5.51E-05	7.26E-07
244	1+3	03/10/96	1.30E-06	5.17E-08	5.78E-09	2.60E-10	5.17E-07	4.78E-07	1.28E-08	1.14E-11	4.01E-06	2.58E-09	3.57E-04	1.17E-05	6.84E-06	2.75E-05	7.24E-05	2.43E-07
245	2+3	31/10/94	9.85E-21	2.11E-21	1.29E-21	5.74E-10	5.78E-06	9.47E-07	4.24E-09	6.43E-13	0.00E+00	1.48E-05	7.89E-04	6.81E-06	1.17E-05	7.68E-05	3.79E-05	1.18E-06
246	2+3	15/08/96	2.22E-07	1.68E-08	3.59E-09	1.11E-09	2.84E-06	3.20E-06	9.67E-08	9.69E-11	4.11E-06	1.18E-06	3.67E-04	1.13E-05	6.64E-06	1.00E-05	2.98E-05	1.22E-06
247	2+3	16/09/96	7.33E-07	3.93E-08	5.91E-09	7.32E-10	1.70E-06	1.18E-06	2.17E-08	1.32E-11	9.30E-07	1.48E-06	2.74E-04	6.09E-06	2.79E-06	7.53E-06	4.42E-05	1.16E-06
248	3+4	15/07/94	2.37E-07	2.11E-08	5.39E-09	3.43E-10	4.00E-06	3.91E-06	1.04E-07	9.39E-11	0.00E+00	2.45E-06	7.38E-04	1.38E-05	1.22E-05	1.31E-04	8.47E-05	7.06E-07
249																		
250		Eaux gravitaires A2																
251	5	01/02/94	3.62E-07	1.77E-08	2.45E-09	2.77E-10	3.39E-06	5.64E-06	2.52E-07	3.74E-10	4.26E-05	2.69E-06	4.27E-04	2.00E-05	6.41E-06	3.25E-05	9.35E-05	1.83E-07
252	5	03/03/94	4.15E-07	2.80E-08	5.37E-09	2.19E-09	8.27E-19	4.07E-32	5.42E-47	2.41E-63	9.80E-05	9.39E-06	5.15E-04	6.25E-05	1.74E-05	2.99E-05	5.51E-05	8.12E-07
253	5	19/04/94	7.70E-08	8.06E-09	2.37E-09	3.58E-10	3.80E-06	8.58E-07	5.19E-09	1.04E-12	9.73E-06	9.15E-06	3.74E-04	4.87E-06	2.56E-06	2.00E-05	2.55E-05	8.31E-07
254	5	26/05/94	6.31E-20	7.58E-21	2.58E-21	1.60E-09	9.49E-06	8.03E-06	1.83E-07	1.40E-10	5.89E-06	2.38E-06	5.00E-04	5.96E-06	3.87E-06	4.74E-05	2.80E-05	2.46E-06
255	5	21/07/94	8.73E-20	7.26E-21	1.70E-21	3.82E-10	5.91E-06	3.03E-06	4.17E-08	1.91E-11	0.00E+00	4.27E-06	4.18E-04	8.65E-06	3.83E-06	6.50E-05	5.10E-05	1.65E-06
256	5	01/08/94	6.05E-20	5.40E-21	1.35E-21	2.72E-10	4.62E-06	3.45E-06	6.92E-08	4.61E-11	1.99E-06	1.23E-06	3.96E-04	4.29E-06	2.48E-06	6.75E-05	2.13E-05	1.28E-06
257	5	09/09/94	5.83E-20	5.96E-21	1.72E-21	1.11E-09	7.56E-06	1.68E-06	1.00E-08	1.98E-12	1.22E-06	6.33E-06	3.81E-04	4.07E-06	3.20E-06	8.01E-05	2.72E-05	1.63E-06
258	5	16/09/94	1.17E-19	1.07E-20	2.74E-21	1.75E-09	3.46E-06	1.01E-06	7.93E-09	2.06E-12	1.05E-05	4.40E-06	3.83E-04	5.94E-06	3.09E-06	6.50E-05	3.02E-05	2.78E-06
259	5	29/09/94	5.30E-20	4.72E-21	1.18E-21	4.82E-10	4.21E-06	1.30E-06	1.08E-08	2.95E-12	3.01E-06	5.74E-06	3.55E-04	6.92E-06	2.76E-06	5.26E-05	2.13E-05	1.11E-06
260	5	31/10/94	3.14E-20	4.64E-21	1.94E-21	1.14E-09	6.89E-06	1.91E-06	1.43E-08	3.58E-12	4.52E-06	7.61E-06	5.09E-04	5.59E-06	3.90E-06	5.73E-05	2.97E-05	1.80E-06
261	5	13/12/94	2.17E-19	1.40E-20	2.56E-21	4.95E-09	3.36E-06	9.56E-07	7.34E-09	1.88E-12	1.25E-05	1.55E-05	4.67E-04	9.13E-06	5.82E-06	9.49E-05	3.82E-05	2.91E-06
262	5	17/01/95	3.96E-20	3.96E-21	1.11E-21	2.34E-10	8.63E-19	3.62E-32	4.06E-47	1.51E-63	3.15E-06	5.84E-06	3.43E-04	3.86E-06	2.76E-06	4.01E-05	1.70E-05	1.04E-06
263	5	02/02/95	1.02E-06	6.13E-08	1.04E-08	5.79E-10	1.48E-06	2.00E-07	7.38E-10	9.00E-14	1.21E-05	9.55E-06	3.45E-04	6.59E-06	3.14E-06	4.26E-05	8.95E-05	8.95E-07
264	5	24/03/95	7.32E-20	6.23E-21	1.49E-21	3.66E-10	1.81E-06	2.18E-07	7.04E-10	7.54E-14	0.00E+00	1.22E-05	3.56E-04	3.37E-06	1.93E-06	3.76E-05	2.55E-05	1.43E-06
265	5	07/04/95	7.14E-07	2.65E-08	2.77E-09	7.12E-11	1.18E-06	1.31E-06	3.87E-08	3.81E-11	1.80E-05	2.75E-06	3.92E-04	6.37E-06	2.30E-06	3.25E-05	1.96E-04	6.96E-08
266	5	02/05/95	5.40E-20	6.49E-21	2.20E-21	5.71E-10	1.78E-06	1.84E-07	5.09E-10	4.69E-14	8.97E-06	6.95E-06	4.17E-04	5.12E-06	2.51E-06	3.50E-05	3.40E-05	2.09E-06
267	5	02/06/95	2.22E-20	3.29E-21	1.38E-21	3.78E-10	6.97E-07	1.83E-08	1.30E-11	3.08E-16	1.03E-05	1.11E-05	5.19E-04	4.91E-06	3.34E-06	4.24E-05	3.39E-05	1.26E-06
268	5	18/07/95	4.92E-20	4.39E-21	1.10E-21	3.71E-10	4.83E-07	3.59E-08	7.16E-11	4.73E-15	5.91E-06	2.98E-06	3.54E-04	6.01E-06	1.55E-06	3.25E-05	2.13E-05	1.03E-06
269	5	17/08/95	3.25E-19	1.05E-20	9.51E-22	1.83E-09	5.99E-19	9.46E-32	3.98E-46	5.54E-62	5.17E-06	5.92E-06	2.82E-04	5.39E-06	2.21E-06	4.01E-05	4.27E-05	1.25E-06
270	5	19/09/95	1.15E-19	6.78E-21	1.12E-21	7.27E-10	2.46E-06	9.82E-07	1.04E-08	3.66E-12	2.06E-06	4.21E-06	2.84E-04	3.84E-06	2.40E-06	4.01E-05	2.13E-05	1.12E-06
271	5	10/10/95	1.69E-06	8.07E-08	1.09E-08	4.08E-09	4.60E-06	8.26E-06	3.99E-07	6.39E-10	1.53E-05	1.06E-06	3.86E-04	6.76E-06	4.29E-06	5.00E-05	5.53E-05	2.07E-06
272	5	05/12/95	1.12E-06	6.59E-08	1.09E-08	1.94E-09	1.74E-06	1.97E-07	6.00E-10	6.06E-14	8.51E-06	1.45E-05	3.99E-04	6.91E-06	5.11E-06	5.50E-05	7.66E-05	8.99E-07
273	5	05/01/96	1.37E-19	1.01E-20	2.13E-21	3.76E-09	4.75E-06	1.64E-06	1.52E-08	4.68E-12	9.41E-06	9.52E-06	4.51E-04	1.67E-05	7.22E-06	5.24E-05	5.95E-05	2.18E-06
274	5	21/02/96	9.80E-20	8.73E-21	2.20E-21	2.63E-09	6.62E-06	3.33E-06	4.53E-08	2.05E-11	8.94E-06	7.87E-06	4.83E-04	1.27E-05	6.00E-06	4.99E-05	7.64E-05	2.16E-06
275	5	30/05/96	1.76E-19	1.16E-20	2.15E-21	2.45E-09	7.74E-07	3.86E-08	5.17E-11	2.29E-15	6.04E-06	1.03E-05	3.55E-04	4.70E-06	4.76E-06	5.51E-05	3.83E-05	2.33E-06
276	5	12/06/96	3.39E-19	1.32E-20	1.44E-21	3.36E-09	3.04E-06	1.20E-06	1.27E-08	4.45E-12	2.12E-06	8.78E-06	3.03E-04	1.02E-05	4.56E-06	3.26E-05	4.27E-05	1.94E-06
277	5	08/07/96	1.64E-19	1.19E-20	2.42E-21	4.32E-09	4.86E-06	2.43E-06	3.26E-08	1.45E-11	1.55E-05	7.24E-06	4.03E-04	7.71E-06	7.03E-06	4.25E-05	4.25E-05	2.58E-06
278	5	15/08/96	2.00E-19	9.78E-21	1.34E-21	2.20E-09	3.33E-06	2.92E-06	6.84E-08	5.29E-11	7.25E-06	2.63E-06	2.90E-04	6.12E-06	3.85E-06	4.01E-05	4.27E-05	1.49E-06
279	5	14/11/96	1.43E-19	1.04E-20	2.11E-21	2.80E-09	1.54E-07	3.07E-09	1.64E-12	2.92E-17	6.21E-06	9.90E-06	4.07E-04	5.81E-06	4.55E-06	4.25E-05	4.25E-05	2.19E-06
280	5	05/12/96	2.04E-19	1.00E-20	1.37E-21	5.42E-10	1.20E-06	9.92E-07	2.19E-08	1.59E-11	4.14E-06	1.72E-07	2.33E-04	2.31E-06	1.50E-06	1.26E-05	1.71E-05	1.53E-06
281	5	24/12/96	1.90E-19	1.12E-20	1.84E-21	1.18E-09	2.56E-06	1.37E-06	1.95E-08	9.23E-12	3.54E-06	6.26E-06	3.30E-04	4.09E-06	2.88E-06	1.50E-05	2.13E-05	2.02E-06
282	5	28/02/97	1.33E-06	4.50E-08	4.29E-09	3.19E-09	3.94E-07	8.30E-08	4.69E-10	8.81E-14	1.48E-05	4.21E-06	3.86E-04	7.11E-06	5.35E-06	2.50E-05	5.11E-05	1.41E-06
283	6	01/02/94	7.78E-07	2.96E-08	3.17E-09	2.97E-10	2.66E-06	7.37E-06	5.49E-07	1.36E-09	1.78E-05	6.46E-07	4.04E-04	2.27E-05	5.52E-06	2.00E-05	1.19E-04	2.69E-07
284	6	09/02/94	6.54E-07	2.32E-08	2.29E-09	5.85E-10	2.63E-06	2.88E-06	8.40E-08	8.04E-11	2.26E-05	2.40E-06	2.21E-04	8.82E-06	5.34E-06	1.04E-05	5.90E-06	5.23E-07
285	6	03/03/94	5.14E-07	2.83E-08	4.39E-09	1.89E-09	8.27E-19	4.39E-32	6.27E-47	2.99E-63	1.09E-04	1.06E-05	4.70E-04	4.98E-05	1.87E-05	2.75E-05	8.70E-05	4.92E-07
286	6	19/04/94	1.42E-08	1.46E-09	4.18E-10	5.39E-11	2.04E-06	1.60E-07	3.38E-10	2.37E-14	7.98E-06	1.32E-05	3.62E-04	6.05E-06	3.21E-06	1.25E-05	3.41E-05	1.11E-07
287	6	26/05/94	2.09E-07	2.82E-08	1.08E-08	1.22E-09	9.43E-06	7.64E-06	1.68E-07	1.23E-10	3.52E-06	1.77E-06	5.36E-04	7.65E-06	5.60E-06	3.74E-05	3.18E-05	1.79E-06
288	6	21/07/94	5.67E-20	5.94E-21	1.76E-21	3.26E-10	6.37E-06	2.62E-06	2.90E-08	1.07E-11	0.00E+00	4.63E-06	4.42E-04	8.06E-06	3.89E-06	4.00E-05	4.25E-05	1.65E-06
289	6	01/08/94	6.14E-20	5.86E-21	1.58E-21	1.68E-10	4.45E-06	3.23E-06	6.27E-08	4.05E-11	0.00E+00	5.96E-07	3.94E-04	4.70E-06	2.60E-06	4.50E-05	2.55E-05	1.49E-06
290	6	09/09/94	4.25E-20	5.11E-21	1.73E-21	9.30E-10	6.21E-06	1.91E-06	1.58E-08	4.35E-12	1.89E-06	6.90E-06	4.23E-04	5.58E-06	2.74E-06	5.00E-05	3.15E-05	1.62E-06



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	N°	Date	Pluviométrie (mm) ou volume (ml)	pH 20 °C	ANC μéquiv/L	Al total mg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	Fe mg/l	F mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Mn mg/l	Na mg/l	NO3 mg/l	PO4 mg/l	Si mg/l	SO4 mg/l	C org. mg/l	Al total moles/l	Al monomérique moles/l	Al 8-OH-Q moles/l	Ca moles/l	Cl moles/l	C min moles/l	Fe moles/l
291	6	16/09/94	850	3.43	-152	0.579	0.19	2.21	0.114	0.13	1.70	0.07	0.00	0.78	0.72	0.00	2.28	1.94	40.3	2.15E-05	1.70E-05	3.16E-06	4.74E-06	6.23E-05	1.30E-04	2.04E-06
292	6	29/09/94	450	3.53	-110	0.598	0.23	2.10	0.116	0.07	1.50	0.08	0.00	0.70	0.84	0.00	2.48	2.18	33.0	2.22E-05	8.82E-06	1.84E-06	5.84E-06	5.92E-05	1.30E-04	2.08E-06
293	6	31/10/94	1350	3.29	-190	0.474	0.21	2.75	0.102	0.19	0.80	0.11	0.00	0.70	0.00	0.27	2.55	2.44	37.8	1.76E-05	1.47E-05	1.98E-06	5.31E-06	7.76E-05	1.30E-04	1.83E-06
294	6	13/12/94	1300	3.14	-252	0.610	0.20	2.10	0.104	0.20	1.00	0.12	0.00	0.70	0.84	0.00	2.33	2.71	56.1	2.26E-05	1.74E-05	2.78E-06	5.09E-06	5.92E-05	1.30E-04	1.86E-06
295	6	17/01/95	2200	3.40	-156	0.374	0.17	2.15	0.050	0.00	0.50	0.11	0.03	0.60	0.21	0.00	1.29	3.40	25.6	1.39E-05	1.06E-05	1.76E-06	4.12E-06	6.06E-05	1.30E-04	8.95E-07
296	6	02/02/95	1250	3.52	-103	0.426	0.17	1.63	0.075	0.00	0.60	0.07	0.00	0.50	0.00	0.00	1.11	1.96	24.7	1.58E-05	1.13E-05	1.62E-06	4.17E-06	4.60E-05	1.30E-04	1.34E-06
297	6	27/02/95	1300	3.47	-159	0.459	0.19	2.27	0.090	0.07	0.50	0.06	0.00	0.90	0.00	0.00	1.07	1.55	38.3	1.70E-05	1.43E-05	2.02E-06	4.82E-06	6.40E-05	1.30E-04	1.61E-06
298	6	24/03/95	3000	3.52	-128	0.291	0.08	1.58	0.053	0.04	0.50	0.04	0.00	0.60	0.00	0.00	0.57	1.40	30.0	1.08E-05	1.08E-05	9.47E-07	2.07E-06	4.46E-05	1.30E-04	9.49E-07
299	6	07/04/95	750	3.55	-177	0.335	0.14	1.61	0.065	0.15	0.40	0.05	0.00	1.10	0.00	0.63	0.79	1.92	40.0	1.24E-05	9.62E-06	9.09E-07	3.39E-06	4.54E-05	1.30E-04	1.16E-06
300	6	02/05/95	1150	3.33	-159	0.341	0.22	1.48	0.073	0.05	0.80	0.06	0.00	0.50	0.00	0.00	0.87	2.71	34.2	1.26E-05	8.27E-06	1.84E-06	5.49E-06	4.17E-05	1.30E-04	1.31E-06
301	6	02/06/95	2090	3.24	-231	0.522	0.16	1.28	0.055	0.01	0.40	0.06	0.00	0.70	0.63	0.00	1.39	3.32	49.5	1.93E-05	1.21E-05	1.54E-06	3.99E-06	3.61E-05	1.30E-04	9.85E-07
302	6	28/06/95	470	3.40	-20	0.747	0.20	1.05	0.115	0.86	0.30	0.09	0.00	3.00	0.00	1.17	2.53	3.58	17.1	2.77E-05	1.78E-05	1.93E-06	4.97E-06	2.96E-05	1.30E-04	2.06E-06
303	6	18/07/95	640	3.86	-154	0.286	0.23	0.58	0.032	0.00	0.40	0.04	0.00	0.70	0.00	0.00	1.54	2.63	40.0	1.06E-05	7.83E-06	1.20E-06	5.74E-06	1.64E-05	1.57E-04	5.73E-07
304	6	17/08/95	480	3.94	-167	0.355	0.15	1.06	0.064	0.00	0.50	0.05	0.00	1.60	1.33	0.76	1.99	2.96	38.9	1.32E-05	1.02E-05	1.53E-06	3.69E-06	2.99E-05	1.57E-04	1.15E-06
305	6	19/09/95	3200	3.61	-161	0.333	0.14	1.01	0.050	0.06	0.60	0.07	0.00	0.60	0.00	0.00	1.88	2.89	35.0	1.23E-05	1.07E-05	1.57E-06	3.57E-06	2.85E-05	1.57E-04	8.95E-07
306	6	10/10/95	760	3.77	-246	0.685	0.25	1.95	0.137	0.50	0.90	0.09	0.00	1.10	0.90	0.00	3.81	2.89	55.0	2.54E-05	1.65E-05	3.86E-06	6.14E-06	5.50E-05	1.57E-04	2.45E-06
307	6	05/12/95	800	3.53	-180	0.717	0.21	2.72	0.142	0.02	0.90	0.13	0.00	1.30	1.12	0.00	4.95	3.67	40.0	2.66E-05	2.02E-05	3.48E-06	5.31E-06	7.67E-05	1.57E-04	2.54E-06
308	6	05/01/96	1590	3.50	-100	0.805	0.79	1.66	0.191	0.17	1.00	0.24	0.01	2.00	0.00	0.50	3.83	4.70	42.5	2.98E-05	2.08E-05	3.45E-06	1.96E-06	4.68E-05	1.57E-04	3.42E-06
309	6	21/02/96	945	3.41	-165	0.685	0.35	1.55	0.107	0.27	1.90	0.14	0.00	1.20	1.03	0.00	2.83	5.08	40.0	2.54E-05	1.85E-05	3.36E-06	8.71E-06	4.37E-05	5.00E-05	1.92E-06
310	6	30/05/96	1100	3.63	-183	0.679	0.27	2.11	0.117	0.04	0.90	0.14	0.00	1.40	0.48	0.00	3.19	4.62	42.5	2.52E-05	1.76E-05	3.34E-06	6.64E-06	5.94E-05	5.00E-05	2.09E-06
311	6	12/06/96	600	3.82	-201	0.474	0.44	1.32	0.120	0.16	0.30	0.09	0.00	1.10	1.00	0.00	2.18	3.14	37.5	1.76E-05	1.68E-05	2.60E-06	1.11E-05	3.72E-05	5.00E-05	2.15E-06
312	6	08/07/96	200	3.58	-189	0.749	0.34	1.86	0.163	0.17	0.70	0.14	0.01	1.90	2.43	0.00	4.34	3.68	47.5	2.78E-05	1.65E-05	3.32E-06	8.43E-06	5.25E-05	5.00E-05	2.92E-06
313	6	15/08/96	910	3.55	-196	0.530	0.26	1.93	0.117	0.20	0.60	0.10	0.01	1.00	0.85	0.00	3.56	2.84	42.5	1.96E-05	1.25E-05	2.23E-06	6.54E-06	5.44E-05	5.00E-05	2.09E-06
314	6	14/11/96	4275	3.56	-345	0.605	0.15	2.35	0.108	0.18	0.50	0.10	0.00	1.20	0.00	0.00	3.28	2.18	81.4	2.24E-05	2.17E-05	3.54E-06	3.84E-06	6.63E-05	5.00E-05	1.93E-06
315	6	05/12/96	3630	3.64	-301	0.407	0.26	0.72	0.062	0.12	0.30	0.05	0.00	0.60	0.00	0.00	1.14	2.03	73.1	1.51E-05	7.40E-06	2.77E-06	6.41E-06	2.03E-05	5.00E-05	1.11E-06
316	6	24/12/96	1200	3.68	-329	0.559	0.13	0.73	0.104	0.00	0.30	0.06	0.00	0.50	0.00	0.00	1.32	2.41	79.7	2.07E-05	1.82E-05	2.76E-06	3.12E-06	2.06E-05	5.00E-05	1.86E-06
317	6	11/02/97	22	4.55	-171	0.524	0.51	2.33	0.112	0.43	0.80	0.10	0.00	4.50	1.88	3.74	1.99	3.97	51.2	1.94E-05	5.02E-06	1.64E-08	1.27E-05	6.57E-05	5.00E-05	2.01E-06
318	6	28/02/97	810	3.89	-751	0.599	0.19	1.14	0.108	0.04	0.40	0.12	0.01	0.70	0.76	0.00	2.11	4.67	165.9	2.22E-05	8.76E-06	4.17E-06	4.64E-06	3.21E-05	5.00E-05	1.93E-06
319	7	09/02/94	400	3.78	-184	0.890	0.72	2.89	0.241	0.36	0.49	0.12	0.01	0.25	0.40	0.86	1.52	3.07	35.2	3.30E-05	1.49E-05	2.08E-06	1.79E-05	8.16E-05	1.12E-04	4.32E-06
320	7	03/03/94	200	3.46	499	4.100	2.81	5.16	0.893	0.03	0.70	4.24	0.02	1.50	0.98	1.49	11.00	4.10	34.6	1.52E-04	1.87E-05	2.45E-06	7.01E-05	1.46E-04	1.23E-04	1.60E-05
321	7	24/03/94	225	3.41	-204	1.050	0.37	2.06	0.257	0.06	0.64	0.09	0.00	1.25	1.06	0.72	2.52	3.31	54.3	3.89E-05	2.67E-05	1.67E-06	9.23E-06	5.81E-05	1.26E-04	4.60E-06
322	7	19/04/94	300	3.42	-167	1.000	0.28	1.59	0.239	0.08	0.40	0.08	0.00	0.80	0.91	0.51	2.42	2.67	44.9	3.71E-05	2.22E-05	6.67E-08	7.09E-06	4.48E-05	1.33E-04	4.28E-06
323	7	26/05/94	360	3.31	-252	1.160	0.43	1.76	0.273	0.55	0.60	0.10	0.00	0.85	2.35	0.74	3.68	5.17	46.6	4.30E-05	3.04E-05	4.98E-06	1.08E-05	4.96E-05	1.42E-04	4.89E-06
324	7	21/07/94	235	3.35	-254	0.632	0.36	2.85	0.121	0.20	0.90	0.11	0.00	0.90	3.78	0.37	0.91	6.38	28.1	2.34E-05	2.34E-05	3.49E-06	9.01E-06	8.04E-05	1.30E-04	2.17E-06
325	7	17/01/95	200	3.25	-285	1.060	0.53	3.75	0.189	0.07	1.20	0.22	0.04	1.10	3.05	0.00	6.73	7.53	43.1	3.93E-05	3.72E-05	7.38E-06	1.31E-05	1.06E-04	1.30E-04	3.38E-06
326	7	02/02/95	170	3.67	-345	1.220	0.49	3.95	0.216	0.80	1.20	0.22	0.01	1.10	1.92	0.25	7.01	7.92	50.6	4.52E-05	4.23E-05	8.73E-06	1.23E-05	1.11E-04	1.30E-04	3.87E-06
327	7	24/03/95	200	3.27	-305	1.180	0.41	2.28	0.253	0.08	1.00	0.17	0.01	0.90	1.74	0.00	3.77	5.67	66.7	4.37E-05	3.61E-05	6.19E-06	1.03E-05	6.43E-05	1.30E-04	4.53E-06
328	7	02/05/95	130	3.25	-206	1.106	0.43	1.95	0.286	0.04	0.70	0.12	0.00	0.60	1.20	0.00	3.22	3.68	51.4	4.10E-05	2.71E-05	5.58E-06	1.07E-05	5.50E-05	1.30E-04	5.12E-06
329	7	19/09/95	150	3.43	-188	1.427	0.41	1.74	0.436	0.12	1.00	0.14	0.01	1.20	0.77	0.00	6.74	4.10	61.3	5.29E-05	3.33E-05	4.22E-06	1.01E-05	4.91E-05	1.57E-04	7.81E-06
330	7	05/01/96	215	3.40	-130	1.467	1.11	2.20	0.379	0.17	1.00	0.28	0.01	2.00	0.82	0.00	7.79	5.41	57.5	5.44E-05	4.16E-05	6.67E-06	2.77E-05	6.20E-05	1.57E-04	6.79E-06
331	7	14/11/96	1250	3.56	-461	1.419	0.31	1.67	0.456	0.17	1.00	0.16	0.01	1.00	0.00	0.00	6.28	2.28	133.0	5.26E-05	3.13E-05	7.38E-06	7.68E-06	4.71E-05	5.00E-05	8.16E-06
332	7	05/12/96	800	3.48	-308	1.764	0.23	1.20	0.426	0.06	1.30	0.15	0.00	1.70	0.00	0.00	4.95	2.36	114.6	6.54E-05	4.14E-05	1.04E-05	5.71E-06	3.38E-05	5.00E-05	7.63E-06
333	7	24/12/96	240	3.53	-479	1.703	0.27	0.69	0.408	0.00	1.20	0.13	0.00	0.90	0.00	0.25	4.31									



	1	2	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
1	N°	Date	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	Fulvate	Al 3+	AlOH 2+	Al(OH)2 +	Al(OH)3*	Al(OH)4 -	AlCl 2+	AlCl2 +	AlCl3°	AlSO4 +	Al(SO4)2 -
2			moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]
291	6	18/09/94	6.68E-06	4.35E-05	2.80E-06	3.64E-08	3.39E-05	1.16E-05	0.00E+00	8.12E-05	2.02E-05	1.46E-04	2.96E-06	5.22E-08	6.85E-10	2.53E-13	7.33E-16	1.61E-08	9.14E-12	5.44E-17	1.30E-07	7.13E-11
292	6	29/09/94	3.58E-06	3.84E-05	3.29E-06	5.46E-08	3.04E-05	1.35E-05	0.00E+00	8.93E-05	2.27E-05	1.19E-04	1.70E-06	3.81E-08	6.31E-10	2.93E-13	1.07E-15	8.88E-09	4.83E-12	7.24E-17	8.63E-08	5.40E-11
293	6	31/10/94	9.89E-06	2.05E-05	4.56E-06	7.28E-08	3.04E-05	0.00E+00	2.84E-06	9.08E-05	2.54E-05	1.37E-04	1.77E-06	2.25E-08	2.12E-10	5.69E-14	1.20E-16	1.18E-08	8.33E-12	6.16E-17	9.48E-08	6.45E-11
294	6	13/12/94	1.06E-05	2.56E-05	5.02E-06	5.46E-08	3.04E-05	1.03E-05	0.00E+00	8.29E-05	2.82E-05	2.03E-04	2.60E-06	2.31E-08	1.53E-10	2.91E-14	4.36E-17	1.30E-08	6.90E-12	3.86E-17	1.46E-07	1.07E-10
295	6	17/01/95	0.00E+00	1.28E-05	4.56E-06	6.19E-07	2.61E-05	3.39E-06	0.00E+00	4.59E-05	3.54E-05	9.26E-05	1.60E-06	2.64E-08	3.23E-10	1.11E-13	3.01E-16	8.48E-09	4.70E-12	2.72E-17	1.24E-07	1.19E-10
296	6	02/02/95	0.00E+00	1.53E-05	2.75E-06	0.00E+00	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.95E-05	2.04E-05	8.91E-05	1.51E-06	3.32E-08	5.39E-10	2.45E-13	8.67E-16	6.17E-09	2.62E-12	1.16E-17	7.00E-08	3.96E-11
297	6	27/02/95	3.89E-06	1.28E-05	2.55E-06	1.82E-08	3.91E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.81E-05	1.61E-05	1.38E-04	1.90E-06	3.71E-08	5.34E-10	2.16E-13	6.85E-16	1.07E-08	6.30E-12	3.86E-17	6.81E-08	3.01E-11
298	6	24/03/95	2.26E-06	1.28E-05	1.69E-06	3.64E-08	2.61E-05	0.00E+00	0.00E+00	2.04E-05	1.46E-05	1.08E-04	8.93E-07	1.97E-08	3.20E-10	1.45E-13	5.14E-16	3.55E-09	1.47E-12	6.29E-18	2.98E-08	1.21E-11
299	6	07/04/95	7.89E-06	1.02E-05	1.85E-06	5.46E-08	4.78E-05	0.00E+00	6.63E-06	2.82E-05	2.00E-05	1.44E-04	6.41E-07	1.51E-08	2.62E-10	1.27E-13	4.84E-16	2.58E-09	1.08E-12	4.70E-18	2.90E-08	1.61E-11
300	6	02/05/95	2.53E-06	2.05E-05	2.47E-06	0.00E+00	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.10E-05	2.82E-05	1.24E-04	1.71E-06	2.39E-08	2.49E-10	7.30E-14	1.68E-16	6.19E-09	2.05E-12	9.37E-18	1.04E-07	7.91E-11
301	6	02/06/95	5.26E-07	1.02E-05	2.38E-06	3.64E-08	3.04E-05	1.02E-05	0.00E+00	4.95E-05	3.46E-05	1.79E-04	1.42E-06	1.60E-08	1.35E-10	3.21E-14	6.04E-17	4.40E-09	1.43E-12	4.92E-18	1.02E-07	9.42E-11
302	6	28/06/95	4.53E-05	7.67E-06	3.82E-06	0.00E+00	1.30E-04	0.00E+00	1.23E-05	9.01E-05	3.73E-05	6.17E-05	1.36E-06	2.23E-08	2.72E-10	9.38E-14	2.54E-16	3.49E-09	9.39E-13	2.65E-18	1.09E-07	1.10E-10
303	6	18/07/95	0.00E+00	1.02E-05	1.81E-06	3.64E-08	3.04E-05	0.00E+00	0.00E+00	5.48E-05	2.74E-05	1.44E-04	1.07E-06	5.20E-08	1.85E-09	1.84E-12	1.42E-14	1.58E-09	2.42E-13	3.82E-19	6.93E-08	5.38E-11
304	6	17/08/95	0.00E+00	1.28E-05	2.22E-06	1.82E-08	6.96E-05	2.14E-05	8.00E-06	7.08E-05	3.08E-05	1.40E-04	4.59E-07	2.66E-08	1.14E-09	1.36E-12	1.27E-14	1.23E-09	3.40E-13	9.78E-19	3.30E-08	2.87E-11
305	6	19/09/95	3.16E-06	1.53E-05	2.88E-06	5.46E-08	2.61E-05	0.00E+00	0.00E+00	6.69E-05	3.01E-05	1.26E-04	1.43E-06	3.86E-08	7.71E-10	4.31E-13	1.88E-15	3.61E-09	9.52E-13	2.61E-18	9.81E-08	8.23E-11
306	6	10/10/95	2.63E-05	2.30E-05	3.78E-06	5.46E-08	4.78E-05	1.45E-05	0.00E+00	1.36E-04	3.01E-05	1.99E-04	3.47E-06	1.34E-07	3.86E-09	3.12E-12	1.97E-14	1.67E-08	8.44E-12	4.44E-17	2.33E-07	1.94E-10
307	6	05/12/95	8.42E-07	2.30E-05	5.47E-06	5.46E-08	5.65E-05	1.81E-05	0.00E+00	1.76E-04	3.82E-05	1.44E-04	3.12E-06	6.93E-08	1.14E-09	5.32E-13	1.94E-15	2.08E-08	1.46E-11	1.07E-16	2.59E-07	2.70E-10
308	6	05/01/96	8.79E-06	2.56E-05	9.99E-06	1.27E-07	8.70E-05	0.00E+00	5.26E-06	1.36E-04	4.89E-05	1.53E-04	2.60E-06	5.35E-08	8.20E-10	3.56E-13	1.22E-15	1.05E-08	4.44E-12	1.97E-17	2.69E-07	3.56E-10
309	6	21/02/96	1.44E-05	4.86E-05	5.72E-06	1.82E-08	5.22E-05	1.66E-05	0.00E+00	1.01E-04	5.29E-05	1.44E-04	2.97E-06	4.95E-08	6.17E-10	2.18E-13	6.05E-16	1.11E-08	4.40E-12	1.83E-17	3.30E-07	4.70E-10
310	6	30/05/96	1.84E-06	2.30E-05	5.59E-06	5.46E-08	6.09E-05	7.68E-06	0.00E+00	1.14E-04	4.80E-05	1.53E-04	2.93E-06	8.19E-08	1.70E-09	9.97E-13	4.58E-15	1.52E-08	8.23E-12	4.67E-17	3.08E-07	4.06E-10
311	6	12/06/96	8.26E-06	7.67E-06	3.54E-06	5.46E-08	4.78E-05	1.61E-05	0.00E+00	7.76E-05	3.27E-05	1.35E-04	2.31E-06	1.01E-07	3.28E-09	2.97E-12	2.10E-14	7.63E-09	2.62E-12	9.36E-18	1.73E-07	1.58E-10
312	6	08/07/96	9.16E-06	1.79E-05	5.76E-06	1.27E-07	8.26E-05	3.92E-05	0.00E+00	1.55E-04	3.83E-05	1.72E-04	2.98E-06	7.40E-08	1.37E-09	7.14E-13	2.93E-15	1.36E-08	6.48E-12	3.24E-17	2.47E-07	2.58E-10
313	6	15/08/96	1.05E-05	1.53E-05	4.07E-06	9.10E-08	4.35E-05	1.37E-05	0.00E+00	1.27E-04	2.96E-05	1.53E-04	2.04E-06	4.75E-08	8.23E-10	4.01E-13	1.53E-15	9.71E-09	4.84E-12	2.52E-17	1.33E-07	1.09E-10
314	6	14/11/96	9.68E-06	1.28E-05	3.95E-06	5.46E-08	5.22E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.17E-04	2.27E-05	2.94E-04	3.28E-06	7.79E-08	1.37E-09	6.85E-13	2.68E-15	1.89E-08	1.14E-11	7.21E-17	1.62E-07	1.00E-10
315	6	05/12/96	6.26E-06	7.67E-06	2.01E-06	0.00E+00	2.61E-05	0.00E+00	0.00E+00	4.06E-05	2.11E-05	2.64E-04	2.57E-06	7.40E-08	1.58E-09	9.46E-13	4.43E-15	4.59E-09	8.57E-13	1.67E-18	1.21E-07	7.10E-11
316	6	24/12/96	0.00E+00	7.67E-06	2.34E-06	3.64E-08	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	4.70E-05	2.51E-05	2.88E-04	2.53E-06	7.99E-08	1.87E-09	1.23E-12	6.30E-15	4.59E-09	8.69E-13	1.72E-18	1.43E-07	9.94E-11
317	6	11/02/97	2.26E-05	2.05E-05	3.99E-06	1.82E-08	1.96E-04	3.03E-05	3.94E-05	7.08E-05	4.13E-05	1.85E-04	8.40E-11	1.95E-11	3.36E-12	1.64E-14	6.26E-16	4.79E-13	2.86E-16	1.97E-21	7.68E-12	8.86E-15
318	6	28/02/97	1.84E-06	1.02E-05	4.73E-06	1.09E-07	3.04E-05	1.23E-05	0.00E+00	7.51E-05	4.86E-05	5.99E-04	3.60E-06	1.80E-07	6.77E-09	7.22E-12	6.07E-14	9.85E-09	2.84E-12	8.66E-18	3.70E-07	4.90E-10
319	7	09/02/94	1.88E-05	1.25E-05	4.98E-06	9.10E-08	1.10E-05	6.47E-06	9.10E-06	5.41E-05	3.20E-05	1.27E-04	8.96E-07	3.57E-08	1.05E-09	8.70E-13	5.61E-15	6.45E-09	4.85E-12	3.79E-17	6.49E-08	5.80E-11
320	7	03/03/94	1.37E-06	1.79E-05	1.74E-04	4.00E-07	6.52E-05	1.58E-05	1.57E-05	3.92E-04	4.27E-05	1.25E-04	1.54E-06	2.78E-08	3.82E-10	1.51E-13	4.80E-16	1.83E-08	2.32E-11	3.17E-16	1.21E-07	1.30E-10
321	7	24/03/94	3.05E-06	1.64E-05	3.78E-06	3.64E-08	5.44E-05	1.71E-05	7.58E-06	8.97E-05	3.45E-05	1.96E-04	1.28E-06	2.15E-08	2.68E-10	9.46E-14	2.62E-16	6.44E-09	3.39E-12	1.88E-17	9.43E-08	8.80E-11
322	7	19/04/94	4.21E-06	1.02E-05	3.29E-06	1.82E-08	3.48E-05	1.47E-05	5.37E-06	8.62E-05	2.78E-05	1.62E-04	5.37E-08	9.27E-10	1.19E-11	4.29E-15	1.21E-17	2.10E-10	8.58E-14	3.67E-19	3.26E-09	2.48E-12
323	7	26/05/94	2.88E-05	1.53E-05	4.28E-06	5.46E-08	3.70E-05	3.79E-05	7.79E-06	1.31E-04	5.38E-05	1.68E-04	3.95E-06	5.21E-08	5.14E-10	1.44E-13	3.19E-16	1.67E-08	7.44E-12	3.50E-17	4.36E-07	6.20E-10
324	7	21/07/94	1.05E-05	2.30E-05	4.52E-06	7.28E-08	3.91E-05	6.10E-05	3.90E-06	3.24E-05	6.64E-05	1.01E-04	2.82E-06	4.08E-08	4.41E-10	1.36E-13	3.29E-16	1.93E-08	1.40E-11	1.07E-16	3.87E-07	6.84E-10
325	7	17/01/95	3.63E-06	3.07E-05	9.09E-06	7.46E-07	4.78E-05	4.92E-05	0.00E+00	2.40E-04	7.84E-05	1.55E-04	6.28E-06	7.12E-08	6.08E-10	1.49E-13	2.88E-16	5.57E-08	5.24E-11	5.23E-16	9.62E-07	1.95E-09
326	7	02/02/95	4.22E-05	3.07E-05	8.88E-06	1.46E-07	4.78E-05	3.10E-05	2.63E-06	2.50E-04	8.24E-05	1.83E-04	6.41E-06	1.94E-07	4.37E-09	2.81E-12	1.42E-14	6.06E-08	6.04E-11	6.35E-16	1.10E-06	2.43E-09
327	7	24/03/95	4.11E-06	2.56E-05	6.87E-06	1.46E-07	3.91E-05	2.81E-05	0.00E+00	1.34E-04	5.90E-05	2.41E-04	5.45E-06	6.51E-08	5.84E-10	1.49E-13	3.02E-16	2.95E-08	1.69E-11	1.03E-16	6.41E-07	9.88E-10
328	7	02/05/95	1.95E-06	1.79E-05	4.98E-06	7.28E-08	2.61E-05	1.94E-05	0.00E+00	1.15E-04	3.83E-05	1.86E-04	5.10E-06	5.85E-08	5.03E-10	1.23E-13	2.37E-16	2.39E-08	1.18E-11	6.15E-17	3.97E-07	3.99E-10
329	7	19/09/95	6.32E-06	2.56E-05	5.59E-06	1.27E-07	5.22E-05	1.24E-05	0.00E+00	2.40E-04	4.27E-05	2.21E-04	3.79E-06	6.62E-08	8.64E-10	3.19E-13	9.29E-16	1.60E-08	7.09E-12	3.31E-17	3.40E-07	3.89E-10
330	7	05/01/96	8.74E-06	2.56E-05	1.13E-05	1.64E-07	8.70E-05	1.32E-05	0.00E+00	2.77E-04	5.63E-05	2.08E-04	5.87E-06	9.47E-08	1.15E-09	3.95E-13	1.08E-15	3.07E-08	1.70E-11	9.98E-17	6.66E-07	8.86E-10
331	7	14/11/9																				



	1	2	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
1	N°	Date	AIP04°	AIHP04 +	AIH2P04 2+	AIOS(OH)3 2+	AIF 2+	AIF2 +	AIF3 °	AIF4 -	Polymères	Al organique	Force ionique	Activités (moles/l)				
2			[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[molesd'Al/l]	[moles d'Al/l]	moles/l	{Ca 2+}	{Mg 2+}	{K +}	{Na +}	{Al 3+}
291	6	16/09/94	7.37E-20	8.08E-21	2.50E-21	1.56E-09	4.34E-06	8.26E-07	4.21E-09	7.14E-13	4.50E-06	8.64E-06	3.99E-04	4.33E-06	2.56E-06	4.25E-05	3.32E-05	2.42E-06
292	6	29/09/94	6.92E-20	6.03E-21	1.48E-21	1.23E-09	2.13E-06	4.10E-07	2.11E-09	3.59E-13	1.33E-05	4.44E-06	3.46E-04	5.37E-06	3.03E-06	3.76E-05	2.98E-05	1.41E-06
293	6	31/10/94	6.76E-08	1.02E-08	4.37E-09	7.46E-10	5.66E-06	1.54E-06	1.13E-08	2.78E-12	2.91E-06	5.47E-06	4.69E-04	4.82E-06	4.14E-06	2.00E-05	2.97E-05	1.42E-06
294	6	13/12/94	1.68E-20	3.59E-21	2.18E-21	6.99E-10	6.42E-06	1.50E-06	9.57E-09	2.04E-12	5.24E-06	6.67E-06	6.03E-04	4.56E-06	4.50E-06	2.49E-05	2.96E-05	2.03E-06
295	6	17/01/95	3.63E-20	4.27E-21	1.41E-21	4.44E-10	9.04E-19	2.48E-32	1.83E-47	4.47E-64	3.29E-06	8.83E-06	3.88E-04	3.77E-06	4.18E-06	1.25E-05	2.55E-05	1.31E-06
296	6	02/02/95	5.99E-20	5.34E-21	1.33E-21	4.81E-10	8.97E-19	2.89E-32	2.49E-47	7.08E-64	4.52E-06	9.65E-06	2.95E-04	3.86E-06	2.55E-06	1.50E-05	2.13E-05	1.27E-06
297	6	27/02/95	5.90E-20	5.90E-21	1.66E-21	5.17E-10	2.72E-06	3.60E-07	1.27E-09	1.49E-13	2.68E-06	9.23E-06	3.49E-04	4.43E-06	2.34E-06	1.25E-05	3.83E-05	1.57E-06
298	6	24/03/95	3.66E-20	3.26E-21	8.13E-22	1.47E-10	1.66E-06	1.53E-07	3.76E-10	3.05E-14	0.00E+00	8.04E-06	2.87E-04	1.92E-06	1.56E-06	1.25E-05	2.56E-05	7.52E-07
299	6	07/04/95	2.00E-07	1.66E-08	3.88E-09	1.56E-10	3.19E-06	1.56E-06	2.04E-08	8.83E-12	2.79E-06	3.94E-06	3.23E-04	3.13E-06	1.71E-06	1.00E-05	4.69E-05	5.34E-07
300	6	02/05/95	2.79E-20	3.85E-21	1.50E-21	2.72E-10	1.78E-06	1.82E-07	5.01E-10	4.59E-14	4.36E-06	4.46E-06	4.10E-04	5.01E-06	2.25E-06	2.00E-05	2.13E-05	1.39E-06
301	6	02/06/95	1.51E-20	2.57E-21	1.23E-21	2.90E-10	4.50E-07	6.85E-09	2.81E-12	3.86E-17	7.23E-06	1.01E-05	4.95E-04	3.61E-06	2.16E-06	9.98E-06	2.97E-05	1.14E-06
302	6	28/06/95	3.78E-07	4.44E-08	1.47E-08	7.35E-10	3.29E-06	1.15E-05	1.08E-06	3.37E-09	9.88E-06	0.00E+00	4.27E-04	4.53E-06	3.49E-06	7.50E-06	1.27E-04	1.10E-06
303	6	18/07/95	1.83E-19	7.46E-21	8.47E-22	1.04E-09	6.59E-19	8.64E-32	3.01E-46	3.45E-62	2.79E-06	6.63E-06	2.40E-04	5.35E-06	1.69E-06	1.01E-05	2.99E-05	9.14E-07
304	6	17/08/95	9.72E-07	3.29E-08	3.12E-09	6.91E-10	6.61E-19	8.78E-32	3.11E-46	3.63E-62	2.98E-06	8.64E-06	2.74E-04	3.43E-06	2.06E-06	1.25E-05	6.83E-05	3.88E-07
305	6	19/09/95	8.41E-20	6.09E-21	1.24E-21	9.46E-10	1.98E-06	3.36E-07	1.53E-09	2.29E-13	1.60E-06	6.86E-06	2.97E-04	3.30E-06	2.66E-06	1.50E-05	2.56E-05	1.20E-06
306	6	10/10/95	3.12E-19	1.56E-20	2.20E-21	6.68E-09	4.27E-06	7.85E-06	3.86E-07	6.29E-10	8.91E-06	1.05E-07	3.49E-04	5.64E-06	3.48E-06	2.25E-05	4.69E-05	2.87E-06
307	6	05/12/95	1.18E-19	1.02E-20	2.52E-21	4.45E-09	7.31E-07	1.70E-08	1.07E-11	2.22E-16	6.35E-06	1.60E-05	4.09E-04	4.85E-06	5.00E-06	2.25E-05	5.53E-05	2.54E-06
308	6	05/01/96	4.58E-07	4.27E-08	1.13E-08	2.66E-09	5.34E-06	1.29E-06	8.46E-09	1.85E-12	9.06E-06	1.07E-05	4.86E-04	1.78E-05	9.06E-06	2.49E-05	8.49E-05	2.08E-06
309	6	21/02/96	6.65E-20	7.64E-21	2.48E-21	1.83E-09	7.06E-06	2.89E-06	3.18E-08	1.17E-11	6.93E-06	5.11E-06	4.94E-04	7.89E-06	5.18E-06	4.74E-05	5.09E-05	2.38E-06
310	6	30/05/96	1.67E-19	1.15E-20	2.25E-21	3.42E-09	1.40E-06	1.05E-07	2.12E-10	1.42E-14	7.54E-06	1.28E-05	3.93E-04	6.07E-06	5.12E-06	2.25E-05	5.96E-05	2.40E-06
311	6	12/06/96	2.80E-19	1.25E-20	1.57E-21	2.88E-09	3.81E-06	1.62E-06	1.85E-08	6.94E-12	7.24E-07	8.78E-06	3.03E-04	1.02E-05	3.27E-06	7.52E-06	4.69E-05	1.94E-06
312	6	08/07/96	1.38E-19	1.07E-20	2.35E-21	4.19E-09	4.47E-06	1.71E-06	1.75E-08	5.99E-12	1.13E-05	6.94E-06	4.28E-04	7.69E-06	5.25E-06	1.75E-05	8.07E-05	2.42E-06
313	6	15/08/96	8.84E-20	7.35E-21	1.72E-21	2.21E-09	4.23E-06	2.24E-06	3.19E-08	1.50E-11	7.18E-06	3.72E-06	3.69E-04	6.00E-06	3.73E-06	1.50E-05	4.26E-05	1.68E-06
314	6	14/11/96	1.38E-19	1.12E-20	2.58E-21	3.33E-09	4.53E-06	1.88E-06	2.10E-08	7.81E-12	6.59E-07	1.18E-05	4.15E-04	3.51E-06	3.60E-06	1.25E-05	5.10E-05	2.67E-06
315	6	05/12/96	1.57E-19	1.06E-20	2.02E-21	1.10E-09	1.80E-06	1.21E-06	2.17E-08	1.29E-11	7.67E-06	1.59E-06	3.32E-04	5.91E-06	1.86E-06	7.52E-06	2.56E-05	2.14E-06
316	6	24/12/96	1.81E-19	1.12E-20	1.93E-21	1.38E-09	7.70E-09	6.09E-32	1.29E-46	9.02E-63	2.50E-06	1.55E-05	3.31E-04	2.87E-06	2.16E-06	7.52E-06	2.13E-05	2.10E-06
317	6	11/02/97	1.61E-08	1.34E-10	3.15E-12	5.05E-13	2.44E-07	1.84E-06	3.71E-07	2.49E-09	1.44E-05	2.55E-06	4.34E-04	1.16E-05	3.63E-06	2.00E-05	1.91E-04	6.81E-11
318	6	28/02/97	4.40E-19	1.67E-20	1.81E-21	4.96E-09	4.59E-07	1.75E-07	1.81E-09	6.24E-13	1.34E-05	3.96E-06	5.27E-04	4.19E-06	4.27E-06	9.97E-06	2.97E-05	2.86E-06
319	7	09/02/94	1.02E-06	4.99E-08	6.86E-09	7.07E-10	4.57E-06	5.24E-06	1.61E-07	1.64E-10	1.81E-05	2.86E-06	3.32E-04	1.65E-05	4.58E-06	1.23E-05	1.08E-05	7.45E-07
320	7	03/03/94	6.49E-07	6.64E-08	1.96E-08	3.96E-09	1.15E-06	3.53E-08	3.00E-11	8.66E-16	1.33E-04	1.51E-05	9.59E-04	6.12E-05	1.52E-04	1.73E-05	6.31E-05	1.13E-06
321	7	24/03/94	2.29E-07	2.62E-08	8.52E-09	7.05E-10	2.48E-06	1.60E-07	2.79E-10	1.62E-14	1.22E-05	2.24E-05	4.72E-04	8.38E-06	3.43E-06	1.60E-05	5.31E-05	1.03E-06
322	7	19/04/94	7.45E-09	8.36E-10	2.64E-10	2.92E-11	3.23E-06	3.07E-07	7.83E-10	6.64E-14	1.49E-05	1.86E-05	4.13E-04	6.47E-06	3.00E-06	1.00E-05	3.40E-05	4.38E-08
323	7	26/05/94	4.30E-07	6.21E-08	2.55E-08	2.50E-09	1.27E-05	6.71E-06	9.57E-08	4.58E-11	1.26E-05	5.87E-06	5.67E-04	9.72E-06	3.85E-06	1.49E-05	3.60E-05	3.11E-06
324	7	21/07/94	1.88E-07	2.48E-08	9.26E-09	4.84E-10	7.52E-06	1.18E-06	4.99E-09	7.08E-13	0.00E+00	1.12E-05	5.57E-04	8.11E-06	4.07E-06	2.24E-05	3.81E-05	2.23E-06
325	7	17/01/95	6.35E-20	1.05E-20	4.99E-21	6.23E-09	3.28E-06	1.01E-07	8.54E-11	2.42E-15	2.13E-06	2.64E-05	6.97E-04	1.17E-05	8.08E-06	2.98E-05	4.65E-05	4.83E-06
326	7	02/02/95	8.77E-07	5.53E-08	9.91E-09	1.76E-08	1.33E-05	1.25E-05	3.18E-07	2.71E-10	2.90E-06	7.47E-06	5.51E-04	1.11E-05	8.00E-06	2.99E-05	4.66E-05	5.07E-06
327	7	24/03/95	6.14E-20	9.73E-21	4.39E-21	3.19E-09	3.47E-06	1.90E-07	2.84E-10	1.42E-14	7.63E-06	2.63E-05	6.27E-04	9.22E-06	6.14E-06	2.49E-05	3.81E-05	4.24E-06
328	7	02/05/95	5.34E-20	8.86E-21	4.17E-21	2.46E-09	1.73E-06	4.62E-08	3.34E-11	8.10E-16	1.39E-05	1.98E-05	5.51E-04	9.62E-06	4.48E-06	1.74E-05	2.54E-05	4.03E-06
329	7	19/09/95	9.01E-20	9.88E-21	3.07E-21	5.79E-09	4.69E-06	5.60E-07	1.81E-09	1.94E-13	1.95E-05	2.39E-05	4.99E-04	9.15E-06	5.06E-06	2.49E-05	5.09E-05	3.03E-06
330	7	05/01/96	1.15E-19	1.35E-20	4.51E-21	9.54E-09	6.67E-06	7.82E-07	2.49E-09	2.66E-13	1.27E-05	2.75E-05	6.09E-04	2.48E-05	1.01E-05	2.49E-05	8.46E-05	4.59E-06
331	7	14/11/96	2.43E-19	1.97E-20	4.55E-21	1.31E-08	4.24E-06	1.56E-06	1.55E-08	5.14E-12	2.13E-05	1.81E-05	5.16E-04	6.94E-06	5.95E-06	2.49E-05	4.24E-05	5.45E-06
332	7	05/12/96	2.36E-19	2.31E-20	6.40E-21	1.21E-08	2.23E-06	1.91E-07	4.42E-10	3.42E-14	2.40E-05	2.85E-05	5.16E-04	5.16E-06	5.43E-06	3.24E-05	7.21E-05	7.71E-06
333	7	24/12/96	6.98E-07	6.08E-08	1.51E-08	1.10E-08	8.70E-19	3.07E-32	2.94E-47	9.39E-64	1.10E-05	4.16E-05	5.36E-04	6.10E-06	4.90E-06	2.99E-05	3.81E-05	7.13E-06
334	8	01/02/94	5.92E-07	2.64E-08	3.32E-09	2.08E-10	1.98E-06	7.02E-06	6.63E-07	2.08E-09	1.34E-05	0.00E+00	3.59E-04	1.31E-05	3.55E-06	2.25E-05	1.02E-04	2.75E-07
335	8	09/02/94	4.47E-07	1.20E-08	9.01E-10	2.88E-10	1.50E-06	4.54E-06	3.65E-07	9.63E-10	1.49E-05	2.91E-07	2.16E-04	1.04E-05	3.39E-06	1.07E-05	1.01E-05	2.77E-07
336	8	03/03/94	2.79E-07	1.80E-08	3.30E-09	1.17E-09	3.65E-06	3.82E-06	1.08E-07	1.01E-10	9.36E-05	1.74E-06	4.90E-04	4.32E-05	1.42E-05	2.25E-05	1.02E-04	4.31E-07
337	8	24/03/94	2.03E-07	1.93E-08	5.20E-09	6.20E-10	2.63E-06	4.14E-07	1.75E-09	2.46E-13	1.06E-05	8.50E-06	3.98E-04	4.91E-06	2.78E-06	2.70E-05	4.68E-05	1.37E-06
338	8	19/04/94	1.71E-08	1.67E-09	4.60E-10	1.08E-10	2.22E-06	2.67E-07	8.63E-10	9.25E-14	5.21E-06	1.23E-05	3.80E-04	3.22E-06	2.41E-06	2.00E-05	3.40E-05	1.86E-07



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
N°	Date	Pluviométrie (mm) ou volume (ml)	pH 20 °C	ANC µéquiv/L	Al total mg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	Fe mg/l	F mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Mn mg/l	Na mg/l	NO3 mg/l	PO4 mg/l	Si mg/l	SO4 mg/l	C org. mg/l	Al total moles/l	Al monomérique moles/l	Al 8-OH-O moles/l	Ca moles/l	Cl moles/l	C min moles/l	Fe moles/l	
339	8	26/05/94	300	3.32	-250	0.756	0.21	1.70	0.150	0.52	1.40	0.08	0.00	0.86	0.00	0.38	2.56	6.07	46.5	2.80E-05	2.31E-05	2.71E-06	5.29E-06	4.79E-05	1.42E-04	2.69E-06
340	8	01/08/94	240	3.49	-196	0.286	0.21	2.33	0.014	0.31	2.50	0.07	0.01	0.70	2.11	0.00	0.51	4.60	29.4	1.06E-05	1.06E-05	2.24E-06	5.16E-06	6.57E-05	1.30E-04	2.51E-07
341	8	09/09/94	225	3.36	-148	0.549	0.24	2.15	0.100	0.18	3.30	0.07	0.00	0.77	0.73	0.00	2.87	3.66	40.2	2.03E-05	1.89E-05	1.83E-06	5.86E-06	6.06E-05	1.30E-04	1.79E-06
342	8	29/09/94	450	3.48	-137	0.485	0.42	2.59	0.083	0.06	3.70	0.09	0.00	0.90	0.83	0.00	2.15	3.36	42.3	1.80E-05	1.12E-05	1.86E-06	1.05E-05	7.30E-05	1.30E-04	1.49E-06
343	8	13/12/94	600	3.46	-264	1.056	0.35	3.96	0.183	0.18	7.90	0.19	0.00	1.50	0.72	0.00	5.27	4.87	96.4	3.91E-05	3.45E-05	4.24E-06	8.66E-06	1.12E-04	1.30E-04	3.28E-06
344	8	17/01/95	1250	3.38	-159	0.494	0.18	2.45	0.078	0.00	2.50	0.15	0.03	1.50	0.20	0.35	1.92	3.71	46.8	1.83E-05	1.75E-05	1.72E-06	4.37E-06	6.91E-05	1.30E-04	1.40E-06
345	8	02/02/95	700	3.67	-172	0.622	0.25	1.88	0.112	0.05	1.70	0.13	0.00	1.00	0.00	0.00	1.51	3.40	48.0	2.31E-05	1.68E-05	2.50E-06	6.19E-06	5.30E-05	1.30E-04	2.01E-06
346	8	27/02/95	450	3.47	-223	0.625	0.23	2.19	0.119	0.17	1.40	0.10	0.00	1.30	0.00	0.00	1.34	1.99	63.9	2.32E-05	2.08E-05	2.42E-06	5.81E-06	6.18E-05	1.30E-04	2.13E-06
347	8	24/03/95	700	3.30	-343	0.712	0.15	1.56	0.156	0.43	1.30	0.11	0.00	0.80	0.00	0.00	1.31	2.24	86.7	2.64E-05	1.76E-05	3.93E-06	3.74E-06	4.40E-05	1.30E-04	2.79E-06
348	8	02/05/95	350	3.26	-230	0.704	0.30	1.58	0.138	0.00	1.20	0.11	0.00	0.90	0.00	0.00	1.61	2.28	67.1	2.61E-05	1.49E-05	2.42E-06	7.56E-06	4.46E-05	1.30E-04	2.47E-06
349	8	18/07/95	240	3.86	-21	0.319	0.22	0.67	0.036	0.00	2.20	0.04	0.00	4.30	0.00	4.86	1.30	2.30	43.3	1.18E-05	4.49E-06	7.09E-07	5.59E-06	1.89E-05	1.57E-04	6.45E-07
350	8	19/09/95	3600	3.46	-231	0.706	0.17	1.91	0.156	0.13	4.30	0.12	0.00	1.20	0.00	0.00	3.88	4.04	75.0	2.62E-05	2.16E-05	2.34E-06	4.22E-06	5.39E-05	1.57E-04	2.79E-06
351	8	05/12/95	430	3.38	-227	1.202	0.35	2.66	0.267	0.03	2.70	0.21	0.01	1.90	1.01	0.00	5.88	4.41	80.0	4.46E-05	3.76E-05	4.71E-06	8.81E-06	7.50E-05	1.57E-04	4.78E-06
352	8	05/01/96	1210	3.37	-252	1.119	0.57	2.25	0.232	0.16	1.80	0.23	0.00	2.00	1.30	0.48	4.19	5.19	75.0	4.15E-05	3.28E-05	4.06E-06	1.42E-05	6.35E-05	1.57E-04	4.15E-06
353	8	31/07/96	495	3.39	-325	1.039	0.39	2.65	0.286	0.22	0.90	0.18	0.00	2.00	0.59	0.00	4.64	4.68	85.0	3.85E-05	3.82E-05	5.53E-06	9.63E-06	7.47E-05	5.00E-05	5.12E-06
354	8	14/11/96	4490	3.40	-533	0.933	0.16	1.64	0.183	0.12	1.00	0.16	0.00	2.00	0.00	0.00	5.13	2.27	155.9	3.46E-05	2.72E-05	4.63E-06	3.97E-06	4.62E-05	5.00E-05	3.28E-06
355	8	05/12/96	2520	3.44	-447	0.703	0.12	1.32	0.150	0.07	0.60	0.09	0.00	1.40	0.00	0.00	1.88	2.42	116.5	2.60E-05	1.53E-05	3.02E-06	2.87E-06	3.72E-05	5.00E-05	2.69E-06
356	8	24/12/96	1220	3.50	-538	0.727	0.10	0.65	0.184	0.00	0.60	0.06	0.00	0.90	0.00	0.00	1.77	3.19	133.9	2.69E-05	2.48E-05	9.79E-06	2.42E-06	1.83E-05	5.00E-05	3.29E-06
357	5+6	24/03/94	600	3.48	-152	0.760	0.32	1.51	0.158	0.25	0.93	0.09	0.00	1.05	0.40	0.49	1.66	2.82	42.8	2.82E-05	1.75E-05	1.45E-06	8.03E-06	4.26E-05	1.26E-04	2.83E-06
358	5+6	20/08/94	305	3.44	-183	0.793	0.39	2.97	0.134	0.08	2.50	0.13	0.00	0.90	2.03	0.00	3.04	3.72	44.3	2.94E-05	2.13E-05	2.83E-06	9.63E-06	8.38E-05	1.30E-04	2.40E-06
359	5+6	01/01/95	250	3.93	39	0.659	0.30	1.90	0.101	0.27	0.70	0.13	0.00	6.00	0.66	0.00	3.33	3.71	37.5	2.44E-05	1.99E-05	5.45E-07	7.39E-06	5.36E-05	1.30E-04	1.81E-06
360	5+6	06/11/95	200	3.31	-104	0.520	0.59	2.40	0.058	0.09	1.40	0.15	0.01	1.50	1.12	0.50	2.79	3.20	30.0	1.93E-05	1.35E-05	3.27E-06	1.46E-05	6.77E-05	1.57E-04	1.04E-06
361	5+6	16/09/96	320	3.83	-144	0.490	0.28	1.36	0.107	0.20	1.30	0.09	0.01	0.80	0.55	0.00	2.72	2.17	40.0	1.82E-05	1.16E-05	1.85E-06	6.99E-06	3.84E-05	5.00E-05	1.92E-06
362	5+6+7	31/07/96	320	3.62	-143	0.843	0.71	1.84	0.261	0.23	0.80	0.15	0.01	2.00	0.76	0.00	4.84	4.13	50.0	3.13E-05	2.52E-05	4.38E-06	1.77E-05	5.19E-05	5.00E-05	4.67E-06
363	5+6+7+8	25/06/96	75	3.29	-129	0.832	0.90	2.49	0.203	0.27	1.20	0.26	0.01	4.10	2.22	0.44	4.73	5.68	45.0	3.08E-05	1.58E-05	1.19E-06	2.24E-05	7.02E-05	5.00E-05	3.63E-06
364	5+6+8	13/08/94	325	3.40	-225	0.545	0.29	2.64	0.085	0.24	3.90	0.12	0.00	1.00	5.39	0.34	1.13	5.30	37.2	2.02E-05	1.76E-05	2.33E-06	7.19E-06	7.45E-05	1.30E-04	1.52E-06
365	5+7	27/02/95	250	3.53	-100	0.898	0.33	2.59	0.185	0.04	1.80	0.16	0.01	4.40	1.00	2.29	2.73	3.37	58.9	3.33E-05	2.68E-05	1.84E-06	8.21E-06	7.30E-05	1.30E-04	3.31E-06
366	5+7+8	28/06/95	225	3.73	109	0.859	0.32	0.89	0.151	0.53	1.40	0.11	0.00	5.60	0.71	4.13	2.30	3.37	21.7	3.18E-05	1.84E-05	1.86E-06	8.03E-06	2.51E-05	1.30E-04	2.70E-06
367	6+8	24/11/94	250	3.41	-131	0.844	0.07	3.16	0.137	0.27	2.30	0.14	0.00	4.20	1.16	0.44	4.52	3.10	61.7	3.13E-05	2.07E-05	5.73E-07	1.80E-06	8.91E-05	1.30E-04	2.45E-06
368	7+8	16/09/94	405	3.32	-207	0.819	0.23	3.22	0.131	0.12	5.60	0.11	0.00	1.34	1.80	0.00	4.62	5.09	61.4	3.03E-05	2.85E-05	4.01E-06	5.61E-06	9.08E-05	1.30E-04	2.35E-06
369	7+8	07/04/95	250	3.52	-200	0.761	0.27	2.22	0.156	0.21	1.00	0.11	0.01	3.30	0.80	1.69	1.88	2.95	66.7	2.82E-05	1.74E-05	1.58E-06	6.71E-06	6.26E-05	1.30E-04	2.79E-06
370	7+8	02/06/95	260	3.24	-246	1.125	0.43	1.63	0.323	0.02	0.70	0.12	0.00	0.80	1.31	0.49	3.61	4.27	62.8	4.17E-05	2.66E-05	3.83E-06	1.08E-05	4.60E-05	1.30E-04	5.78E-06
371	7+8	10/10/95	450	3.51	-395	1.271	0.45	3.62	0.251	0.56	3.30	0.22	0.01	2.80	0.96	2.33	7.22	5.22	107.5	4.71E-05	3.97E-05	5.47E-06	1.12E-05	1.02E-04	1.57E-04	4.49E-06
372	7+8	21/02/96	710	3.30	-234	1.038	0.36	1.59	0.185	0.28	1.60	0.20	0.00	2.50	0.58	1.15	3.65	6.32	67.5	3.85E-05	3.23E-05	2.85E-06	9.01E-06	4.48E-05	5.00E-05	3.31E-06
373	7+8	30/05/96	1340	3.69	-397	0.873	0.32	2.25	0.173	0.04	1.60	0.17	0.00	1.80	0.62	0.00	3.97	7.50	90.0	3.24E-05	2.46E-05	3.43E-06	7.98E-06	6.35E-05	5.00E-05	3.10E-06
374	7+8	12/06/96	360	3.54	-306	0.581	0.51	1.30	0.310	0.00	1.00	0.21	0.04	2.20	0.74	0.55	2.66	4.66	75.0	2.15E-05	2.15E-05	2.02E-06	1.27E-05	3.67E-05	5.00E-05	5.55E-06
375	7+8	28/02/97	1340	3.85	-712	0.885	0.18	0.81	0.218	0.00	0.80	0.11	0.01	1.20	0.61	0.00	2.69	4.26	174.9	3.28E-05	1.14E-05	3.13E-06	4.37E-06	2.28E-05	5.00E-05	3.90E-06
376																										
377	Eaux gravitaires Bs																									
378	9	14/11/96	9	7.51	-2264	1.400	2.72	53.56	0.348	0.00		0.93	0.08		7.27	4.82	9.64	83.10		5.19E-05	3.10E-05	7.64E-06	6.79E-05	1.51E-03	5.00E-05	6.23E-06
379	9	10/11/97	55	7.50	747	0.752	8.32	8.03	0.142	0.28	72.50	1.05	0.02	2.89	15.38	16.16	16.30	26.70	134.2	2.79E-05	1.85E-05	4.56E-06	2.08E-04	2.26E-04	5.00E-05	2.54E-06
380	9	05/12/96	9	7.13	-1027	0.376	1.81	30.26	0.038	0.38		0.48	0.02		2.69	0.97	5.03	51.77	132.1	1.39E-05	1.17E-05	2.02E-06	4.52E-05	8.53E-04	5.00E-05	6.80E-07
381	9+10+12	17/01/95	40	7.09	-675	0.267	3.90	21.56	0.056	0.11	40.00	0.86	0.08	8.40	4.13	15.16	36.60	55.63	85.8	9.91E-06	9.91E-06	3.09E-06	9.73E-05	6.08E-04	1.30E-04	1.00E-06
382	10	19/09/95	10	4.24	ND			8																		



	1	2	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
1	N°	Date	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	Fulvate	Al 3+	Al(OH) 2+	Al(OH)2 +	Al(OH)3°	Al(OH)4 -	AlCl 2+	AlCl2 +	AlCl3°	AlSO4 +	Al(SO4)2
2			moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]
339	8	26/05/94	2.73E-05	3.58E-05	3.41E-06	7.28E-08	3.74E-05	0.00E+00	4.00E-06	9.11E-05	6.32E-05	1.68E-04	2.22E-06	3.00E-08	3.03E-10	8.69E-14	1.97E-16	9.07E-09	3.91E-12	1.78E-17	2.90E-07	4.89E-10
340	8	01/08/94	1.62E-05	6.39E-05	2.92E-06	9.10E-08	3.04E-05	3.40E-05	0.00E+00	1.82E-05	4.79E-05	1.06E-04	1.98E-06	4.00E-08	6.01E-10	2.55E-13	8.50E-16	1.13E-08	6.75E-12	4.23E-17	2.05E-07	2.68E-10
341	8	09/09/94	9.47E-06	8.44E-05	2.71E-06	5.46E-08	3.35E-05	1.18E-05	0.00E+00	1.02E-04	3.81E-05	1.45E-04	1.66E-06	2.48E-08	2.75E-10	8.65E-14	2.14E-16	8.67E-09	4.75E-12	2.74E-17	1.34E-07	1.37E-10
342	8	29/09/94	3.32E-06	9.46E-05	3.70E-06	5.46E-08	3.91E-05	1.34E-05	0.00E+00	7.65E-05	3.50E-05	1.53E-04	1.69E-06	3.32E-08	4.87E-10	2.02E-13	6.59E-16	1.07E-08	7.06E-12	4.91E-17	1.27E-07	1.20E-10
343	8	13/12/94	9.42E-06	2.02E-04	7.98E-06	5.46E-08	6.52E-05	1.16E-05	0.00E+00	1.89E-04	5.07E-05	3.48E-04	3.75E-06	6.90E-08	9.59E-10	3.79E-13	1.19E-15	3.52E-08	3.80E-11	3.69E-16	3.80E-07	5.10E-10
344	8	17/01/95	0.00E+00	6.39E-05	6.04E-06	6.19E-07	6.52E-05	3.23E-06	3.69E-06	6.84E-05	3.86E-05	1.69E-04	1.44E-06	2.25E-08	2.62E-10	8.62E-14	2.23E-16	8.58E-09	5.36E-12	3.52E-17	1.18E-07	1.22E-10
345	8	02/02/95	2.84E-06	4.35E-05	5.39E-06	1.82E-08	4.35E-05	0.00E+00	0.00E+00	5.38E-05	3.54E-05	1.73E-04	2.24E-06	6.90E-08	1.57E-09	1.01E-12	5.08E-15	1.04E-08	5.06E-12	2.57E-17	1.77E-07	1.73E-10
346	8	27/02/95	8.74E-06	3.58E-05	4.11E-06	3.64E-08	5.65E-05	0.00E+00	0.00E+00	4.77E-05	2.07E-05	2.31E-04	2.26E-06	4.36E-08	6.26E-10	2.54E-13	8.07E-16	1.21E-08	6.82E-12	4.02E-17	1.01E-07	5.70E-11
347	8	24/03/95	2.24E-05	3.32E-05	4.48E-06	5.46E-08	3.48E-05	0.00E+00	0.00E+00	4.66E-05	2.33E-05	3.13E-04	3.69E-06	4.76E-08	4.60E-10	1.26E-13	2.72E-16	1.39E-08	5.50E-12	2.30E-17	1.78E-07	1.10E-10
348	8	02/05/95	0.00E+00	3.07E-05	4.32E-06	1.82E-08	3.91E-05	0.00E+00	0.00E+00	5.73E-05	2.37E-05	2.42E-04	2.27E-06	2.68E-08	2.36E-10	5.90E-14	1.16E-16	8.68E-09	3.49E-12	1.48E-17	1.11E-07	7.01E-11
349	8	18/07/95	0.00E+00	5.63E-05	1.73E-06	1.82E-08	1.87E-04	0.00E+00	5.12E-05	4.63E-05	2.39E-05	1.56E-04	5.96E-08	2.84E-09	1.00E-10	9.99E-14	7.77E-16	9.88E-11	1.71E-14	3.10E-20	3.20E-09	2.14E-12
350	8	19/09/95	7.05E-06	1.10E-04	4.81E-06	7.28E-08	5.22E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.39E-04	4.21E-05	2.71E-04	2.10E-06	3.93E-08	5.48E-10	2.17E-13	6.78E-16	9.70E-09	4.71E-12	2.41E-17	1.86E-07	2.11E-10
351	8	05/12/95	1.58E-06	6.91E-05	8.43E-06	9.10E-08	8.26E-05	1.63E-05	0.00E+00	2.09E-04	4.59E-05	2.89E-04	4.22E-06	6.50E-08	7.52E-10	2.48E-13	6.48E-16	2.68E-08	1.79E-11	1.27E-16	3.93E-07	4.77E-10
352	8	05/01/96	8.58E-06	4.60E-05	9.54E-06	5.46E-08	8.70E-05	2.10E-05	5.05E-06	1.49E-04	5.40E-05	2.71E-04	3.28E-06	4.93E-08	5.57E-10	1.79E-13	4.57E-16	1.76E-08	9.97E-12	5.98E-17	3.58E-07	5.11E-10
353	8	31/07/96	1.14E-05	2.30E-05	7.52E-06	7.28E-08	8.70E-05	9.51E-06	0.00E+00	1.65E-04	4.87E-05	3.07E-04	4.93E-06	7.78E-08	9.21E-10	3.10E-13	8.28E-16	3.12E-08	2.08E-11	1.47E-16	4.88E-07	6.28E-10
354	8	14/11/96	6.37E-06	2.56E-05	6.66E-06	5.46E-08	8.70E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.83E-04	2.38E-05	5.63E-04	4.33E-06	6.98E-08	8.45E-10	2.91E-13	7.96E-16	1.69E-08	6.97E-12	3.04E-17	2.07E-07	1.29E-10
355	8	05/12/96	3.63E-06	1.53E-05	3.54E-06	0.00E+00	6.09E-05	0.00E+00	0.00E+00	6.69E-05	2.52E-05	4.21E-04	2.81E-06	5.02E-08	6.70E-10	2.53E-13	7.54E-16	8.97E-09	3.01E-12	1.06E-17	1.49E-07	1.01E-10
356	8	24/12/96	0.00E+00	1.53E-05	2.34E-06	5.46E-08	3.91E-05	0.00E+00	0.00E+00	6.30E-05	3.32E-05	4.84E-04	8.97E-06	1.83E-07	2.81E-09	1.22E-12	4.17E-15	1.40E-08	2.31E-12	4.00E-18	6.16E-07	5.44E-10
357	5+6	24/03/94	1.32E-05	2.38E-05	3.87E-06	5.46E-08	4.57E-05	6.45E-06	5.16E-06	5.91E-05	2.94E-05	1.55E-04	1.13E-06	2.25E-08	3.30E-10	1.37E-13	4.45E-16	4.21E-09	1.64E-12	6.68E-18	7.30E-08	5.87E-11
358	5+6	20/08/94	4.37E-06	6.39E-05	5.18E-06	5.46E-08	3.91E-05	3.27E-05	0.00E+00	1.08E-04	3.87E-05	1.60E-04	2.55E-06	4.57E-08	6.11E-10	2.31E-13	6.87E-16	1.84E-08	1.40E-11	1.11E-16	2.09E-07	2.18E-10
359	5+6	01/01/95	1.42E-05	1.79E-05	5.18E-06	7.28E-08	2.61E-04	1.06E-05	0.00E+00	1.19E-04	3.86E-05	1.35E-04	4.74E-07	2.64E-08	1.09E-09	1.28E-12	1.17E-14	2.21E-09	1.08E-12	5.53E-18	4.05E-08	4.34E-11
360	5+6	06/11/95	4.95E-06	3.58E-05	6.04E-06	9.10E-08	6.52E-05	1.81E-05	5.26E-06	9.93E-05	3.33E-05	1.08E-04	2.77E-06	3.67E-08	3.63E-10	1.02E-13	2.25E-16	1.61E-08	9.83E-12	6.32E-17	1.92E-07	1.70E-10
361	5+6	16/09/96	1.04E-05	3.32E-05	3.70E-06	1.27E-07	3.48E-05	8.87E-06	0.00E+00	9.68E-05	2.26E-05	1.44E-04	1.68E-06	7.54E-08	2.50E-09	2.32E-12	1.68E-14	5.73E-09	2.04E-12	7.53E-18	8.75E-08	5.56E-11
362	5+6+7	31/07/96	1.19E-05	2.05E-05	6.21E-06	1.09E-07	8.70E-05	1.23E-05	0.00E+00	1.72E-04	4.30E-05	1.81E-04	3.89E-06	1.06E-07	2.14E-09	1.23E-12	5.51E-15	1.75E-08	8.22E-12	4.06E-17	3.59E-07	4.20E-10
363	5+6+7+8	25/06/96	1.43E-05	3.07E-05	1.07E-05	2.18E-07	1.78E-04	3.58E-05	4.63E-06	1.68E-04	5.91E-05	1.63E-04	9.83E-07	1.22E-08	1.15E-10	3.07E-14	6.53E-17	5.78E-09	3.61E-12	2.39E-17	1.15E-07	1.79E-10
364	5+6+8	13/08/94	1.27E-05	9.97E-05	4.85E-06	7.28E-08	4.35E-05	8.69E-05	3.58E-06	4.02E-05	5.52E-05	1.34E-04	1.90E-06	3.08E-08	3.73E-10	1.29E-13	3.51E-16	1.20E-08	8.05E-12	5.69E-17	2.17E-07	3.20E-10
365	5+7	27/02/95	2.16E-06	4.60E-05	6.37E-06	1.09E-07	1.91E-04	1.61E-05	2.41E-05	9.72E-05	3.51E-05	2.13E-04	8.40E-07	1.84E-08	3.02E-10	1.40E-13	5.15E-16	5.24E-09	3.45E-12	2.39E-17	6.21E-08	5.90E-11
366	5+7+8	28/06/95	2.79E-05	3.58E-05	4.52E-06	0.00E+00	2.44E-04	1.14E-05	4.35E-05	8.19E-05	3.51E-05	7.85E-05	3.08E-07	1.08E-08	2.83E-10	2.09E-13	1.21E-15	6.72E-10	1.54E-13	3.68E-19	2.38E-08	2.31E-11
367	6+8	24/11/94	1.42E-05	5.88E-05	5.63E-06	7.28E-08	1.83E-04	1.87E-05	4.63E-06	1.61E-04	3.23E-05	2.23E-04	4.70E-07	7.80E-09	9.68E-11	3.42E-14	9.53E-17	3.57E-09	2.85E-12	2.41E-17	3.15E-08	2.74E-11
368	7+8	16/09/94	6.11E-06	1.43E-04	4.61E-06	7.28E-08	5.83E-05	2.90E-05	0.00E+00	1.64E-04	5.30E-05	2.22E-04	3.55E-06	4.76E-08	4.78E-10	1.37E-13	3.12E-16	2.72E-08	2.20E-11	1.89E-16	3.78E-07	5.27E-10
369	7+8	07/04/95	1.11E-05	2.56E-05	4.61E-06	1.09E-07	1.44E-04	1.29E-05	1.78E-05	6.69E-05	3.07E-05	2.41E-04	8.45E-07	1.82E-08	2.92E-10	1.33E-13	4.75E-16	4.55E-09	2.58E-12	1.53E-17	5.53E-08	4.62E-11
370	7+8	02/06/95	1.05E-06	1.79E-05	4.73E-06	5.46E-08	3.48E-05	2.11E-05	5.16E-06	1.29E-04	4.44E-05	2.27E-04	3.27E-06	3.66E-08	3.07E-10	7.32E-14	1.38E-16	1.28E-08	5.26E-12	2.29E-17	2.93E-07	3.42E-10
371	7+8	10/10/95	2.92E-05	8.44E-05	8.96E-06	1.09E-07	1.22E-04	1.55E-05	2.45E-05	2.57E-04	5.43E-05	3.88E-04	2.65E-06	5.48E-08	8.52E-10	3.78E-13	1.33E-15	2.27E-08	2.05E-11	1.97E-16	2.90E-07	4.18E-10
372	7+8	21/02/96	1.48E-05	4.09E-05	8.18E-06	1.82E-08	1.09E-04	9.35E-06	1.21E-05	1.30E-04	6.58E-05	2.44E-04	2.11E-06	2.70E-08	2.59E-10	7.11E-14	1.54E-16	7.97E-09	3.18E-12	1.35E-17	2.79E-07	4.84E-10
373	7+8	30/05/96	2.05E-06	4.09E-05	7.03E-06	5.46E-08	7.83E-05	9.97E-06	0.00E+00	1.41E-04	7.81E-05	3.25E-04	2.85E-06	9.01E-08	2.13E-09	1.43E-12	7.62E-15	1.54E-08	8.79E-12	5.29E-17	4.67E-07	9.87E-10
374	7+8	12/06/96	0.00E+00	2.56E-05	8.51E-06	8.01E-07	9.57E-05	1.19E-05	5.79E-06	9.47E-05	4.85E-05	2.71E-04	1.45E-06	3.26E-08	5.47E-10	2.60E-13	9.76E-16	4.56E-09	1.51E-12	5.26E-18	1.49E-07	1.95E-10
375	7+8	28/02/97	0.00E+00	2.05E-05	4.52E-06	9.10E-08	5.22E-05	9.84E-06	0.00E+00	9.58E-05	4.43E-05	6.31E-04	2.74E-06	1.25E-07	4.27E-09	4.15E-12	3.19E-14	5.31E-09	1.09E-12	2.35E-18	2.55E-07	3.08E-10
376																						
377		Eaux gravitaires Bs																				
378	9	14/11/96	0.00E+00		3.83E-05	1.47E-06		1.17E-04	5.08E-05	3.43E-04	8.65E-04		1.81E-13	3.32E-11	4.87E-09	2.16E-08	8.09E-07	1.92E-14	2.29E-16	3.07E-20	2.26E-13	4.72E-15
379	9	10/11/97	1.47E-05	1.85E-03	4.32E-05	4.37E-07	1.26E-04	2.48E-04	1.70E-04	5.80E-04	2.78E-04	4.87E-04	3.87E-14	6.54E-12	9.09E-10	3.94E-09	1.49E-07	5.62E-16	9.46E-19	1.85E-23	1.27E-14	7.81E-17
380	9	05/12/96	2.01E-05		1.96E-05	3.09E-07		4.34E-05														



	1	2	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
1	N°	Date	AlPO4°	AlHPO4 +	AlH2PO4 2+	AlOSi(OH)3 2+	AlF 2+	AlF2 +	AlF3 °	AlF4 -	Polymères	Al organique	Force ionique	Activités (moles/l)				
2			[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[molesd'Al/l]	[moles d'Al/l]	moles/l	{Ca 2+}	{Mg 2+}	{K +}	{Na +}	{Al 3+}
339	8	26/05/94	1.34E-07	1.89E-08	7.59E-09	9.99E-10	9.68E-06	7.10E-06	1.41E-07	9.36E-11	4.93E-06	3.46E-06	5.45E-04	4.77E-06	3.08E-06	3.49E-05	3.64E-05	1.76E-06
340	8	01/08/94	6.58E-20	6.29E-21	1.69E-21	2.67E-10	4.13E-06	4.12E-06	1.10E-07	9.75E-11	0.00E+00	2.76E-09	4.30E-04	4.71E-06	2.66E-06	6.25E-05	2.97E-05	1.61E-06
341	8	09/09/94	3.08E-20	3.97E-21	1.45E-21	9.23E-10	5.96E-06	1.32E-06	7.94E-09	1.59E-12	1.48E-06	9.75E-06	4.90E-04	5.31E-06	2.46E-06	8.23E-05	3.27E-05	1.33E-06
342	8	29/09/94	5.39E-20	5.27E-21	1.45E-21	9.31E-10	2.15E-06	3.28E-07	1.35E-09	1.84E-13	6.77E-06	6.85E-06	4.52E-04	9.57E-06	3.37E-06	9.24E-05	3.82E-05	1.36E-06
343	8	13/12/94	9.87E-20	1.01E-20	2.95E-21	4.73E-09	5.67E-06	1.41E-06	9.54E-09	2.17E-12	4.68E-06	2.31E-05	6.80E-04	7.71E-06	7.11E-06	1.96E-04	6.34E-05	2.89E-06
344	8	17/01/95	1.08E-07	1.33E-08	4.65E-09	5.64E-10	9.03E-19	2.40E-32	1.72E-47	4.11E-64	8.08E-07	1.58E-05	4.93E-04	3.95E-06	5.47E-06	6.24E-05	6.36E-05	1.15E-06
345	8	02/02/95	1.57E-19	9.91E-21	1.76E-21	1.36E-09	1.89E-06	2.66E-07	1.01E-09	1.26E-13	6.22E-06	1.22E-05	3.61E-04	5.68E-06	4.95E-06	4.26E-05	4.26E-05	1.85E-06
346	8	27/02/95	6.81E-20	6.81E-21	1.92E-21	7.63E-10	4.85E-06	1.42E-06	1.12E-08	2.95E-12	2.36E-06	1.21E-05	4.29E-04	5.30E-06	3.75E-06	3.50E-05	5.52E-05	1.83E-06
347	8	24/03/95	4.97E-20	7.36E-21	3.09E-21	8.14E-10	6.31E-06	5.88E-06	1.48E-07	1.25E-10	8.78E-06	1.33E-06	5.24E-04	3.38E-06	4.05E-06	3.24E-05	3.39E-05	2.93E-06
348	8	02/05/95	2.61E-20	4.23E-21	1.95E-21	5.62E-10	8.65E-19	2.70E-32	2.27E-47	6.40E-64	1.11E-05	1.25E-05	5.14E-04	6.83E-06	3.90E-06	2.99E-05	3.82E-05	1.81E-06
349	8	18/07/95	6.15E-07	2.51E-08	2.87E-09	4.82E-11	3.79E-19	8.90E-32	5.60E-46	1.17E-61	7.34E-06	3.78E-06	3.67E-04	5.13E-06	1.58E-06	5.51E-05	1.83E-04	4.91E-08
350	8	19/09/95	5.98E-20	6.12E-21	1.78E-21	1.98E-09	4.12E-06	1.02E-06	6.77E-09	1.51E-12	4.55E-06	1.41E-05	5.21E-04	3.81E-06	4.35E-06	1.07E-04	5.09E-05	1.67E-06
351	8	05/12/95	7.88E-20	9.69E-21	3.39E-21	4.96E-09	1.37E-06	4.15E-08	3.40E-11	9.37E-16	6.92E-06	3.15E-05	6.02E-04	7.90E-06	7.56E-06	6.72E-05	8.04E-05	3.30E-06
352	8	05/01/96	3.02E-07	3.80E-08	1.36E-08	2.68E-09	5.85E-06	1.01E-06	4.69E-09	7.36E-13	8.72E-06	2.18E-05	6.22E-04	1.27E-05	8.54E-06	4.48E-05	8.46E-05	2.56E-06
353	8	31/07/96	9.48E-20	1.14E-20	3.90E-21	4.69E-09	7.26E-06	1.60E-06	9.57E-09	1.92E-12	3.20E-07	2.38E-05	5.96E-04	8.64E-06	6.75E-06	2.24E-05	8.47E-05	3.86E-06
354	8	14/11/96	8.79E-20	1.03E-20	3.45E-21	4.66E-09	3.50E-06	9.19E-07	6.54E-09	1.56E-12	7.40E-06	1.81E-05	6.10E-04	3.55E-06	5.97E-06	2.49E-05	8.46E-05	3.88E-06
355	8	05/12/96	7.19E-20	7.70E-21	2.34E-21	1.23E-09	1.96E-06	4.34E-07	2.60E-09	5.20E-13	1.07E-05	9.93E-06	4.99E-04	2.60E-06	3.20E-06	1.50E-05	5.94E-05	2.25E-06
356	8	24/12/96	2.41E-19	2.25E-20	5.94E-21	4.23E-09	7.89E-19	4.81E-32	7.93E-47	4.36E-63	2.14E-06	1.50E-05	4.97E-04	2.19E-06	2.12E-06	1.50E-05	3.82E-05	7.17E-06
357	5+6	24/03/94	1.93E-07	1.88E-08	5.18E-09	4.86E-10	6.07E-06	2.74E-06	3.31E-08	1.33E-11	1.07E-05	7.20E-06	4.00E-04	7.35E-06	3.53E-06	2.33E-05	4.47E-05	9.24E-07
358	5+6	20/08/94	6.61E-20	7.08E-21	2.15E-21	1.81E-09	3.31E-06	3.45E-07	9.68E-10	9.09E-14	8.13E-06	1.48E-05	4.86E-04	8.73E-06	4.70E-06	6.24E-05	3.82E-05	2.04E-06
359	5+6	01/01/95	1.16E-19	4.04E-21	3.94E-22	1.15E-09	4.95E-06	3.58E-06	6.95E-08	4.49E-11	4.57E-06	1.07E-05	4.16E-04	6.74E-06	4.73E-06	1.75E-05	2.55E-04	3.86E-07
360	5+6	06/11/95	2.10E-07	3.03E-08	1.24E-08	1.33E-09	3.64E-06	4.28E-07	1.36E-09	1.45E-13	5.73E-06	6.21E-06	5.09E-04	1.32E-05	5.47E-06	3.49E-05	6.36E-05	2.21E-06
361	5+6	16/09/96	2.30E-19	1.01E-20	1.23E-21	2.67E-09	3.18E-06	2.48E-06	5.18E-08	3.57E-11	6.60E-06	4.01E-06	2.80E-04	6.48E-06	3.43E-06	3.26E-05	3.41E-05	1.42E-06
362	5+6+7	31/07/96	1.89E-19	1.41E-20	2.82E-21	6.64E-09	6.18E-06	2.25E-06	2.20E-08	7.16E-12	6.10E-06	1.23E-05	4.46E-04	1.61E-05	5.65E-06	2.00E-05	8.50E-05	3.14E-06
363	5+6+7+8	25/06/96	5.96E-08	9.02E-09	3.90E-09	7.51E-10	6.58E-06	2.85E-06	3.37E-08	1.34E-11	1.51E-05	5.13E-06	6.90E-04	1.99E-05	9.55E-06	2.98E-05	1.73E-04	7.56E-07
364	5+6+8	13/08/94	1.48E-07	1.74E-08	5.80E-09	4.53E-10	6.66E-06	2.35E-06	2.25E-08	7.19E-12	2.60E-06	6.23E-06	5.65E-04	6.46E-06	4.36E-06	9.71E-05	4.24E-05	1.50E-06
365	5+7	27/02/95	8.24E-07	7.18E-08	1.77E-08	6.55E-10	1.71E-06	1.14E-07	2.04E-10	1.23E-14	6.46E-06	2.32E-05	5.33E-04	7.41E-06	5.75E-06	4.49E-05	1.87E-04	6.66E-07
366	5+7+8	28/06/95	1.43E-06	7.83E-08	1.21E-08	3.25E-10	5.77E-06	8.45E-06	3.33E-07	4.36E-10	1.34E-05	2.02E-06	4.26E-04	7.33E-06	4.12E-06	3.50E-05	2.38E-04	2.50E-07
367	6+8	24/11/94	5.15E-08	5.91E-09	1.93E-09	4.58E-10	6.63E-06	2.92E-06	3.47E-08	1.39E-11	1.06E-05	1.05E-05	5.71E-04	1.62E-06	5.07E-06	5.73E-05	1.78E-04	3.70E-07
368	7+8	16/09/94	5.15E-20	7.27E-21	2.93E-21	2.85E-09	4.64E-06	5.09E-07	1.51E-09	1.52E-13	1.81E-06	1.94E-05	6.42E-04	5.02E-06	4.12E-06	1.39E-04	5.67E-05	2.76E-06
369	7+8	07/04/95	5.90E-07	5.26E-08	1.33E-08	4.46E-10	4.66E-06	2.33E-06	3.14E-08	1.42E-11	1.08E-05	8.83E-06	4.92E-04	6.08E-06	4.17E-06	2.49E-05	1.40E-04	6.76E-07
370	7+8	02/06/95	1.72E-07	2.92E-08	1.41E-08	1.73E-09	9.32E-07	1.58E-08	7.24E-12	1.12E-16	1.51E-05	2.18E-05	5.86E-04	9.68E-06	4.25E-06	1.74E-05	3.39E-05	2.57E-06
371	7+8	10/10/95	2.19E-06	2.00E-07	5.21E-08	5.12E-09	1.01E-05	7.89E-06	1.67E-07	1.19E-10	7.42E-06	1.61E-05	6.87E-04	9.95E-06	7.98E-06	8.20E-05	1.18E-04	2.04E-06
372	7+8	21/02/96	3.47E-07	5.13E-08	2.16E-08	1.28E-09	9.03E-06	2.31E-06	1.61E-08	3.78E-12	6.16E-06	1.81E-05	6.57E-04	8.04E-06	7.30E-06	3.98E-05	1.06E-04	1.63E-06
373	7+8	30/05/96	1.99E-19	1.20E-20	2.05E-21	4.64E-09	1.35E-06	1.65E-07	5.43E-10	5.99E-14	7.79E-06	1.96E-05	5.46E-04	7.19E-06	6.34E-06	3.99E-05	7.63E-05	2.25E-06
374	7+8	12/06/96	3.48E-07	2.96E-08	7.13E-09	1.13E-09	8.35E-19	3.93E-32	4.98E-47	2.11E-63	0.00E+00	1.95E-05	5.06E-04	1.15E-05	7.70E-06	2.49E-05	9.33E-05	1.16E-06
375	7+8	28/02/97	3.33E-19	1.39E-20	1.64E-21	4.38E-09	3.92E-19	8.59E-32	5.08E-46	1.01E-61	2.14E-05	8.26E-06	5.47E-04	3.93E-06	4.08E-06	1.99E-05	5.08E-05	2.17E-06
376																		
377		Eaux gravitaires Bs																
378	9	14/11/96	6.80E-06	6.21E-11	1.71E-15	4.11E-12	8.03E-24	3.10E-36	3.44E-50	1.37E-65	2.09E-05	2.33E-05	2.86E-03	5.41E-05	3.06E-05	0.00E+00	0.00E+00	1.09E-13
379	9	10/11/97	4.41E-06	4.11E-11	1.20E-15	1.36E-12	3.68E-12	1.96E-11	3.11E-12	1.81E-14	9.40E-06	1.39E-05	4.71E-03	1.56E-04	3.25E-05	1.72E-03	1.17E-04	2.04E-14
380	9	05/12/96	1.88E-06	4.12E-11	2.77E-15	4.58E-12	1.41E-09	1.06E-08	2.33E-09	1.85E-11	2.24E-06	9.68E-06	3.77E-03	3.50E-05	1.52E-05	0.00E+00	0.00E+00	5.31E-13
381	9+10+12	17/01/95	3.08E-06	7.39E-11	5.48E-15	3.00E-12	1.86E-12	3.94E-12	2.46E-13	5.60E-16	0.00E+00	6.82E-06	4.12E-03	7.45E-05	2.71E-05	9.55E-04	3.42E-04	5.36E-14
382	10	19/09/95					ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
383																		
384		Eaux de rétention Ao																
385	EC1	02/05/94	8.81E-08	1.19E-08	4.60E-09	3.13E-10	5.27E-06	3.16E-06	5.17E-08	2.86E-11	3.48E-08	4.85E-06	7.79E-04	1.45E-05	9.23E-06	4.21E-05	8.01E-05	7.34E-07
386	EC1	02/06/94	1.44E-13	1.41E-14	3.94E-15	4.40E-16	6.86E-06	8.20E-06	2.68E-07	2.96E-10	8.81E-07	7.88E-06	7.79E-04	2.09E-05	1.42E-05	6.20E-05	5.90E-05	5.20E-13



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
1	N°	Date	Pluviométrie (mm)	pH	ANC	Al total	Ca	Cl	Fe	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	C org.	Al total	Al monomérique	Al 8-OH-O	Ca	Cl	C min	Fe		
2			ou volume (ml)	20 °C	μéquiv/L	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l		
387	EC1	11/10/94		3.11	-597	0.500	0.73	8.26	0.176	0.29	1.70	0.40	0.04	1.49	0.88	0.53	5.26	5.86	101.7	1.85E-05	1.85E-05	1.37E-06	1.82E-05	2.33E-04	1.30E-04	3.15E-04		
388	EC1	02/05/95	1600	3.20	-483	0.568	1.04	3.75	0.200	0.05	1.50	0.31	0.04	2.30	0.00	0.00	2.60	6.75	117.1	2.11E-05	9.73E-06	9.54E-07	2.59E-05	1.06E-04	1.30E-04	3.58E-04		
389	EC1	02/05/96	280	3.33	-452	0.400	0.79	6.56	0.187	0.14	3.10	0.38	0.04	2.00	0.66	0.46	3.91	10.50	73.8	1.48E-05	1.48E-05	1.33E-06	1.97E-05	1.85E-04	5.00E-05	3.35E-04		
390																												
391	Eaux de rétention A2																											
392	EC2	02/05/94		4.04	-170.0	1.690	0.35	4.27	0.428	0.29	1.40	0.17	0.01	1.40	0.17	0.34	3.43	5.35	45.9	6.26E-05	1.02E-05	1.28E-06	8.73E-06	1.20E-04	1.42E-04	7.66E-04		
393	EC2	02/06/94		3.40	-301	1.560	0.87	6.21	0.381	0.50	2.30	0.34	0.01	1.40	1.49	0.50	4.22	7.70	57.9	5.78E-05	2.39E-05	2.45E-07	2.18E-05	1.75E-04	1.42E-04	6.82E-04		
394	EC2	11/10/94		3.49	-334	1.496	0.48	6.54	0.460	0.35	1.80	0.29	0.02	1.54	1.68	0.76	5.02	5.25	64.2	5.54E-05	2.05E-05	2.34E-06	1.19E-05	1.84E-04	1.30E-04	8.24E-04		
395	EC2	02/05/95	350	3.26	-278	1.160	1.06	3.08	0.298	0.27	0.80	0.28	0.02	1.50	1.52	0.86	2.77	5.62	68.6	4.30E-05	1.18E-05	1.65E-06	2.64E-05	8.69E-05	1.30E-04	5.34E-04		
396	EC2	02/05/96	130	3.27	-480	1.134	1.42	11.56	0.309	0.53	3.40	0.79	0.04	2.80	1.41	0.68	5.23	9.55	82.5	4.20E-05	2.18E-05	2.68E-06	3.54E-05	3.26E-04	5.00E-05	5.53E-04		
397																												
398	Source 1																											
399	II	01/02/94		4.48	-26.9	0.687	2.40	2.42	0.027	0.09	1.50	0.82	0.27	1.00	5.41	0.00	2.83	8.60	4.3	2.55E-05	2.12E-05	9.89E-06	5.99E-05	6.83E-05	1.34E-04	4.83E-04		
400	II	09/02/94		4.40	-113	0.644	2.30	2.31	0.000	0.03	1.08	0.74	0.24	0.12	5.27	0.00	2.70	9.13	8.6	2.39E-05	2.01E-05	1.14E-05	5.74E-05	6.51E-05	1.23E-04	0.00E-04		
401	II	03/03/94		4.38	927	3.210	11.60	2.03	0.113	0.06	1.40	3.82	1.24	1.10	5.25	0.00	13.30	9.00	1.6	1.19E-04	2.82E-05	1.17E-05	2.89E-04	5.72E-05	1.23E-04	2.02E-04		
402	II	24/03/94		4.41	-22	0.541	2.20	2.01	0.020	0.10	1.66	0.68	0.21	1.33	4.74	0.00	2.36	8.67	4.1	2.01E-05	2.01E-05	9.96E-06	5.49E-05	5.67E-05	1.26E-04	3.58E-04		
403	II	19/04/94		4.52	-14	0.505	2.11	2.01	0.019	0.04	1.10	0.71	0.21	0.90	4.11	0.00	2.39	7.64	1.8	1.87E-05	1.87E-05	1.30E-05	5.26E-05	5.67E-05	1.33E-04	3.40E-04		
404	II	02/05/94		4.41	-27	0.527	2.17	2.06	0.036	0.06	0.90	0.66	0.25	0.90	3.12	0.00	2.41	8.91	1.1	1.95E-05	1.95E-05	1.30E-05	5.41E-05	5.81E-05	1.42E-04	6.45E-04		
405	II	26/05/94		4.49	-17	0.446	2.04	1.79	0.033	0.27	1.10	0.68	0.24	0.94	3.13	0.00	2.40	8.06	1.2	1.65E-05	1.65E-05	1.13E-05	5.09E-05	5.05E-05	1.42E-04	5.91E-04		
406	II	02/06/94		4.46	-11	0.520	2.17	1.90	0.040	0.35	1.40	0.69	0.25	1.20	3.54	0.00	2.47	8.49	1.7	1.93E-05	1.93E-05	1.16E-05	5.41E-05	5.36E-05	1.42E-04	7.16E-04		
407	II	09/06/94		4.63	-4	0.590	2.02	1.93	0.032	0.02	1.30	0.66	0.24	1.10	3.55	0.00	2.40	8.38	1.6	2.19E-05	2.19E-05	1.33E-05	5.04E-05	5.44E-05	1.25E-04	5.73E-04		
408	II	07/07/94		4.46	-26	0.441	2.21	1.93	0.050	0.26	1.30	0.69	0.29	1.00	3.80	0.00	2.47	8.50	2.0	1.63E-05	1.63E-05	1.36E-05	5.51E-05	5.44E-05	1.26E-04	8.95E-04		
409	II	21/07/94		4.54	-26	0.342	2.01	1.83	0.051	0.20	1.40	0.66	0.27	1.10	3.48	0.00	0.36	8.33	2.0	1.27E-05	1.27E-05	8.08E-06	5.01E-05	5.16E-05	1.30E-04	9.13E-04		
410	II	02/08/94		4.40	-37	0.417	2.04	1.89	0.044	0.30	1.30	0.67	0.27	1.10	3.53	0.00	0.51	8.42	3.5	1.54E-05	1.54E-05	8.35E-06	5.09E-05	5.33E-05	1.30E-04	7.88E-04		
411	II	13/08/94		4.48	-28	0.359	2.10	2.02	0.056	0.12	1.50	0.67	0.28	1.00	2.94	0.00	1.83	8.76	3.3	1.33E-05	1.33E-05	7.11E-06	5.24E-05	5.70E-05	1.30E-04	1.00E-04		
412	II	09/09/94		4.44	-3	0.284	2.11	2.31	0.057	0.19	2.00	0.70	0.28	1.15	3.38	0.00	2.60	7.75	2.0	1.05E-05	1.05E-05	4.64E-06	5.26E-05	6.51E-05	1.30E-04	1.02E-04		
413	II	29/09/94		4.21	-4	0.438	1.97	1.84	0.036	0.07	1.50	0.66	0.22	1.20	3.50	0.00	2.60	8.20	1.5	1.62E-05	1.62E-05	9.21E-06	4.92E-05	5.19E-05	1.30E-04	6.45E-04		
414	II	02/11/94		4.33	-20	0.411	2.34	1.98	0.038	0.07	1.20	0.77	0.27	1.00	3.88	0.00	2.73	8.80	2.5	1.52E-05	1.52E-05	1.04E-05	5.84E-05	5.58E-05	1.30E-04	6.80E-04		
415	II	24/11/94		4.32	-42	0.451	2.09	2.07	0.034	0.18	1.60	0.73	0.25	1.00	4.43	0.00	2.73	8.85	2.4	1.67E-05	1.67E-05	1.07E-05	5.21E-05	5.84E-05	1.30E-04	6.09E-04		
416	II	13/12/94		4.49	-31	0.468	2.15	2.03	0.025	0.12	1.70	0.71	0.18	1.00	4.22	0.00	2.63	8.75	2.7	1.73E-05	1.73E-05	1.17E-05	5.36E-05	5.72E-05	1.30E-04	4.48E-04		
417	II	04/01/95		4.41	-34	0.516	2.31	2.03	0.028	0.12	1.40	0.76	0.21	1.00	4.80	0.00	2.69	9.02	2.2	1.91E-05	1.91E-05	1.43E-05	5.76E-05	5.72E-05	1.30E-04	5.01E-04		
418	II	15/01/95		4.45	-12	0.526	2.24	1.88	0.017	0.07	1.50	0.68	0.21	1.00	4.72	0.00	2.50	7.99	2.5	1.95E-05	1.95E-05	1.22E-05	5.59E-05	5.30E-05	1.30E-04	3.04E-04		
419	II	02/02/95		4.22	-35	0.545	2.06	2.01	0.016	0.03	1.50	0.67	0.20	1.10	4.79	0.00	2.68	8.42	4.0	2.02E-05	1.87E-05	1.37E-05	5.14E-05	5.67E-05	1.30E-04	2.86E-04		
420	II	27/02/95		4.32	-51	0.562	2.14	2.96	0.024	0.02	1.50	0.69	0.20	1.10	4.71	0.00	2.61	8.44	3.6	2.08E-05	1.89E-05	1.45E-05	5.34E-05	8.35E-05	1.30E-04	4.30E-04		
421	II	24/03/95		4.04	-9	0.427	2.35	2.08	0.035	0.10	1.70	0.72	0.37	1.20	4.86	0.00	2.59	8.69	1.1	1.58E-05	1.22E-05	9.42E-06	5.86E-05	5.87E-05	1.30E-04	6.27E-04		
422	II	07/04/95		4.39	-50	0.502	2.17	2.51	0.016	0.19	1.40	0.69	0.21	1.10	4.57	0.00	2.49	8.78	1.6	1.86E-05	1.79E-05	1.02E-05	5.41E-05	7.08E-05	1.30E-04	2.86E-04		
423	II	02/05/95		3.92	-37	0.457	2.21	2.12	0.030	0.09	1.30	0.70	0.22	1.00	4.20	0.00	2.45	8.65	3.1	1.70E-05	1.70E-05	1.38E-05	5.51E-05	5.98E-05	1.30E-04	5.37E-04		
424	II	02/06/95		4.30	-40	0.436	2.13	2.02	0.005	0.00	1.20	0.69	0.22	1.10	3.97	0.00	2.49	8.75	4.4	1.62E-05	1.62E-05	1.26E-05	5.31E-05	5.70E-05	1.30E-04	8.95E-04		
425	II	28/06/95		4.33	-49	0.427	2.04	1.91	0.000	0.16	1.20	0.65	0.18	1.10	3.64	0.00	2.26	8.97	3.6	1.58E-05	1.58E-05	1.09E-05	5.09E-05	5.39E-05	1.30E-04	0.00E+00		
426	II	18/07/95		4.21	15	0.436	2.18	0.53	0.013	0.02	1.30	0.68	0.25	1.00	3.75	0.00	2.47	8.78	2.3	1.62E-05	1.62E-05	1.04E-05	5.44E-05	1.49E-05	1.57E-04	2.33E-04		
427	II	17/08/95		5.34	25	0.333	2.07	0.43	0.057	0.00	1.40	0.68	0.26	1.20	3.37	0.00	2.63	8.46	3.3	1.23E-05	1.23E-05	7.83E-06	5.16E-05	1.21E-05	1.57E-04	1.02E-04		
428	II	19/09/95		4.70	-3	0.346	2.20	1.12	0.000	0.05	1.50	0.73	0.21	1.10	3.47	0.00												



	1	2	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	
1	N°	Date	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	Fulvate	Al 3+	Al(OH) 2+	Al(OH)2 +	Al(OH)3*	Al(OH)4 -	AlCl 2+	AlCl2 +	AlCl3*	AlSO4 +	Al(SO4)2 -	
2			moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]
387	EC1	11/10/94	1.55E-05	4.35E-05	1.64E-05	7.64E-07	6.48E-05	1.42E-05	5.58E-06	1.87E-04	6.10E-05	3.67E-04	1.16E-06	9.36E-09	5.74E-11	1.02E-14	1.44E-17	2.20E-08	4.48E-11	9.75E-16	1.31E-07	2.02E-10	
388	EC1	02/05/95	2.37E-06	3.84E-05	1.26E-05	6.55E-07	1.00E-04	0.00E+00	0.00E+00	9.26E-05	7.03E-05	4.23E-04	8.28E-07	8.27E-09	6.26E-11	1.36E-14	2.37E-17	7.22E-09	6.72E-12	6.67E-17	1.10E-07	1.99E-10	
389	EC1	02/05/96	7.47E-06	7.93E-05	1.57E-05	7.64E-07	8.70E-05	1.06E-05	4.84E-06	1.39E-04	1.09E-04	2.66E-04	1.00E-06	1.35E-08	1.38E-10	4.05E-14	9.49E-17	1.52E-08	2.48E-11	4.30E-16	2.10E-07	5.95E-10	
390																							
391	Eaux de rétention A2																						
392	EC2	02/05/94	1.52E-05	3.58E-05	6.83E-06	1.82E-07	6.09E-05	2.74E-06	3.58E-06	1.22E-04	5.57E-05	1.66E-04	4.92E-07	3.54E-08	1.89E-09	2.84E-12	3.36E-14	5.15E-09	5.64E-12	6.47E-17	6.10E-08	9.48E-11	
393	EC2	02/06/94	2.63E-05	5.88E-05	1.40E-05	2.37E-07	6.09E-05	2.40E-05	5.26E-06	1.50E-04	8.01E-05	2.09E-04	1.85E-07	2.96E-09	3.57E-11	1.23E-14	3.37E-17	2.70E-09	4.19E-12	6.92E-17	2.95E-08	6.25E-11	
394	EC2	11/10/94	1.83E-05	4.60E-05	1.18E-05	2.91E-07	6.70E-05	2.71E-05	8.00E-06	1.79E-04	5.46E-05	2.32E-04	1.63E-06	3.23E-08	4.80E-10	2.04E-13	6.85E-16	2.53E-08	4.16E-11	7.23E-16	1.82E-07	2.65E-10	
395	EC2	02/05/95	1.40E-05	2.05E-05	1.16E-05	3.28E-07	6.52E-05	2.45E-05	9.06E-06	9.86E-05	5.85E-05	2.48E-04	1.31E-06	1.52E-08	1.33E-10	3.32E-14	6.58E-17	9.51E-09	7.34E-12	6.01E-17	1.51E-07	2.31E-10	
396	EC2	02/05/96	2.81E-05	8.70E-05	3.24E-05	7.10E-07	1.22E-04	2.27E-05	7.16E-06	1.86E-04	9.94E-05	2.98E-04	2.03E-06	2.35E-08	2.08E-10	5.31E-14	1.09E-16	5.34E-08	1.51E-10	4.57E-15	3.68E-07	9.29E-10	
397																							
398	Source 1																						
399	II	01/02/94	4.53E-06	3.84E-05	3.36E-05	4.97E-06	4.35E-05	8.72E-05	0.00E+00	1.01E-04	8.95E-05	1.56E-05	6.95E-06	1.36E-06	1.98E-07	8.20E-10	2.68E-11	4.04E-08	2.48E-11	1.61E-16	1.30E-06	3.12E-09	
400	II	09/02/94	1.63E-06	2.76E-05	3.03E-05	4.44E-06	5.22E-06	8.50E-05	0.00E+00	9.61E-05	9.51E-05	3.10E-05	8.19E-06	1.33E-06	1.62E-07	5.57E-10	1.52E-11	4.55E-08	2.66E-11	1.64E-16	1.62E-06	4.15E-09	
401	II	03/03/94	3.32E-06	3.58E-05	1.57E-04	2.26E-05	4.78E-05	8.47E-05	0.00E+00	4.73E-04	9.37E-05	5.67E-06	8.65E-06	1.27E-06	1.43E-07	4.72E-10	1.26E-11	3.89E-08	1.89E-11	1.00E-16	1.37E-06	3.13E-09	
402	II	24/03/94	5.47E-06	4.25E-05	2.78E-05	3.88E-06	5.79E-05	7.64E-05	0.00E+00	8.40E-05	9.02E-05	1.49E-05	7.18E-06	1.19E-06	1.49E-07	5.24E-10	1.46E-11	3.48E-08	1.78E-11	9.55E-17	1.36E-06	3.30E-09	
403	II	19/04/94	2.11E-06	2.81E-05	2.91E-05	3.75E-06	3.91E-05	6.63E-05	0.00E+00	8.51E-05	7.95E-05	6.50E-06	9.09E-06	1.96E-06	3.14E-07	1.43E-09	5.11E-11	4.43E-08	2.27E-11	1.22E-16	1.53E-06	3.28E-09	
404	II	02/05/94	3.16E-06	2.30E-05	2.73E-05	4.62E-06	3.91E-05	5.03E-05	0.00E+00	8.58E-05	9.27E-05	3.90E-06	9.33E-06	1.56E-06	1.94E-07	6.84E-10	1.90E-11	4.65E-08	2.44E-11	1.34E-16	1.82E-06	4.54E-09	
405	II	26/05/94	1.39E-05	2.81E-05	2.80E-05	4.37E-06	4.09E-05	5.05E-05	0.00E+00	8.54E-05	8.39E-05	4.37E-06	7.95E-06	1.60E-06	2.40E-07	1.02E-09	3.39E-11	3.46E-08	1.58E-11	7.59E-17	1.42E-06	3.22E-09	
406	II	02/06/94	1.84E-05	3.58E-05	2.83E-05	4.61E-06	5.22E-05	5.71E-05	0.00E+00	8.79E-05	8.84E-05	6.14E-06	8.23E-06	1.54E-06	2.15E-07	8.50E-10	2.65E-11	3.78E-08	1.82E-11	9.28E-17	1.53E-06	3.64E-09	
407	II	09/06/94	8.42E-07	3.32E-05	2.73E-05	4.28E-06	4.78E-05	5.72E-05	0.00E+00	8.54E-05	8.72E-05	5.81E-06	8.67E-06	2.40E-06	4.97E-07	2.91E-09	1.34E-10	4.06E-08	1.99E-11	1.03E-16	1.60E-06	3.78E-09	
408	II	07/07/94	1.37E-05	3.32E-05	2.84E-05	5.22E-06	4.35E-05	6.13E-05	0.00E+00	8.79E-05	8.85E-05	7.19E-06	9.65E-06	1.80E-06	2.52E-07	9.96E-10	3.11E-11	4.49E-08	2.20E-11	1.14E-16	1.79E-06	4.25E-09	
409	II	21/07/94	1.07E-05	3.58E-05	2.71E-05	4.95E-06	4.78E-05	5.61E-05	0.00E+00	1.29E-05	8.67E-05	7.19E-06	5.55E-06	1.25E-06	2.11E-07	1.00E-09	3.75E-11	2.47E-08	1.15E-11	5.65E-17	1.03E-06	2.43E-09	
410	II	02/08/94	1.55E-05	3.32E-05	2.75E-05	4.82E-06	4.78E-05	5.69E-05	0.00E+00	1.80E-05	8.76E-05	1.26E-05	6.07E-06	9.90E-07	1.21E-07	4.16E-10	1.13E-11	2.78E-08	1.34E-11	6.78E-17	1.13E-06	2.68E-09	
411	II	13/08/94	6.47E-06	3.84E-05	2.75E-05	5.13E-06	4.35E-05	4.74E-05	0.00E+00	6.51E-05	9.12E-05	1.20E-05	4.97E-06	9.76E-07	1.43E-07	5.92E-10	1.93E-11	2.44E-08	1.26E-11	6.80E-17	9.67E-07	2.40E-09	
412	II	09/09/94	9.95E-06	5.12E-05	2.86E-05	5.15E-06	5.00E-05	5.45E-05	0.00E+00	9.26E-05	8.07E-05	7.19E-06	3.34E-06	5.99E-07	7.99E-08	3.02E-10	8.99E-12	1.87E-08	1.10E-11	6.83E-17	5.78E-07	1.27E-09	
413	II	29/09/94	3.47E-06	3.84E-05	2.70E-05	4.08E-06	5.22E-05	5.64E-05	0.00E+00	9.26E-05	8.54E-05	5.31E-06	7.07E-06	7.44E-07	5.85E-08	1.30E-10	1.22E-12	3.15E-08	1.48E-11	7.29E-17	1.28E-06	2.95E-09	
414	II	02/11/94	3.89E-06	3.07E-05	3.17E-05	4.91E-06	4.35E-05	6.26E-05	0.00E+00	9.72E-05	9.16E-05	9.06E-06	7.68E-06	1.06E-06	1.10E-07	3.22E-10	7.47E-12	3.66E-08	1.84E-11	9.73E-17	1.47E-06	3.62E-09	
415	II	24/11/94	9.37E-06	4.09E-05	2.99E-05	4.50E-06	4.35E-05	7.14E-05	0.00E+00	9.72E-05	9.21E-05	8.59E-06	7.91E-06	1.07E-06	1.08E-07	3.10E-10	7.02E-12	3.95E-08	2.08E-11	1.15E-16	1.53E-06	3.78E-09	
416	II	13/12/94	6.21E-06	4.35E-05	2.90E-05	3.20E-06	4.35E-05	6.81E-05	0.00E+00	9.36E-05	9.11E-05	9.79E-06	8.16E-06	1.63E-06	2.44E-07	1.04E-09	3.47E-11	3.99E-08	2.06E-11	1.12E-16	1.56E-06	3.83E-09	
417	II	04/01/95	6.11E-06	3.58E-05	3.12E-05	3.77E-06	4.35E-05	7.74E-05	0.00E+00	9.58E-05	9.39E-05	7.91E-06	1.03E-05	1.71E-06	2.12E-07	7.48E-10	2.08E-11	5.00E-08	2.57E-11	1.39E-16	2.00E-06	5.01E-09	
418	II	15/01/95	3.42E-06	3.84E-05	2.80E-05	3.90E-06	4.35E-05	7.61E-05	0.00E+00	8.90E-05	8.32E-05	9.10E-06	8.75E-06	1.60E-06	2.18E-07	8.45E-10	2.58E-11	3.98E-08	1.90E-11	9.56E-17	1.53E-06	3.43E-09	
419	II	02/02/95	1.32E-06	3.84E-05	2.75E-05	3.57E-06	4.78E-05	7.72E-05	0.00E+00	9.54E-05	8.76E-05	1.46E-05	1.05E-05	1.13E-06	9.03E-08	2.06E-10	3.70E-12	5.07E-08	2.59E-11	1.39E-16	1.91E-06	4.47E-09	
420	II	27/02/95	7.89E-07	3.84E-05	2.83E-05	3.66E-06	4.78E-05	7.60E-05	0.00E+00	9.29E-05	8.79E-05	1.30E-05	1.08E-05	1.46E-06	1.47E-07	4.22E-10	9.56E-12	7.68E-08	5.77E-11	4.56E-16	1.97E-06	4.61E-09	
421	II	24/03/95	5.47E-06	4.35E-05	2.98E-05	6.75E-06	5.22E-05	7.84E-05	0.00E+00	9.22E-05	9.05E-05	4.04E-06	7.42E-06	5.25E-07	2.78E-08	4.18E-11	4.98E-13	3.70E-08	1.95E-11	1.08E-16	1.39E-06	3.36E-09	
422	II	07/04/95	1.00E-05	3.58E-05	2.82E-05	3.82E-06	4.78E-05	7.37E-05	0.00E+00	8.86E-05	9.14E-05	5.92E-06	7.38E-06	1.17E-06	1.39E-07	4.70E-10	1.25E-11	4.47E-08	2.85E-11	1.91E-16	1.42E-06	3.49E-09	
423	II	02/05/95	4.68E-06	3.32E-05	2.89E-05	3.97E-06	4.35E-05	6.77E-05	0.00E+00	8.72E-05	9.00E-05	1.12E-05	1.11E-05	5.93E-07	2.38E-08	2.72E-11	2.46E-13	5.62E-08	3.01E-11	1.71E-16	2.04E-06	4.86E-09	
424	II	02/06/95	0.00E+00	3.07E-05	2.83E-05	3.95E-06	4.78E-05	6.40E-05	0.00E+00	8.86E-05	9.11E-05	1.58E-05	9.39E-06	1.21E-06	1.17E-07	3.21E-10	6.93E-12	4.58E-08	2.35E-11	1.27E-16	1.79E-06	4.37E-09	
425	II	28/06/95	8.42E-06	3.07E-05	2.68E-05	3.29E-06	4.78E-05	5.87E-05	0.00E+00	8.05E-05	9.34E-05	1.31E-05	8.02E-06	1.11E-06	1.15E-07	3.38E-10	7.82E-12	3.70E-08	1.80E-11	9.21E-17	1.58E-06	3.97E-09	
426	II	18/07/95	9.47E-07	3.32E-05	2.80E-05	4.46E-06	4.35E-05	6.05E-05	0.00E+00	8.79E-05	9.14E-05	8.38E-06	7.93E-06	8.35E-07	6.56E-08	1.46E-10	2.56E-12	1.01E-08	1.36E-12	1.93E			



	1	2	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	
1	N°	Date	AlPO4°	AlHPO4 +	AlH2PO4 2+	AlOSi(OH)3 2+	AlF 2+	AlF2 +	AlF3 °	AlF4 -	Polymères	Al organique	Force ionique	Activités (moles/l)					
2			[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[moles d'Al/l]	[moles d'Al/l]	moles/l	{Ca 2+}	{Mg 2+}	{K +}	{Na +}	{Al 3+}	
387	EC1	11/10/94	3.49E-08	8.00E-09	5.28E-09	6.39E-10	6.93E-06	3.03E-06	3.64E-08	1.48E-11	0.00E+00	7.15E-06	9.23E-04	1.59E-05	1.44E-05	4.20E-05	6.27E-05	8.58E-07	
388	EC1	02/05/95	6.94E-21	1.29E-21	6.91E-22	2.80E-10	1.37E-06	1.77E-07	6.27E-10	7.52E-14	1.13E-05	7.23E-06	8.34E-04	2.28E-05	1.11E-05	3.71E-05	9.69E-05	6.21E-07	
389	EC1	02/05/96	7.47E-08	1.03E-08	4.09E-09	6.86E-10	3.96E-06	1.14E-06	8.96E-09	2.39E-12	0.00E+00	8.37E-06	8.31E-04	1.74E-05	1.38E-05	7.68E-05	8.43E-05	7.51E-07	
390																			
391	Eaux de rétention A2																		
392	EC2	02/05/94	6.64E-07	1.79E-08	1.35E-09	1.58E-09	2.22E-06	3.91E-06	1.85E-07	2.92E-10	5.24E-05	2.59E-06	4.00E-04	7.98E-06	6.24E-06	3.50E-05	5.95E-05	4.02E-07	
393	EC2	02/06/94	2.15E-08	2.53E-09	8.49E-10	1.62E-10	8.95E-06	6.82E-06	1.42E-07	9.93E-11	3.40E-05	7.71E-06	7.15E-04	1.93E-05	1.25E-05	5.71E-05	5.91E-05	1.42E-07	
394	EC2	11/10/94	4.21E-07	4.03E-08	1.09E-08	2.11E-09	6.60E-06	4.40E-06	7.96E-08	4.84E-11	3.50E-05	7.04E-06	6.17E-04	1.06E-05	1.05E-05	4.48E-05	6.52E-05	1.27E-06	
395	EC2	02/05/95	1.34E-07	2.17E-08	1.01E-08	5.48E-10	4.64E-06	3.01E-06	5.33E-08	3.17E-11	3.11E-05	2.49E-06	6.92E-04	2.35E-05	1.03E-05	1.99E-05	6.34E-05	1.01E-06	
396	EC2	02/05/96	1.63E-07	2.58E-08	1.18E-08	1.60E-09	8.17E-06	7.44E-06	1.87E-07	1.60E-10	2.03E-05	3.28E-06	1.03E-03	3.08E-05	2.82E-05	8.39E-05	1.18E-04	1.48E-06	
397																			
398	Source 1																		
399	II	01/02/94	9.51E-19	9.29E-21	2.58E-22	5.00E-08	3.90E-06	2.42E-07	4.05E-10	2.27E-14	4.27E-06	7.15E-06	5.36E-04	5.40E-05	3.03E-05	3.74E-05	4.24E-05	5.51E-06	
400	II	09/02/94	9.41E-19	1.11E-20	3.68E-22	4.67E-08	1.36E-06	7.29E-08	1.06E-10	5.15E-15	3.79E-06	7.24E-06	5.03E-04	5.19E-05	2.74E-05	2.69E-05	5.09E-06	6.54E-06	
401	II	03/03/94	9.33E-19	1.15E-20	4.12E-22	2.17E-07	3.21E-06	3.85E-08	1.28E-11	1.47E-16	9.08E-05	1.33E-05	1.31E-03	2.47E-04	1.34E-04	3.44E-05	4.60E-05	6.06E-06	
402	II	24/03/94	9.37E-19	1.08E-20	3.50E-22	3.67E-08	4.56E-06	3.61E-07	7.74E-10	5.55E-14	0.00E+00	5.19E-06	5.15E-04	4.96E-05	2.51E-05	4.14E-05	5.64E-05	5.72E-06	
403	II	19/04/94	9.66E-19	8.61E-21	2.17E-22	6.09E-08	2.02E-06	2.87E-08	1.10E-11	1.40E-16	0.00E+00	3.66E-06	4.78E-04	4.77E-05	2.64E-05	2.74E-05	3.82E-05	7.30E-06	
404	II	02/05/94	9.48E-19	1.09E-20	3.54E-22	4.88E-08	3.02E-06	5.18E-08	2.41E-11	3.73E-16	0.00E+00	3.46E-06	5.08E-04	4.90E-05	2.47E-05	2.24E-05	3.82E-05	7.44E-06	
405	II	26/05/94	9.58E-19	9.15E-21	2.47E-22	4.99E-08	4.15E-06	1.07E-06	7.46E-09	1.74E-12	0.00E+00	2.53E-10	4.61E-04	4.62E-05	2.55E-05	2.75E-05	3.99E-05	6.41E-06	
406	II	02/06/94	9.53E-19	9.76E-21	2.83E-22	4.94E-08	5.56E-06	2.10E-06	2.14E-08	7.30E-12	0.00E+00	0.00E+00	4.95E-04	4.90E-05	2.57E-05	3.49E-05	5.09E-05	6.58E-06	
407	II	09/06/94	9.77E-19	6.76E-21	1.32E-22	7.51E-08	8.25E-07	3.55E-09	4.11E-13	1.59E-18	0.00E+00	7.75E-06	4.95E-04	4.56E-05	2.47E-05	3.24E-05	4.67E-05	6.93E-06	
408	II	07/07/94	9.59E-19	9.81E-21	2.85E-22	5.80E-08	2.03E-06	6.56E-07	5.73E-09	1.68E-12	0.00E+00	4.63E-08	4.90E-04	5.00E-05	2.57E-05	3.24E-05	4.24E-05	7.72E-06	
409	II	21/07/94	9.54E-19	8.12E-21	1.96E-22	5.92E-09	3.36E-06	1.23E-06	1.22E-08	4.00E-12	0.00E+00	2.74E-09	4.64E-04	4.55E-05	2.46E-05	3.49E-05	4.67E-05	4.47E-06	
410	II	02/08/94	9.26E-19	1.09E-20	3.62E-22	6.54E-09	4.47E-06	2.59E-06	4.06E-08	2.12E-11	0.00E+00	2.36E-09	4.78E-04	4.62E-05	2.49E-05	3.24E-05	4.67E-05	4.87E-06	
411	II	13/08/94	9.37E-19	9.15E-21	2.53E-22	2.33E-08	4.23E-06	8.69E-07	4.81E-09	8.88E-13	0.00E+00	1.10E-06	4.78E-04	4.75E-05	2.49E-05	3.74E-05	4.24E-05	3.99E-06	
412	II	09/09/94	8.98E-19	9.62E-21	2.92E-22	2.03E-08	4.14E-06	1.72E-06	1.94E-08	7.26E-12	0.00E+00	4.88E-09	4.77E-04	4.78E-05	2.60E-05	4.99E-05	4.88E-05	2.68E-06	
413	II	29/09/94	8.62E-19	1.57E-20	8.08E-22	2.52E-08	3.24E-06	8.28E-08	5.70E-11	1.31E-15	0.00E+00	3.70E-06	4.96E-04	4.45E-05	2.44E-05	3.74E-05	5.09E-05	5.65E-06	
414	II	02/11/94	9.18E-19	1.27E-20	4.96E-22	3.78E-08	3.43E-06	1.69E-07	2.25E-10	1.00E-14	0.00E+00	1.23E-06	5.15E-04	5.28E-05	2.86E-05	2.99E-05	4.24E-05	6.11E-06	
415	II	24/11/94	9.17E-19	1.29E-20	5.19E-22	3.80E-08	5.21E-06	7.83E-07	3.17E-09	4.29E-13	0.00E+00	2.41E-08	5.13E-04	4.71E-05	2.70E-05	3.99E-05	4.24E-05	6.30E-06	
416	II	13/12/94	9.58E-19	9.15E-21	2.48E-22	5.59E-08	5.06E-06	4.64E-07	1.15E-09	9.47E-14	0.00E+00	1.23E-07	5.00E-04	4.86E-05	2.62E-05	4.24E-05	4.24E-05	6.52E-06	
417	II	04/01/95	9.52E-19	1.09E-20	3.56E-22	5.97E-08	4.56E-06	2.61E-07	4.02E-10	2.08E-14	0.00E+00	0.00E+00	5.31E-04	5.20E-05	2.82E-05	3.49E-05	4.24E-05	8.17E-06	
418	II	15/01/95	9.54E-19	9.99E-21	2.96E-22	5.21E-08	3.18E-06	8.87E-08	6.69E-11	1.69E-15	0.00E+00	4.02E-06	4.99E-04	5.06E-05	2.54E-05	3.74E-05	4.24E-05	6.99E-06	
419	II	02/02/95	9.01E-19	1.60E-20	8.08E-22	3.93E-08	1.26E-06	1.62E-08	5.66E-12	6.60E-17	1.53E-06	3.69E-06	5.08E-04	4.65E-05	2.49E-05	3.74E-05	4.67E-05	8.37E-06	
420	II	27/02/95	9.34E-19	1.32E-20	5.29E-22	4.95E-08	7.61E-07	5.36E-09	1.02E-12	6.47E-18	1.90E-06	3.64E-06	5.22E-04	4.82E-05	2.56E-05	3.74E-05	4.66E-05	8.59E-06	
421	II	24/03/95	7.53E-19	2.03E-20	1.55E-21	1.77E-08	2.61E-06	1.67E-07	2.90E-10	1.68E-14	3.64E-06	1.90E-09	5.57E-04	5.28E-05	2.68E-05	4.23E-05	5.08E-05	5.86E-06	
422	II	07/04/95	9.33E-19	1.12E-20	3.82E-22	3.80E-08	6.89E-06	8.34E-07	2.73E-09	2.99E-13	6.98E-07	0.00E+00	5.19E-04	4.89E-05	2.55E-05	3.49E-05	4.66E-05	5.87E-06	
423	II	02/05/95	7.20E-19	2.56E-20	2.58E-21	1.89E-08	3.00E-06	1.28E-07	1.49E-10	5.79E-15	0.00E+00	0.00E+00	5.49E-04	4.97E-05	2.60E-05	3.24E-05	4.24E-05	8.77E-06	
424	II	02/06/95	9.21E-19	1.36E-20	5.71E-22	3.93E-08	9.67E-19	1.34E-32	5.01E-48	6.25E-65	0.00E+00	3.57E-06	4.96E-04	4.81E-05	2.57E-05	2.99E-05	4.67E-05	7.51E-06	
425	II	28/06/95	9.21E-19	1.27E-20	4.97E-22	3.28E-08	4.07E-06	8.02E-07	4.25E-09	7.51E-13	0.00E+00	3.06E-08	4.88E-04	4.61E-05	2.43E-05	2.99E-05	4.67E-05	6.42E-06	
426	II	18/07/95	8.74E-19	1.59E-20	8.19E-22	2.68E-08	9.16E-07	6.64E-09	1.30E-12	8.47E-18	0.00E+00	4.84E-06	4.94E-04	4.93E-05	2.53E-05	3.24E-05	4.24E-05	6.34E-06	
427	II	17/08/95	9.96E-19	1.34E-21	5.12E-24	9.01E-08	7.75E-19	7.69E-32	2.05E-46	1.82E-62	0.00E+00	4.51E-06	4.29E-04	4.71E-05	2.54E-05	3.50E-05	5.10E-05	1.50E-06	
428	II	19/09/95	9.75E-19	5.74E-21	9.57E-23	5.93E-08	2.03E-06	2.40E-07	7.65E-10	8.13E-14	0.00E+00	2.13E-06	4.71E-04	4.98E-05	2.72E-05	3.74E-05	4.67E-05	4.18E-06	
429	II	10/10/95	9.67E-19	7.17E-21	1.51E-22	5.77E-08	4.58E-06	9.48E-07	5.29E-09	9.86E-13	0.00E+00	2.53E-09	5.03E-04	5.17E-05	2.70E-05	3.99E-05	5.09E-05	5.05E-06	
430	II	06/11/95	9.85E-19	4.40E-21	5.58E-23	8.82E-08	1.82E-06	9.44E-07	1.33E-08	6.22E-12	0.00E+00	1.55E-06	5.10E-04	5.41E-05	2.93E-05	3.99E-05	5.09E-05	4.46E-06	
431	II	05/12/95	9.73E-19	6.28E-21	1.15E-22	6.37E-08	2.80E-06	3.20E-06	9.83E-08	1.02E-10	0.00E+00	0.00E+00	5.42E-04	5.85E-05	3.15E-05	4.48E-05	5.51E-05	4.64E-06	
432	II	05/01/96	9.60E-19	8.75E-21	2.27E-22	5.45E-08	3.93E-06	2.63E-06	4.74E-08	2.87E-11	0.00E+00	1.01E-08	5.30E-04	4.95E-05	2.77E-05	4.74E-05	4.66E-05	6.14E-06	
433	II	31/01/96	9.58E-19	9.81E-21	2.85E-22	6.33E-08	2.57E-06	9.38E-08	9.27E-11	3.07E-15	0.00E+00	2.89E-06	5.40E-04	5.67E-05	2.99E-05	3.74E-05	4.24E-05	7.64E-06	
434	II	21/02/96	9.80E-19	5.90E-21	1.01E-22	7.63E-08	2.84E-06	9.40E-08	8.40E-11	2.51E-15	2.55E-07	3.63E-06	5.37E-04	5.54E-05	2.97E-05	4.24E-05	5.09E-05	5.92E-06	



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1	N°	Date	Pluviométrie (mm) ou volume (ml)	pH	ANC μéquiv/L	Al total mg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	Fe mg/l	F mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Mn mg/l	Na mg/l	NO3 mg/l	PO4 mg/l	Si mg/l	SO4 mg/l	C org. mg/l	Al total moles/l	Al monomérique moles/l	Al 8-OH-O moles/l	Ca moles/l	Cl moles/l	C min moles/l	Fe moles/l	
435	II	03/04/96		4.65	-10	0.479	2.48	1.99	0.001	0.11	1.40	0.81	0.22	1.20	4.67	0.00	2.33	9.13	1.3	1.77E-05	1.77E-05	1.19E-05	6.19E-05	5.61E-05	5.00E-05	1.79E-06	
436	II	02/05/96		4.99	4	0.204	2.77	2.33	0.010	0.17	1.80	0.83	0.17	1.40	4.71	0.00	2.87	8.25	2.5	7.56E-06	7.56E-06	2.21E-06	6.91E-05	6.57E-05	5.00E-05	1.79E-07	
437	II	30/05/96		4.76	-71	0.304	2.58	3.09	0.029	0.25	1.70	0.80	0.16	1.40	2.93	0.00	2.31	11.46	3.1	1.13E-05	6.47E-06	5.46E-06	6.44E-05	8.72E-05	5.00E-05	5.19E-07	
438	II	12/06/96		4.64	-13	0.365	2.47	1.67	0.024	0.21	1.00	0.75	0.19	1.20	3.90	0.00	2.37	8.53	3.0	1.35E-05	1.31E-05	1.04E-05	6.16E-05	4.71E-05	5.00E-05	4.30E-07	
439	II	25/06/96		4.58	-28	0.303	2.25	1.81	0.018	0.30	1.50	0.75	0.19	1.10	3.98	0.00	2.22	8.57	2.8	1.12E-05	8.75E-06	5.87E-06	5.61E-05	5.10E-05	5.00E-05	3.22E-07	
440	II	08/07/96		4.77	-8	0.273	1.78	1.32	0.049	0.31	1.20	0.60	0.15	1.00	2.34	0.00	1.84	6.71	4.0	1.01E-05	7.43E-06	4.01E-06	4.44E-05	3.72E-05	5.00E-05	8.77E-07	
441	II	31/07/96		4.50	-24	0.303	2.28	1.78	0.022	0.30	1.40	0.76	0.22	1.10	3.96	0.00	2.28	8.45	2.5	1.12E-05	1.12E-05	9.21E-06	5.69E-05	5.02E-05	5.00E-05	3.94E-07	
442	II	15/08/96		4.65	13	0.280	2.30	1.92	0.031	0.29	2.00	0.77	0.23	1.60	3.58	0.00	2.40	8.50	3.0	1.04E-05	6.40E-06	6.38E-06	5.74E-05	5.41E-05	5.00E-05	5.55E-07	
443	II	16/09/96		4.64	6	0.288	2.12	1.94	0.044	0.07	1.80	0.77	0.20	1.30	3.48	0.00	2.53	8.18	2.6	1.07E-05	1.07E-05	5.21E-06	5.29E-05	5.47E-05	5.00E-05	7.88E-07	
444	II	03/10/96		4.63	-67	0.241	1.98	1.97	0.024	0.06	1.90	0.73	0.19	1.30	3.00	0.00	2.45	7.96	19.4	8.93E-06	8.93E-06	7.66E-06	4.94E-05	5.56E-05	5.00E-05	4.30E-07	
445	II	14/11/96		4.22	-43	0.494	1.80	1.77	0.000	0.10	1.50	0.58	0.19	1.20	4.02	0.00	2.73	8.06	6.6	1.83E-05	1.83E-05	1.32E-05	4.49E-05	4.99E-05	5.00E-05	0.00E+00	
446	II	05/12/96		4.30	-46	0.434	1.91	1.83	0.000	0.19	1.50	0.66	0.18	1.20	4.05	0.00	2.75	8.85	3.4	1.61E-05	1.19E-05	1.19E-05	4.77E-05	5.16E-05	5.00E-05	0.00E+00	
447	II	11/02/97		4.77	-21	0.400	2.24	1.95	0.027	0.20	1.80	0.74	0.19	1.30	4.47	0.00	2.58	8.95	2.5	1.48E-05	1.28E-05	8.34E-06	5.59E-05	5.50E-05	5.00E-05	4.83E-07	
448	II	28/02/97		4.76	-25	0.373	2.12	1.75	0.008	0.15	1.60	0.72	0.18	1.20	4.00	0.00	2.49	8.75	3.4	1.38E-05	8.81E-06	8.81E-06	5.29E-05	4.94E-05	5.00E-05	1.43E-07	
449																											
450	Source 2																										
451	IV	09/02/94		4.58	-83	0.614	1.38	1.94	0.000	0.08	1.04	0.86	0.18	0.11	1.64	0.00	2.54	10.27	1.8	2.28E-05	2.10E-05	1.12E-05	3.44E-05	5.46E-05	1.23E-04	0.00E+00	
452	IV	03/03/94		4.44	752	2.910	6.78	1.78	0.131	0.04	1.30	4.66	0.94	1.00	1.75	0.00	13.20	9.97	4.4	1.08E-04	2.98E-05	1.07E-05	1.69E-04	5.02E-05	1.23E-04	2.35E-06	
453	IV	24/03/94		4.54	-27	0.435	1.38	1.82	0.031	0.13	1.57	0.85	0.16	1.37	1.57	0.00	2.33	9.81	4.0	1.61E-05	1.61E-05	9.21E-06	3.44E-05	5.13E-05	1.26E-04	5.55E-07	
454	IV	19/04/94		4.52	-15	0.467	1.33	1.86	0.032	0.03	1.40	0.94	0.17	1.00	1.48	0.00	2.50	9.39	1.9	1.73E-05	1.73E-05	1.22E-05	3.32E-05	5.25E-05	1.33E-04	5.73E-07	
455	IV	02/05/94		3.92	-31	0.403	1.40	1.91	0.056	0.07	1.40	0.93	0.19	1.00	1.35	0.00	2.29	10.18	0.9	1.49E-05	1.49E-05	9.59E-06	3.49E-05	5.39E-05	1.42E-04	1.00E-06	
456	IV	26/05/94		4.59	-46	0.353	1.39	1.81	0.049	0.75	1.30	0.89	0.17	1.01	1.27	0.00	2.34	8.88	1.0	1.31E-05	1.31E-05	8.58E-06	3.47E-05	5.10E-05	1.42E-04	8.77E-07	
457	IV	02/06/94		4.61	6	0.346	1.54	1.79	0.063	0.00	1.80	0.92	0.19	1.20	1.60	0.00	2.16	9.31	2.1	1.28E-05	1.28E-05	6.89E-06	3.84E-05	5.05E-05	1.42E-04	1.13E-06	
458	IV	09/06/94		4.77	6	0.347	1.34	1.61	0.044	0.08	1.40	0.84	0.15	1.20	1.51	0.00	2.05	8.16	1.7	1.29E-05	7.30E-06	4.78E-06	3.34E-05	4.54E-05	1.25E-04	7.88E-07	
459	IV	07/07/94		4.86	-1	0.150	1.81	1.85	0.078	0.30	1.40	1.06	0.18	1.30	1.63	0.00	2.39	9.14	1.6	5.54E-06	5.54E-06	1.50E-06	4.52E-05	5.22E-05	1.26E-04	1.40E-06	
460	IV	21/07/94		5.14	-5	0.092	1.62	2.19	0.102	0.28	2.10	0.97	0.16	1.40	1.80	0.00	0.39	8.67	2.1	3.40E-06	1.94E-06	4.34E-07	4.04E-05	6.18E-05	1.30E-04	1.83E-06	
461	IV	02/08/94		5.15	-14	0.158	1.59	1.96	0.073	0.34	1.80	0.95	0.15	1.30	1.59	0.00	0.39	8.58	3.8	5.85E-06	2.76E-06	7.15E-07	3.97E-05	5.53E-05	1.30E-04	1.31E-06	
462	IV	13/08/94		5.11	-2	0.138	1.48	2.68	0.082	0.17	2.40	0.88	0.14	1.30	1.51	0.00	0.28	7.79	2.9	5.10E-06	3.26E-06	6.24E-07	3.69E-05	7.56E-05	1.30E-04	1.47E-06	
463	IV	09/09/94		4.95	18	0.118	1.65	2.41	0.110	0.21	2.60	0.95	0.11	1.44	1.94	0.00	2.52	8.05	2.1	4.37E-06	3.19E-06	1.09E-07	4.12E-05	6.80E-05	1.30E-04	1.97E-06	
464	IV	29/09/94		4.55	12	0.210	1.55	1.84	0.057	0.08	1.80	0.92	0.13	1.50	2.00	0.00	2.53	8.71	1.1	7.78E-06	5.49E-06	1.66E-06	3.87E-05	5.19E-05	1.30E-04	1.02E-06	
465	IV	02/11/94		4.74	-4	0.123	1.83	2.11	0.049	0.14	1.60	1.08	0.10	1.30	1.61	0.00	2.88	9.27	2.4	4.57E-06	4.57E-06	7.09E-07	4.57E-05	5.95E-05	1.30E-04	8.77E-07	
466	IV	24/11/94		4.66	-24	0.125	1.53	2.16	0.077	0.18	2.10	0.97	0.09	1.30	2.25	0.00	2.83	9.05	2.3	4.64E-06	3.86E-06	4.18E-07	3.82E-05	6.09E-05	1.30E-04	1.38E-06	
467	IV	13/12/94		4.66	-15	0.282	1.56	2.02	0.089	0.07	2.10	0.91	0.15	1.20	2.50	0.00	2.72	9.18	2.7	1.04E-05	1.04E-05	5.01E-06	3.89E-05	5.70E-05	1.30E-04	1.59E-06	
468	IV	04/01/95		4.59	-28	0.240	1.62	1.97	0.062	0.13	1.80	0.97	0.10	1.20	2.52	0.00	2.74	9.42	2.5	8.88E-06	8.88E-06	4.05E-06	4.04E-05	5.56E-05	1.30E-04	1.11E-06	
469	IV	15/01/95		4.83	-21	0.440	1.50	1.79	0.019	0.06	1.70	0.90	0.16	1.00	1.97	0.00	2.62	9.42	3.4	1.63E-05	1.63E-05	1.01E-05	3.74E-05	5.05E-05	1.30E-04	3.40E-07	
470	IV	02/02/95		4.43	-30	0.528	1.24	1.61	0.047	0.02	1.40	0.79	0.18	1.00	1.46	0.00	2.55	9.53	3.5	1.96E-05	1.96E-05	1.37E-05	3.09E-05	4.54E-05	1.30E-04	8.42E-07	
471	IV	27/02/95		4.50	-59	0.506	1.30	2.76	0.059	0.06	1.40	0.82	0.17	1.10	1.41	0.00	2.51	9.62	3.9	1.88E-05	1.83E-05	1.37E-05	3.24E-05	7.78E-05	1.30E-04	1.06E-06	
472	IV	24/03/95		4.29	-21	0.456	1.34	1.80	0.055	0.08	1.60	0.85	0.16	1.10	1.93	0.00	2.49	9.54	0.8	1.69E-05	1.44E-05	1.23E-05	3.34E-05	5.08E-05	1.30E-04	9.85E-07	
473	IV	07/04/95		4.64	-41	0.456	1.33	1.90	0.053	0.17	1.40	0.81	0.16	1.10	1.73	0.00	2.34	9.65	1.9	1.69E-05	1.69E-05	9.24E-06	3.32E-05	5.36E-05	1.30E-04	9.49E-07	
474	IV	02/05/95		4.01	-40	0.372	1.40	2.07	0.027	0.09	1.50	0.85	0.16	1.10	1.56	0.00	2.35	9.65	2.8	1.38E-05	1.38E-05	1.14E-05	3.49E-05	5.84E-05	1.30E-04	4.83E-07	
475	IV	02/06/95		4.49	-47	0.397	1.40	1.82	0.008	0.01	1.30	0.86	0.15	1.10	1.80	0.00	2.45	9.69	4.8	1.47E-05	1.47E-05	1.15E-05	3.49E-05	5.13E-05	1.30E-04	1.43E-07	
476	IV	28/06/95		4.42	-78	0.245	1.38	2.16	0.000	0.32	1.30	0.86	0.12	1.10	1.43	0.00	1.86	9.75	4.4	9.10E-06	9.10E-06	4.95E-06	3.44E-05	6.09E-05	1.30E-04	0.00E+00	
477	IV	18/07/95		4.53	7	0.175	1.56	1.01	0.062	0.06	1.80	0.94	0.14	1.10	1.63	0.00	2.19	9.62	0.9	6.50E-06	6.50E-06	2.57E-06	3.89E-05	2.85E-05	1.57E-04	1.11E-06	
478	IV	17/08/95		5.86	14	0.108	1.57	0.70	0.027	0.02	1.60	0.95	0.14	1.40	1.54	0.00	2.40	9.28	4.4	3.99E-06	3.21E-06	1.01E-06	3.92E-05	1.97E-05	1.57E-04	4.83E-07	
479	IV	19/09/95		5.11	22	0.119	1.80	0.89	0.001	0.05	1.80	1.01	0.11	1.30	2.11	0.00	2.69	9.20	3.1	4.39E-06	4.						



	1	2	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	
1	N°	Date	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	Fulvate	Al 3+	Al(OH) 2+	Al(OH)2 <sup>+</sup>	Al(OH)3 <sup>+</sup>	Al(OH)4 <sup>-</sup>	AlCl 2+	AlCl2 <sup>+</sup>	AlCl3 <sup>+</sup>	AlSO4 <sup>+</sup>	Al(SO4)2	
2			moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l
435	II	03/04/96	5.84E-06	3.58E-05	3.34E-05	3.95E-06	5.22E-05	7.53E-05	0.00E+00	8.29E-05	9.50E-05	4.51E-06	7.61E-06	2.20E-06	4.74E-07	2.91E-09	1.41E-10	3.64E-08	1.84E-11	9.76E-17	1.51E-06	3.85E-09	
436	II	02/05/96	8.68E-06	4.60E-05	3.41E-05	3.00E-06	6.09E-05	7.60E-05	0.00E+00	1.02E-04	8.59E-05	9.03E-06	1.03E-06	6.51E-07	3.08E-07	4.13E-09	4.37E-10	5.78E-09	3.42E-12	2.13E-17	1.88E-07	4.40E-10	
437	II	30/05/96	1.29E-05	4.35E-05	3.27E-05	2.97E-06	6.09E-05	4.72E-05	0.00E+00	8.22E-05	1.19E-04	1.13E-05	3.14E-06	1.16E-06	3.22E-07	2.55E-09	1.59E-10	2.32E-08	1.81E-11	1.49E-16	7.76E-07	2.50E-09	
438	II	12/06/96	1.08E-05	2.56E-05	3.08E-05	3.46E-06	5.22E-05	6.29E-05	0.00E+00	8.44E-05	8.88E-05	1.07E-05	6.74E-06	1.91E-06	4.03E-07	2.41E-09	1.14E-10	2.72E-08	1.15E-11	5.16E-17	1.26E-06	3.03E-09	
439	II	25/06/96	1.55E-05	3.84E-05	3.07E-05	3.46E-06	4.78E-05	6.42E-05	0.00E+00	7.90E-05	8.92E-05	1.02E-05	3.93E-06	9.69E-07	1.78E-07	9.32E-10	3.83E-11	1.72E-08	7.92E-12	3.84E-17	7.46E-07	1.81E-01	
440	II	08/07/96	1.64E-05	3.07E-05	2.46E-05	2.68E-06	4.35E-05	3.77E-05	0.00E+00	6.55E-05	6.98E-05	1.44E-05	2.41E-06	9.30E-07	2.67E-07	2.16E-09	1.37E-10	7.82E-09	2.66E-12	9.44E-18	3.72E-07	7.20E-10	
441	II	31/07/96	1.56E-05	3.58E-05	3.11E-05	3.99E-06	4.78E-05	6.39E-05	0.00E+00	8.12E-05	8.80E-05	9.03E-06	6.43E-06	1.32E-06	2.02E-07	8.76E-10	3.00E-11	2.76E-08	1.25E-11	5.96E-17	1.19E-06	2.84E-09	
442	II	15/08/96	1.53E-05	5.12E-05	3.16E-05	4.13E-06	6.96E-05	5.77E-05	0.00E+00	8.54E-05	8.85E-05	1.10E-05	4.11E-06	1.19E-06	2.57E-07	1.57E-09	7.62E-11	1.90E-08	9.27E-12	4.76E-17	7.69E-07	1.85E-09	
443	II	16/09/96	3.89E-06	4.60E-05	3.17E-05	3.71E-06	5.65E-05	5.61E-05	0.00E+00	9.01E-05	8.51E-05	9.47E-06	3.38E-06	9.59E-07	2.03E-07	1.22E-09	5.74E-11	1.59E-08	7.87E-12	4.09E-17	6.17E-07	1.43E-09	
444	II	03/10/96	3.00E-06	4.86E-05	2.99E-05	3.46E-06	5.65E-05	4.84E-05	0.00E+00	8.72E-05	8.29E-05	6.99E-05	5.03E-06	1.39E-06	2.87E-07	1.68E-09	7.76E-11	2.39E-08	1.20E-11	6.33E-17	8.83E-07	1.99E-09	
445	II	14/11/96	5.16E-06	3.84E-05	2.39E-05	3.49E-06	5.22E-05	6.48E-05	0.00E+00	9.72E-05	8.39E-05	2.39E-05	1.01E-05	1.09E-06	8.78E-08	2.00E-10	3.59E-12	4.34E-08	1.96E-11	9.26E-17	1.79E-06	4.03E-09	
446	II	05/12/96	1.01E-05	3.84E-05	2.73E-05	3.26E-06	5.22E-05	6.53E-05	0.00E+00	9.79E-05	9.21E-05	1.24E-05	8.85E-06	1.14E-06	1.11E-07	3.03E-10	6.54E-12	3.91E-08	1.82E-11	8.90E-17	1.71E-06	4.24E-09	
447	II	11/02/97	1.03E-05	4.60E-05	3.06E-05	3.46E-06	5.65E-05	7.21E-05	0.00E+00	9.18E-05	9.32E-05	8.92E-06	4.89E-06	1.86E-06	5.31E-07	4.29E-09	2.74E-10	2.30E-08	1.14E-11	5.95E-17	9.63E-07	2.44E-09	
448	II	28/02/97	8.11E-06	4.09E-05	2.96E-05	3.22E-06	5.22E-05	6.45E-05	0.00E+00	8.86E-05	9.11E-05	1.22E-05	5.22E-06	1.95E-06	5.43E-07	4.29E-09	2.67E-10	2.21E-08	9.86E-12	4.63E-17	1.01E-06	2.50E-09	
449																							
450	Source 2																						
451	IV	09/02/94	4.26E-06	2.66E-05	3.53E-05	3.19E-06	4.92E-06	2.64E-05	0.00E+00	9.04E-05	1.07E-04	6.84E-06	7.29E-06	1.80E-06	3.33E-07	1.74E-09	7.13E-11	3.43E-08	1.70E-11	8.82E-17	1.67E-06	4.87E-09	
452	IV	03/03/94	1.95E-06	3.32E-05	1.92E-04	1.72E-05	4.35E-05	2.82E-05	0.00E+00	4.70E-04	1.04E-04	1.58E-05	7.58E-06	1.29E-06	1.69E-07	6.38E-10	1.94E-11	3.05E-08	1.32E-11	6.14E-17	1.40E-06	3.64E-09	
453	IV	24/03/94	6.74E-06	4.02E-05	3.47E-05	2.82E-06	5.96E-05	2.53E-05	0.00E+00	8.29E-05	1.02E-04	1.46E-05	6.17E-06	1.39E-06	2.34E-07	1.11E-09	4.17E-11	2.72E-08	1.26E-11	6.15E-17	1.34E-06	3.73E-09	
454	IV	19/04/94	1.58E-06	3.58E-05	3.88E-05	3.04E-06	4.35E-05	2.39E-05	0.00E+00	8.90E-05	9.77E-05	6.75E-06	8.30E-06	1.79E-06	2.87E-07	1.30E-09	4.67E-11	3.75E-08	1.78E-11	8.89E-17	1.73E-06	4.57E-09	
455	IV	02/05/94	3.84E-06	3.58E-05	3.84E-05	3.53E-06	4.35E-05	2.18E-05	0.00E+00	8.15E-05	1.06E-04	3.14E-06	7.47E-06	4.02E-07	1.62E-08	1.85E-11	1.66E-13	3.44E-08	1.67E-11	8.52E-17	1.65E-06	4.69E-09	
456	IV	26/05/94	3.97E-05	3.32E-05	3.64E-05	3.13E-06	4.39E-05	2.05E-05	0.00E+00	8.33E-05	9.24E-05	3.50E-06	5.67E-06	1.44E-06	2.71E-07	1.45E-09	6.09E-11	2.50E-08	1.15E-11	5.60E-17	1.13E-06	2.84E-09	
457	IV	02/06/94	0.00E+00	4.60E-05	3.79E-05	3.40E-06	5.22E-05	2.58E-05	0.00E+00	7.69E-05	9.69E-05	7.48E-06	4.48E-06	1.19E-06	2.35E-07	1.31E-09	5.77E-11	1.95E-08	8.91E-12	4.28E-17	9.32E-07	2.47E-09	
458	IV	09/06/94	4.42E-06	3.58E-05	3.46E-05	2.80E-06	5.22E-05	2.44E-05	0.00E+00	7.30E-05	8.49E-05	5.96E-06	2.81E-06	1.08E-06	3.11E-07	2.51E-09	1.59E-10	1.11E-08	4.60E-12	1.99E-17	5.25E-07	1.23E-09	
459	IV	07/07/94	1.55E-05	3.58E-05	4.36E-05	3.20E-06	5.65E-05	2.63E-05	0.00E+00	8.51E-05	9.51E-05	5.89E-06	8.05E-07	3.79E-07	1.33E-07	1.32E-09	1.04E-10	3.62E-09	1.71E-12	8.49E-18	1.65E-07	4.32E-10	
460	IV	21/07/94	1.49E-05	5.37E-05	3.99E-05	2.82E-06	6.09E-05	2.90E-05	0.00E+00	1.37E-05	9.02E-05	7.73E-06	1.60E-07	1.43E-07	9.60E-08	1.82E-09	2.71E-10	8.51E-10	4.76E-13	2.80E-18	3.13E-08	7.79E-11	
461	IV	02/08/94	1.76E-05	4.60E-05	3.91E-05	2.66E-06	5.65E-05	2.56E-05	0.00E+00	1.37E-05	8.93E-05	1.35E-05	2.58E-07	2.38E-07	1.63E-07	3.16E-09	4.82E-10	1.23E-09	6.18E-13	3.26E-18	5.02E-08	1.24E-10	
462	IV	13/08/94	9.00E-06	6.14E-05	3.63E-05	2.46E-06	5.65E-05	2.44E-05	0.00E+00	9.86E-06	8.11E-05	1.06E-05	2.43E-07	2.05E-07	1.28E-07	2.26E-09	3.15E-10	1.59E-09	1.09E-12	7.89E-18	4.33E-08	9.72E-11	
463	IV	09/09/94	1.12E-05	6.65E-05	3.92E-05	1.91E-06	6.26E-05	3.13E-05	0.00E+00	8.97E-05	8.38E-05	7.58E-06	5.34E-08	3.10E-08	1.34E-08	1.64E-10	1.58E-11	3.13E-10	1.93E-13	1.25E-18	9.73E-09	2.25E-11	
464	IV	29/09/94	4.42E-06	4.60E-05	3.80E-05	2.35E-06	6.52E-05	3.23E-05	0.00E+00	9.01E-05	9.07E-05	4.08E-06	1.12E-06	2.59E-07	4.46E-08	2.17E-10	8.33E-12	5.03E-09	2.37E-12	1.17E-17	2.21E-07	5.52E-10	
465	IV	02/11/94	7.21E-06	4.09E-05	4.44E-05	1.77E-06	5.65E-05	2.60E-05	0.00E+00	1.03E-04	9.65E-05	8.59E-06	4.22E-07	1.51E-07	4.02E-08	3.03E-10	1.80E-11	2.16E-09	1.16E-12	6.58E-18	8.78E-08	2.33E-10	
466	IV	24/11/94	9.21E-06	5.37E-05	3.97E-05	1.57E-06	5.65E-05	3.63E-05	0.00E+00	1.01E-04	9.42E-05	8.23E-06	2.64E-07	7.85E-08	1.74E-08	1.09E-10	5.39E-12	1.39E-09	7.64E-13	4.43E-18	5.39E-08	1.40E-10	
467	IV	13/12/94	3.53E-06	5.37E-05	3.75E-05	2.80E-06	5.22E-05	4.03E-05	0.00E+00	9.68E-05	9.56E-05	9.68E-06	3.16E-06	9.39E-07	2.08E-07	1.31E-09	6.45E-11	1.55E-08	8.00E-12	4.33E-17	6.49E-07	1.70E-09	
468	IV	04/01/95	7.00E-06	4.60E-05	3.97E-05	1.87E-06	5.22E-05	4.06E-05	0.00E+00	9.75E-05	9.81E-05	9.10E-06	2.65E-06	6.71E-07	1.27E-07	6.76E-10	2.84E-11	1.27E-08	6.38E-12	3.37E-17	5.59E-07	1.50E-09	
469	IV	15/01/95	3.37E-06	4.35E-05	3.68E-05	2.93E-06	4.35E-05	3.18E-05	0.00E+00	9.33E-05	9.81E-05	1.24E-05	5.56E-06	2.45E-06	8.02E-07	7.44E-09	5.44E-10	2.42E-08	1.11E-11	5.31E-17	1.17E-06	3.13E-09	
470	IV	02/02/95	1.21E-06	3.58E-05	3.23E-05	3.19E-06	4.35E-05	2.35E-05	0.00E+00	9.08E-05	9.92E-05	1.26E-05	9.65E-06	1.69E-06	2.21E-07	8.16E-10	2.37E-11	3.77E-08	1.55E-11	6.70E-17	2.04E-06	5.47E-09	
471	IV	27/02/95	2.95E-06	3.58E-05	3.36E-05	3.02E-06	4.78E-05	2.27E-05	0.00E+00	8.94E-05	1.00E-04	1.40E-05	9.37E-06	1.92E-06	2.95E-07	1.28E-09	4.38E-11	6.26E-08	4.40E-11	3.25E-16	1.98E-06	5.35E-09	
472	IV	24/03/95	4.42E-06	4.09E-05	3.49E-05	2.95E-06	4.78E-05	3.11E-05	0.00E+00	8.86E-05	9.93E-05	2.96E-06	9.06E-06	1.15E-06	1.08E-07	2.90E-10	6.12E-12	3.95E-08	1.81E-11	8.76E-17	1.90E-06	5.10E-09	
473	IV	07/04/95	8.95E-06	3.58E-05	3.34E-05	2.88E-06	4.78E-05	2.79E-05	0.00E+00	8.33E-05	1.00E-04	6.75E-06	8.75E-06	1.67E-06	3.54E-07	2.12E-09	9.98E-11	2.71E-08	1.32E-11	6.72E-17	1.26E-06	3.45E-09	
474	IV	02/05/95	4.58E-06	3.84E-05	3.49E-05	2.82E-06	4.78E-05	2.52E-05	0.00E+00	8.37E-05	1.00E-04	1.00E-05	8.86E-06	5.87E-07	2.91E-08	4.09E-11	4.53E-13	4.43E-08	2.33E-11	1.29E-16	1.85E-06	4.97E-09	
475	IV	02/06/95	6.32E-07	3.32E-05	3.54E-05	2.66E-06	4.78E-05	2.90E-05	0.00E+00	8.72E-05	1.01E-04	1.74E-05	7.89E-06	1.58E-06	2.37E-07	1.01E-09	3.36E-11	3.48E-08	1.61E-11	7.87E-17	1.69E-06	4.64E-09	
476	IV	28/06/95	1.68E-05	3.32E-05	3.55E-05	2.26E-																	



	1	2	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
1	N°	Date	AlPO4°	AlHP04 +	AlH2PO4 2+	AlOS(OH)3 2+	AlF 2+	AlF2 +	AlF3 °	AlF4 -	Polymères	Al organique	Force ionique	Activités (moles/l)				
2			[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles d'Al/l]	[moles d'Al/l]	[moles/l]	[Ca 2+]	[Mg 2+]	[K +]	[Na +]	[Al 3+]	
435	II	03/04/96	9.76E-19	6.45E-21	1.21E-22	6.66E-08	5.17E-06	2.72E-07	3.87E-10	1.84E-14	0.00E+00	3.93E-07	5.41E-04	5.58E-05	3.01E-05	3.49E-05	5.09E-05	6.03E-06
436	II	02/05/96	9.71E-19	2.93E-21	2.51E-23	2.43E-08	1.97E-06	2.06E-06	5.83E-08	5.51E-11	0.00E+00	1.26E-06	5.21E-04	6.24E-05	3.08E-05	4.49E-05	5.94E-05	8.19E-07
437	II	30/05/96	9.70E-19	4.98E-21	7.26E-23	3.49E-08	3.41E-07	6.33E-07	3.17E-08	5.32E-11	4.80E-06	1.98E-09	5.74E-04	5.79E-05	2.94E-05	4.23E-05	5.93E-05	2.47E-06
438	II	12/06/96	9.73E-19	6.58E-21	1.26E-22	5.88E-08	1.76E-06	8.85E-07	1.20E-08	5.40E-12	4.77E-07	2.70E-09	4.89E-04	5.58E-05	2.79E-05	2.49E-05	5.09E-05	5.40E-06
439	II	25/06/96	9.49E-19	7.36E-21	1.62E-22	2.80E-08	1.11E-06	1.69E-06	6.99E-08	9.59E-11	2.47E-06	2.78E-09	4.84E-04	5.09E-05	2.78E-05	3.74E-05	4.67E-05	3.15E-06
440	II	08/07/96	9.66E-19	4.84E-21	6.83E-23	2.23E-08	9.37E-07	2.33E-06	1.55E-07	3.41E-10	2.69E-06	0.00E+00	3.81E-04	4.07E-05	2.26E-05	3.00E-05	4.26E-05	1.98E-06
441	II	31/07/96	9.52E-19	8.89E-21	2.35E-22	3.91E-08	1.02E-06	9.86E-07	2.58E-08	2.24E-11	0.00E+00	4.65E-10	4.88E-04	5.15E-05	2.82E-05	3.49E-05	4.67E-05	5.15E-06
442	II	15/08/96	9.63E-19	6.36E-21	1.19E-22	3.71E-08	7.39E-09	1.72E-08	1.08E-09	2.26E-12	3.96E-06	0.00E+00	5.01E-04	5.19E-05	2.86E-05	4.99E-05	6.79E-05	3.28E-06
443	II	16/09/96	9.55E-19	6.46E-21	1.23E-22	3.16E-08	2.73E-06	4.06E-07	1.63E-09	2.19E-13	0.00E+00	2.31E-06	4.75E-04	4.80E-05	2.88E-05	4.49E-05	5.52E-05	2.71E-06
444	II	03/10/96	9.66E-19	6.68E-21	1.31E-22	4.43E-08	7.51E-07	4.36E-07	6.82E-09	3.57E-12	0.00E+00	6.93E-08	4.89E-04	4.48E-05	2.71E-05	4.74E-05	5.52E-05	4.03E-06
445	II	14/11/96	8.99E-19	1.60E-20	8.05E-22	3.88E-08	3.94E-06	4.64E-07	1.48E-09	1.56E-13	0.00E+00	7.61E-07	4.68E-04	4.08E-05	2.17E-05	3.74E-05	5.09E-05	8.12E-06
446	II	05/12/96	9.17E-19	1.36E-20	5.69E-22	4.10E-08	2.00E-08	7.88E-09	8.40E-11	2.98E-14	4.15E-06	9.25E-09	4.86E-04	4.32E-05	2.47E-05	3.74E-05	5.09E-05	7.09E-06
447	II	11/02/97	9.80E-19	4.91E-21	6.98E-23	6.26E-08	2.97E-06	1.47E-06	1.96E-08	8.74E-12	2.02E-06	8.32E-09	5.02E-04	5.06E-05	2.76E-05	4.49E-05	5.51E-05	3.90E-06
448	II	28/02/97	9.80E-19	5.03E-21	7.30E-23	6.31E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.99E-06	0.00E+00	4.76E-04	4.80E-05	2.69E-05	3.99E-05	5.09E-05	4.19E-06
449																		
450	Source 2																	
451	IV	09/02/94	9.68E-19	7.52E-21	1.65E-22	5.97E-08	3.96E-06	1.17E-07	9.35E-11	2.49E-15	1.79E-06	5.70E-06	4.68E-04	3.13E-05	3.21E-05	2.60E-05	4.80E-06	5.86E-06
452	IV	03/03/94	9.43E-19	1.01E-20	3.14E-22	2.20E-07	1.88E-06	1.98E-08	5.75E-12	5.71E-17	7.80E-05	1.72E-05	1.10E-03	1.46E-04	1.66E-04	3.20E-05	4.19E-05	5.47E-06
453	IV	24/03/94	9.58E-19	8.15E-21	1.96E-22	4.22E-08	4.46E-06	8.96E-07	4.85E-09	8.76E-13	0.00E+00	1.55E-06	4.68E-04	3.13E-05	3.15E-05	3.92E-05	5.82E-05	4.96E-06
454	IV	19/04/94	9.64E-19	8.59E-21	2.17E-22	5.82E-08	1.51E-06	1.83E-08	5.99E-12	6.52E-17	0.00E+00	3.57E-06	4.71E-04	3.01E-05	3.52E-05	3.49E-05	4.25E-05	6.67E-06
455	IV	02/05/94	6.44E-19	2.28E-20	2.30E-21	1.20E-08	3.58E-06	9.43E-08	6.72E-11	1.60E-15	0.00E+00	1.67E-06	5.38E-04	3.15E-05	3.46E-05	3.49E-05	4.24E-05	5.92E-06
456	IV	26/05/94	9.63E-19	7.31E-21	1.57E-22	4.38E-08	5.71E-07	3.39E-06	5.40E-07	2.85E-09	0.00E+00	0.00E+00	4.34E-04	3.16E-05	3.32E-05	3.25E-05	4.29E-05	4.60E-06
457	IV	02/06/94	9.59E-19	6.95E-21	1.42E-22	3.34E-08	9.71E-19	1.22E-32	4.15E-48	4.70E-65	0.00E+00	5.93E-06	4.71E-04	3.49E-05	3.44E-05	4.49E-05	5.09E-05	3.60E-06
458	IV	09/06/94	9.70E-19	4.86E-21	6.87E-23	2.90E-08	1.98E-06	5.43E-07	4.01E-09	9.81E-13	5.56E-06	7.32E-09	4.07E-04	3.05E-05	3.16E-05	3.50E-05	5.10E-05	2.29E-06
459	IV	07/07/94	9.38E-19	3.82E-21	4.40E-23	1.18E-08	1.01E-06	2.83E-06	2.13E-07	5.35E-10	0.00E+00	0.00E+00	4.75E-04	4.10E-05	3.95E-05	3.49E-05	5.52E-05	6.47E-07
460	IV	21/07/94	9.19E-19	1.97E-21	1.19E-23	7.21E-10	2.25E-07	1.13E-06	1.53E-07	6.93E-10	1.46E-06	0.00E+00	4.66E-04	3.67E-05	3.63E-05	5.24E-05	5.94E-05	1.29E-07
461	IV	02/08/94	9.50E-19	1.98E-21	1.17E-23	1.19E-09	2.72E-07	1.54E-06	2.34E-07	1.19E-09	3.09E-06	0.00E+00	4.57E-04	3.61E-05	3.56E-05	4.49E-05	5.52E-05	2.08E-07
462	IV	13/08/94	9.38E-19	2.15E-21	1.39E-23	7.40E-10	6.08E-07	1.41E-06	8.83E-08	1.84E-10	1.84E-06	5.26E-07	4.39E-04	3.36E-05	3.31E-05	5.99E-05	5.52E-05	1.97E-07
463	IV	09/09/94	6.19E-19	2.05E-21	1.92E-23	1.02E-09	6.80E-07	1.88E-06	1.40E-07	3.47E-10	1.19E-06	3.78E-07	4.62E-04	3.74E-05	3.56E-05	6.49E-05	6.11E-05	4.30E-08
464	IV	29/09/94	8.39E-19	6.98E-21	1.64E-22	8.55E-09	2.46E-06	6.59E-07	4.77E-09	1.15E-12	2.29E-06	7.03E-07	4.58E-04	3.51E-05	3.45E-05	4.49E-05	6.37E-05	9.03E-07
465	IV	02/11/94	8.26E-19	4.44E-21	6.74E-23	5.68E-09	1.48E-06	1.57E-06	4.48E-08	4.27E-11	0.00E+00	7.66E-07	4.84E-04	4.14E-05	4.03E-05	3.99E-05	5.52E-05	3.38E-07
466	IV	24/11/94	6.76E-19	4.37E-21	7.97E-23	2.90E-09	1.18E-06	1.96E-06	8.71E-08	1.29E-10	7.83E-07	2.16E-07	4.69E-04	3.47E-05	3.61E-05	5.24E-05	5.52E-05	2.12E-07
467	IV	13/12/94	9.56E-19	6.17E-21	1.13E-22	3.33E-08	2.46E-06	3.61E-07	1.42E-09	1.88E-13	0.00E+00	2.60E-06	4.73E-04	3.53E-05	3.41E-05	5.24E-05	5.09E-05	2.54E-06
468	IV	04/01/95	9.32E-19	7.07E-21	1.52E-22	2.39E-08	3.26E-06	1.36E-06	1.52E-08	5.70E-12	0.00E+00	2.03E-07	4.81E-04	3.66E-05	3.60E-05	4.49E-05	5.09E-05	2.13E-06
469	IV	15/01/95	9.86E-19	4.30E-21	5.31E-23	8.34E-08	2.69E-06	2.39E-07	5.72E-10	4.57E-14	0.00E+00	3.28E-06	4.57E-04	3.40E-05	3.35E-05	4.24E-05	4.25E-05	4.48E-06
470	IV	02/02/95	9.54E-19	1.05E-20	3.24E-22	5.61E-08	1.16E-06	1.29E-08	3.88E-12	3.88E-17	0.00E+00	4.70E-06	4.52E-04	2.81E-05	2.94E-05	3.50E-05	4.25E-05	7.79E-06
471	IV	27/02/95	9.64E-19	9.00E-21	2.38E-22	6.29E-08	2.61E-06	1.17E-07	1.40E-10	5.64E-15	4.41E-07	1.89E-06	4.67E-04	2.94E-05	3.05E-05	3.49E-05	4.67E-05	7.54E-06
472	IV	24/03/95	9.16E-19	1.39E-20	5.94E-22	3.72E-08	1.96E-06	7.24E-08	7.15E-11	2.38E-15	2.52E-06	2.85E-08	4.83E-04	3.03E-05	3.16E-05	3.99E-05	4.67E-05	7.26E-06
473	IV	07/04/95	9.71E-19	6.56E-21	1.25E-22	5.09E-08	6.64E-06	9.76E-07	3.86E-09	5.09E-13	0.00E+00	4.39E-08	4.57E-04	3.02E-05	3.04E-05	3.50E-05	4.67E-05	4.73E-06
474	IV	02/05/95	7.60E-19	2.19E-20	1.79E-21	1.80E-08	2.27E-06	1.36E-07	2.19E-10	1.18E-14	0.00E+00	0.00E+00	5.02E-04	3.16E-05	3.16E-05	3.74E-05	4.67E-05	7.07E-06
475	IV	02/06/95	9.57E-19	9.14E-21	2.47E-22	5.06E-08	5.70E-07	1.00E-08	4.76E-12	7.52E-17	0.00E+00	2.64E-06	4.57E-04	3.17E-05	3.22E-05	3.25E-05	4.67E-05	6.36E-06
476	IV	28/06/95	8.93E-19	1.00E-20	3.18E-22	1.45E-08	1.51E-06	2.52E-06	1.13E-07	1.69E-10	0.00E+00	0.00E+00	4.63E-04	3.13E-05	3.23E-05	3.25E-05	4.67E-05	2.81E-06
477	IV	18/07/95	8.78E-19	7.64E-21	1.88E-22	1.09E-08	2.44E-06	2.61E-07	7.51E-10	7.22E-14	0.00E+00	1.23E-06	4.57E-04	3.54E-05	3.50E-05	4.49E-05	4.67E-05	1.40E-06
478	IV	17/08/95	9.87E-19	4.02E-22	4.63E-25	5.82E-09	3.16E-08	1.38E-08	1.62E-10	6.37E-14	7.82E-07	2.15E-06	4.68E-04	3.56E-05	3.54E-05	3.99E-05	5.94E-05	3.18E-08
479	IV	19/09/95	9.69E-19	2.22E-21	1.44E-23	1.57E-08	5.91E-07	3.48E-07	5.73E-09	3.14E-12	0.00E+00	2.07E-06	4.61E-04	4.08E-05	3.77E-05	4.49E-05	5.52E-05	4.32E-07
480	IV	10/10/95	9.71E-19	4.14E-21	5.00E-23	3.45E-08	2.64E-06	1.84E-06	3.45E-08	2.16E-11	0.00E+00	6.88E-09	4.80E-04	3.96E-05	3.69E-05	4.49E-05	5.52E-05	1.74E-06
481	IV	06/11/95	9.83E-19	2.20E-21	1.40E-23	3.37E-08	3.72E-07	4.44E-07	1.43E-08	1.55E-11	0.00E+00	2.85E-06	5.20E-04	4.06E-05	3.94E-05	4.49E-05	5.51E-05	8.27E-07
482	IV	05/12/95	9.64E-19	3.84E-21	4.33E-23	2.68E-08	2.21E-06	1.21E-06	1.79E-08	8.88E-12	0.00E+00	1.38E-06	5.12E-04	4.38E-05	4.05E-05	5.24E-05	6.36E-05	1.12E-06



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1	N°	Date	Pluviométrie (mm) ou volume (ml)	pH 20 °C	ANC μéquiv/L	Al total mg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	Fe mg/l	F mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Mn mg/l	Na mg/l	NO3 mg/l	PO4 mg/l	Si mg/l	SO4 mg/l	C org. mg/l	Al total moles/l	Al monomérique moles/l	Al 8-OH-Q moles/l	Ca moles/l	Cl moles/l	C min moles/l	Fe moles/l	
483	IV	05/01/96		4.71	-54	0.308	1.47	1.77	0.000	0.30	2.00	1.00	0.10	1.20	2.25	0.00	2.64	10.97	2.4	1.14E-05	1.14E-05	5.45E-06	3.67E-05	4.99E-05	1.57E-04	0.00E+00	
484	IV	31/01/96		4.85	-13	0.223	1.80	1.79	0.002	0.06	1.70	1.09	0.10	1.20	2.51	0.00	2.94	9.84	2.4	8.26E-06	8.26E-06	4.09E-06	4.49E-05	5.05E-05	1.30E-04	3.58E-04	
485	IV	21/02/96		5.00	20	0.221	2.19	1.90	0.024	0.04	1.70	1.22	0.11	1.20	2.30	0.00	2.69	9.75	2.6	8.18E-06	8.18E-06	3.17E-06	5.46E-05	5.36E-05	5.00E-05	4.40E-04	
486	IV	03/04/96		5.04	12	0.146	1.77	1.98	0.004	0.00	1.80	1.02	0.07	1.60	1.69	0.00	2.57	9.73	1.3	5.39E-06	5.39E-06	1.94E-06	4.42E-05	5.56E-05	5.00E-05	7.16E-04	
487	IV	02/05/96		5.10	0	0.085	1.86	1.81	0.017	0.00	1.70	0.95	0.08	1.40	1.14	0.00	2.39	9.95	2.5	3.16E-06	9.98E-07	9.84E-07	4.64E-05	5.10E-05	5.00E-05	3.04E-04	
488	IV	30/05/96		5.12	-62	0.206	1.70	2.44	0.032	0.10	1.70	0.92	0.10	1.30	4.04	0.00	2.35	9.27	2.4	7.64E-06	7.34E-06	3.55E-06	4.24E-05	6.88E-05	5.00E-05	5.73E-04	
489	IV	12/06/96		5.12	6	0.130	2.01	1.52	0.035	0.24	1.20	1.02	0.08	1.40	1.64	0.00	2.32	9.19	2.7	4.80E-06	4.80E-06	1.90E-06	5.01E-05	4.29E-05	5.00E-05	6.27E-04	
490	IV	25/06/96		4.10	-15	0.099	1.68	1.50	0.020	0.34	1.50	0.92	0.08	1.20	1.20	0.00	2.06	8.96	2.6	3.66E-06	2.28E-06	0.00E+00	4.19E-05	4.23E-05	5.00E-05	3.58E-04	
491	IV	08/07/96		5.09	10	0.147	1.60	1.66	0.068	0.33	1.70	0.80	0.09	1.10	1.09	0.00	1.66	6.92	4.3	5.44E-06	2.65E-06	9.25E-07	3.99E-05	4.68E-05	5.00E-05	1.22E-04	
492	IV	31/07/96		5.15	-7	0.089	1.71	1.63	0.032	0.31	1.50	0.95	0.10	1.40	1.37	0.00	2.20	8.95	2.5	3.31E-06	1.98E-06	1.20E-06	4.27E-05	4.60E-05	5.00E-05	5.73E-04	
493	IV	15/08/96		5.30	19	0.073	1.80	1.93	0.056	0.30	2.00	0.99	0.09	1.70	1.39	0.00	2.41	8.80	3.0	2.69E-06	2.69E-06	1.42E-06	4.49E-05	5.44E-05	5.00E-05	1.00E-04	
494	IV	16/09/96		5.36	18	0.080	1.61	2.02	0.042	0.11	2.00	0.97	0.07	1.50	1.00	0.00	2.47	8.52	2.6	2.96E-06	2.10E-06	1.48E-06	4.02E-05	5.70E-05	5.00E-05	7.52E-04	
495	IV	03/10/96		5.55	23	0.072	1.58	2.10	0.021	0.10	2.30	0.92	0.07	1.60	1.10	0.00	2.50	8.41	2.8	2.66E-06	2.66E-06	2.66E-06	3.94E-05	5.92E-05	5.00E-05	3.76E-04	
496	IV	14/11/96		4.37	-28	0.444	1.07	1.23	0.000	0.12	1.30	0.56	0.18	1.00	1.91	0.00	2.34	7.16	5.7	1.64E-05	1.57E-05	1.11E-05	2.67E-05	3.47E-05	5.00E-05	0.00E+00	
497	IV	05/12/96		4.51	-37	0.433	1.34	1.60	0.000	0.18	1.60	0.81	0.16	1.20	1.77	0.00	2.56	9.64	4.4	1.60E-05	1.60E-05	1.19E-05	3.34E-05	4.51E-05	5.00E-05	0.00E+00	
498	IV	11/02/97		5.22	-14	0.181	1.74	1.85	0.027	0.26	2.20	1.00	0.10	1.40	2.21	0.00	2.57	9.95	2.2	6.69E-06	6.69E-06	1.20E-06	4.34E-05	5.22E-05	5.00E-05	4.83E-04	
499	IV	28/02/97		4.90	-20	0.355	1.48	1.47	0.000	0.12	1.60	0.88	0.13	1.10	2.09	0.00	2.41	9.40	2.5	1.32E-05	1.12E-05	9.22E-06	3.69E-05	4.15E-05	5.00E-05	0.00E+00	
500																											
501																											
502	SOL BRUN ACIDE																										
503	Pluiolessivats																										
504	Plu 4	03/03/94	83	4.25	-70	0.049	0.66	1.23	0.000	0.04	0.60	0.15	0.20	0.70	4.01	0.00	0.00	2.66	3.7	1.82E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.64E-05	3.47E-05	1.23E-04	0.00E+00	
505	Plu 5	03/03/94	43	4.27	-40	0.043	0.69	1.07	0.000	0.04	0.50	0.14	0.18	0.70	3.21	0.00	0.00	2.01	3.4	1.59E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.72E-05	3.02E-05	1.23E-04	0.00E+00	
506	Plu 6	03/03/94	38	4.15	-57	0.052	0.81	1.31	0.000	0.06	0.65	0.18	0.30	0.90	4.28	0.00	0.00	2.75	3.9	1.93E-06	0.00E+00	0.00E+00	2.03E-05	3.69E-05	1.23E-04	0.00E+00	
507	Plu 4	24/03/94	82	4.12	-117	0.018	0.47	1.60	0.009	0.13	0.78	0.11	0.18	1.02	4.72	0.00	0.03	3.16	6.8	6.67E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.18E-05	4.51E-05	1.26E-04	1.61E-04	
508	Plu 5	24/03/94	55	4.19	-97	0.030	0.58	1.91	0.007	0.12	1.28	0.14	0.29	1.20	4.72	0.00	0.02	3.35	6.9	1.11E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.45E-05	5.39E-05	1.26E-04	1.25E-04	
509	Plu 6	24/03/94	50	4.34	-86	0.007	0.31	1.25	0.005	0.11	0.54	0.07	0.12	0.81	3.20	0.00	0.01	2.31	5.2	2.59E-07	0.00E+00	0.00E+00	7.78E-06	3.53E-05	1.26E-04	8.95E-04	
510	Plu 4	19/04/94	105	3.94	-119	0.019	0.62	1.49	0.010	0.04	0.60	0.17	0.22	0.60	4.01	0.00	0.04	4.34	4.0	7.04E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.55E-05	4.20E-05	1.33E-04	1.79E-04	
511	Plu 5	19/04/94	73	3.97	-109	0.018	0.61	1.69	0.009	0.05	0.90	0.17	0.29	0.70	3.86	0.00	0.04	4.24	4.7	6.67E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.51E-05	4.77E-05	1.33E-04	1.61E-04	
512	Plu 6	19/04/94	60	4.02	-107	0.008	0.40	1.25	0.006	0.07	0.40	0.10	0.12	0.60	3.23	0.00	0.03	3.40	3.4	2.97E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.01E-05	3.53E-05	1.33E-04	1.07E-04	
513	Plu 4	02/05/94	19	3.94	-204	0.053	1.26	1.33	0.023	0.07	1.20	0.23	0.48	0.53	8.95	0.00	0.08	7.05	7.0	1.96E-06	0.00E+00	0.00E+00	3.14E-05	3.75E-05	1.42E-04	4.12E-04	
514	Plu 5	02/05/94	14	4.12	-161	0.047	1.34	1.38	0.018	0.07	1.50	0.26	0.70	0.54	7.30	0.00	0.08	7.14	7.5	1.74E-06	0.00E+00	0.00E+00	3.34E-05	3.89E-05	1.42E-04	3.22E-04	
515	Plu 6	02/05/94	11	3.84	-123	0.021	0.76	0.96	0.009	0.06	0.90	0.14	0.31	0.36	5.41	0.00	0.06	4.26	4.4	7.78E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.89E-05	2.71E-05	1.42E-04	1.61E-04	
516	Plu 4	26/05/94	110	4.72	-72	0.028	0.94	0.80	0.012	0.00	2.40	0.22	0.46	0.34	5.66	0.00	0.10	4.41	6.4	1.04E-06	0.00E+00	0.00E+00	2.34E-05	2.26E-05	1.42E-04	2.15E-04	
517	Plu 5	26/05/94	78	5.50	-37	0.023	0.95	0.90	0.009	0.00	2.70	0.23	0.52	0.40	4.53	0.00	0.11	4.10	6.4	8.52E-07	0.00E+00	0.00E+00	2.37E-05	2.54E-05	1.42E-04	1.61E-04	
518	Plu 6	26/05/94	110	5.66	-58	0.007	0.57	0.53	0.002	0.20	1.40	0.15	0.26	0.19	3.18	0.00	0.10	2.90	3.6	2.59E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.41E-05	1.49E-05	1.42E-04	3.58E-04	
519	G2	09/06/94	39	6.40	-7	0.049	2.24	1.16	0.011	0.13	1.70	0.14	0.20	0.50	3.68	0.33	0.26	3.74	6.6	1.82E-06	0.00E+00	0.00E+00	5.59E-05	3.27E-05	1.25E-04	1.97E-04	
520	G2	23/06/94	7	6.49	-22	0.097	7.43	3.11	0.054	0.10	9.60	0.91	1.61	0.90	17.78	1.50	1.19	15.54	18.3	3.61E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.85E-04	8.77E-05	1.26E-04	9.67E-04	
521	G2	08/07/94	5	5.48	-85	0.100	3.97	2.30	0.041	0.38	6.70	0.52	1.15	0.65	14.45	0.85	0.47	6.17	27.0	3.71E-06	0.00E+00	0.00E+00	9.91E-05	6.49E-05	1.26E-04	7.34E-04	
522	G2	15/07/94	9	4.57	-174	0.091	3.11	1.80	0.036	0.29	4.50	0.39	0.85	0.70	15.08	0.45	0.42	6.44	22.8	3.37E-06	0.00E+00	0.00E+00	7.76E-05	5.08E-05	1.30E-04	6.45E-04	
523	G2	21/07/94	39	4.98	-52	0.025	0.95	0.63	0.018	0.09	1.50	0.11	0.24	0.20	3.30	0.00	0.27	2.67	8.2	9.19E-07	0.00E+00	0.00E+00	2.38E-05	1.78E-05	1.30E-04	3.22E-04	
524	G2	01/08/94	25	5.22	-115	0.105	1.54	1.10	0.023	0.25	2.60	0.18	0.51	0.00	7.07	0.00	0.26	4.24	11.0	3.87E-06	0.00E+00	0.00E+00	3.84E-05	3.10E-05	1.30E-04	4.12E-04	
525	G2	13/08/94	35	4.63	-88	0.086	1.13	0.78	0.020	0.19	2.40	0.13	0.40	0.10	5.56	0.00	0.33	3.68	10.3	3.20E-06	0.00E+00	0.00E+00	2.82E-05	2.20E-05	1.30E-04	3.58E-04	
526	G2	20/08/94	28	4.64	-40	0.129	0.67	1.02	0.016	0.17	2.40	0.10	0.41	0.40	3.54	0.00	0.33	2.29	10.2	4.79E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.66E-05	2.88E-05	1.30E-04	2.86E-04	
527	G2	29/08/94	3	5.75	-2	0.140	2.24	1.90	0.045	0.05	8.00	0.34	1.70	0.70	8.30	1.18	1.82	6.53	26.6	5.19E-06	0.00E+00	0.00E+00	5.59E-05	5.36E-05	1.30E-04	8.06E-04	
528	G2	09/09/94	61	4.64	-24	0.019	0.41	0.63	0.056	0.23	2.10	0.06	0.34	0.13	1.94	0.00	0.23	1.82	6.0	7.04E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.02E-05	1.78E-05	1.30E-04	1.00E-04	











	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
1	N°	Date	Pluviométrie (mm) ou volume (ml)	pH	ANC µéquiv/L	Al total mg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	Fe mg/l	F mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Mn mg/l	Na mg/l	NO3 mg/l	PO4 mg/l	Si mg/l	SO4 mg/l	C org. mg/l	Al total moles/l	Al monomérique moles/l	Al 8-OH-O moles/l	Ca moles/l	Cl moles/l	C min moles/l	Fe moles/l		
531	G2	05/10/94	16	5.11	14	0.043	0.71	0.89	0.013	0.00	5.60	0.12	0.42	0.22	3.54	0.00	0.58	3.60	10.8	1.59E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.78E-05	2.51E-05	1.30E-04	2.33E-07		
532	G2	31/10/94	47	5.73	153	0.035	0.72	2.72	0.019	0.39	13.60	0.16	0.60	0.60	3.27	0.00	0.65	2.08	23.7	1.29E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.78E-05	7.67E-05	1.30E-04	3.40E-07		
533	G2	24/11/94	30	4.38	-27	0.032	0.55	1.75	0.007	0.00	3.00	0.15	0.52	0.80	3.24	0.00	0.26	3.00	8.3	1.19E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.37E-05	4.94E-05	1.30E-04	1.25E-07		
534	G2	13/12/94	64	4.25	-44	0.037	0.63	1.04	0.004	0.07	1.70	0.11	0.38	0.40	2.85	0.00	0.09	2.90	5.5	1.36E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.58E-05	2.93E-05	1.30E-04	7.16E-08		
535	G2	01/01/95	3	4.00	-78	0.026	1.00	2.49	0.002	0.13	2.10	0.22	0.74	1.00	4.02	0.00	0.15	4.87	6.7	9.60E-07	0.00E+00	0.00E+00	2.49E-05	7.02E-05	1.30E-04	3.58E-08		
536	G2	17/01/95	67	4.10	-45	0.050	0.44	1.74	0.000	0.00	0.60	0.15	0.21	1.00	1.83	0.00	0.06	2.28	5.5	1.86E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.09E-05	4.91E-05	1.30E-04	0.00E+00		
537	G2	02/02/95	99	4.50	-27	0.020	0.31	1.91	0.000	0.00	0.80	0.09	0.23	0.90	0.83		0.05	1.40	5.5	7.38E-07	0.00E+00	0.00E+00	7.61E-06	5.39E-05	1.30E-04	0.00E+00		
538	G2	27/02/95	98	4.57	-77	0.015	0.35	3.10	0.037	0.05	0.70	0.09	0.16	0.70	1.32	0.00	0.10	1.39	4.2	5.37E-07	0.00E+00	0.00E+00	8.78E-06	8.74E-05	1.30E-04	6.62E-07		
539	G2	24/03/95	86	3.97	-72	0.021	0.04	1.87	0.001	0.07	0.60	0.11	0.15	0.80	2.20	0.00	0.09	1.83	2.4	7.60E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.08E-06	5.27E-05	1.30E-04	1.79E-08		
540	G2	07/04/95	42	4.32	-89	0.007	0.53	1.35	0.000	0.35	0.60	0.14	0.16	0.70	3.11	0.00	0.11	2.85	3.2	2.59E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.32E-05	3.81E-05	1.30E-04	0.00E+00		
541	G2	02/05/95	61	3.34	-127	0.014	0.86	1.53	0.027	0.09	1.00	0.16	0.30	0.30	5.33	0.00	0.13	3.48	6.6	5.15E-07	0.00E+00	0.00E+00	2.13E-05	4.31E-05	1.30E-04	4.83E-07		
542	G2	02/06/95	130	4.10	16	0.015	0.59	1.25	0.014	0.02	5.10	0.23	0.28	0.20	1.66	0.00	0.11	3.53	8.3	5.56E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.47E-05	3.53E-05	1.30E-04	2.51E-07		
543	G2	28/06/95	57	4.98	-10	0.013	0.50	0.91	0.000	0.08	3.30	0.13	0.20	0.25	0.87	0.00	0.21	3.64	7.6	4.97E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.26E-05	2.57E-05	1.30E-04	0.00E+00		
544	G2	18/07/95	61	3.78	-773	0.101	0.66	4.24	0.000	0.60	7.40	0.14	0.30	0.10	0.00	1.29	0.19	1.93	191.6	3.74E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.65E-05	1.20E-04	1.57E-04	0.00E+00		
545	G2	17/08/95	49	4.50	-433	0.091	1.04	1.06	0.039	1.16	8.40	0.19	0.42	0.80	0.65	0.93	0.40	3.28	136.9	3.38E-06	0.00E+00	0.00E+00	2.59E-05	2.99E-05	1.57E-04	6.98E-07		
546	G2	19/09/95	117	6.22	23	0.011	0.36	0.31	0.000	0.00	5.20	0.07	0.00	0.20	1.91	0.00	0.32	2.92	10.0	4.08E-07	0.00E+00	0.00E+00	8.93E-06	8.74E-06	1.57E-04	0.00E+00		
547	G2	10/10/95	85	5.70	-3	0.002	0.46	0.88	0.000	0.14	3.90	0.09	0.21	0.30	2.39	0.00	0.36	2.92	5.4	8.90E-08	0.00E+00	0.00E+00	1.14E-05	2.48E-05	1.57E-04	0.00E+00		
548	G2	06/11/95	31	6.35	131	0.030	0.65	3.09	0.000	0.14	16.00	0.21	0.25	0.60	4.52	0.00	0.81	6.01	17.5	1.10E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.61E-05	8.71E-05	1.57E-04	0.00E+00		
549	G2	05/12/95	44	5.61	26	0.048	0.76	1.61	0.000	0.11	4.90	0.19	0.50	1.00	4.22	0.00	0.07	3.82	5.0	1.79E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.90E-05	4.54E-05	1.57E-04	0.00E+00		
550	G2	05/01/96	76	4.49	-48	0.020	0.65	0.69	0.000	0.03	2.90	0.14	0.64	0.50	4.03	0.00	0.07	4.88	6.0	7.49E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.62E-05	1.95E-05	1.57E-04	0.00E+00		
551	G2	31/01/96	9	4.90	-63	0.008	1.49	1.99	0.000	0.08	2.70	0.25	0.91	1.00	7.64	0.00	0.30	4.14	8.2	2.78E-07	0.00E+00	0.00E+00	3.72E-05	5.61E-05	1.30E-04	0.00E+00		
552	G2	21/02/96	45	3.87	-139	0.049	1.09	2.57	0.014	0.12	2.80	0.23	0.81	1.10	7.94	0.00	0.10	6.24	7.2	1.81E-06	0.00E+00	0.00E+00	2.72E-05	7.25E-05	5.00E-05	2.51E-07		
553	G2	03/04/96	31	4.24	-174	0.036	1.44	2.43	0.000	0.12	3.20	0.33	0.98	1.30	13.74	0.00	0.12	6.17	6.9	1.35E-06	0.00E+00	0.00E+00	3.59E-05	6.85E-05	5.00E-05	0.00E+00		
554	G2	05/05/96	40	4.46	-271	0.039	2.01	1.61	0.008	0.20	3.70	0.39	1.15	0.60	17.52	0.00	0.16	8.92	11.3	1.44E-06	0.00E+00	0.00E+00	5.01E-05	4.54E-05	5.00E-05	1.43E-07		
555	G2	30/05/96	105	5.53	2	0.013	0.77	0.90	0.008	0.07	2.60	0.15	0.31	0.40	1.70	0.00	0.17	2.87	6.8	4.97E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.93E-05	2.53E-05	5.00E-05	1.43E-07		
556	G2	12/06/96	44	5.27	-59	0.013	0.69	0.33	0.006	0.19	1.90	0.12	0.30	0.20	4.36	0.00	0.15	2.77	5.6	4.93E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.71E-05	9.31E-06	5.00E-05	1.07E-07		
557	G2	25/06/96	38	3.97	-62	0.016	0.85	0.38	0.003	0.31	2.50	0.13	0.38	0.20	5.06	0.00	0.08	2.65	8.7	5.89E-07	0.00E+00	0.00E+00	2.11E-05	1.07E-05	5.00E-05	5.37E-08		
558	G2	08/07/96	55	4.89	-33	0.010	0.43	0.34	0.003	0.31	1.80	0.07	0.28	0.20	2.36	0.00	0.11	1.69	6.5	3.63E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.08E-05	9.59E-06	5.00E-05	5.37E-08		
559	G2	31/07/96	15	5.55	-28	0.034	1.48	1.16	0.008	0.69	4.90	0.26	0.92	0.50	2.52	0.00	0.17	4.83	23.1	1.27E-06	0.00E+00	0.00E+00	3.69E-05	3.27E-05	5.00E-05	1.43E-07		
560	G2	15/08/96	59	4.86	-387	0.015	0.86	0.89	0.013	0.50	4.30	0.12	0.40	0.20	0.95	0.00	0.21	2.34	106.1	5.56E-07	0.00E+00	0.00E+00	2.14E-05	2.51E-05	5.00E-05	2.33E-07		
561	G2	16/09/96	44	5.62	-571	0.029	0.69	1.56	0.011	0.17	6.20	0.16	0.44	0.60	2.26	0.00	0.25	3.39	153.2	1.06E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.73E-05	4.40E-05	5.00E-05	1.97E-07		
562	G2	03/10/96	26	4.69	139	0.028	0.58	1.67	0.007	0.18	9.00	0.15	0.94	0.60	0.41	0.00	0.30	3.13	15.5	1.03E-06	0.00E+00	0.00E+00	1.44E-05	4.71E-05	5.00E-05	1.25E-07		
563	G2	14/11/96	200	6.15	100	0.014	0.41	1.67	0.000	0.20	8.00	0.07	0.14	0.80	0.78	0.00	0.33	2.33	12.3	5.23E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.03E-05	4.71E-05	5.00E-05	0.00E+00		
564	G2	05/12/96	100	4.37	-45	0.006	0.37	0.60	0.000	0.10	0.80	0.09	0.26	0.50	2.03	0.00	0.03	2.73	3.1	2.30E-07	0.00E+00	0.00E+00	9.21E-06	1.69E-05	5.00E-05	0.00E+00		
565	G2	24/12/96	92	4.50	-26	0.007	0.38	0.32	0.000	0.00	0.80	0.08	0.25	0.50	1.82	0.00	0.00	2.13	4.9	2.41E-07	0.00E+00	0.00E+00	9.38E-06	9.02E-06	5.00E-05	0.00E+00		
566	G2	11/02/97	29	4.82	-68	0.057	3.36	1.33	0.013	0.29	2.80	0.51	1.42	0.90	9.54	0.00	0.20	10.28	6.4	2.12E-06	0.00E+00	0.00E+00	8.38E-05	3.75E-05	5.00E-05	2.33E-07		
567	G2	28/02/97	75	4.77	-42	0.006	0.69	2.03	0.000	0.18	1.10	0.17	0.40	1.10	1.90	0.00	0.03	2.91	5.6	2.15E-07	0.00E+00	0.00E+00	1.73E-05	5.72E-05	5.00E-05	0.00E+00		
568																												
569	Eaux gravitaires A1																											
570	20	01/02/94		4.42	-83	1.000	1.49	2.62	0.049	0.24	0.60	0.26	0.73	1.70	8.70	2.07	0.81	3.51	11.7	3.71E-05	3.18E-05	1.81E-05	3.72E-05	7.40E-05	1.34E-04	8.77E-07		
571	20	24/03/94	250	4.01	-152	2.630	2.23	1.54	0.059	0.02	0.87	0.46	1.93	2.11	34.00	0.29	1.49	2.91	7.7	9.75E-05	9.47E-05	7.74E-05	5.56E-05	4.34E-05	1.26E-04	1.06E-06		
572	20	19/04/94	320	4.03	-87	2.900	2.26	1.65	0.054	0.02	1.40	0.50	2.20	1.60	32.65	0.38	1.51	2.39	5.2	1.07E-04	9.67E-05	8.98E-05	5.64E-05	4.65E-05	1.33E-04	9.67E-07		
573	20	26/05/94	630	3.83	-363	3.640	3.18	2.32	0.069	0.09	1.70	0.59	3.05	1.15	53.85	0.00	2.10	4.20	6.4	1.35E-04	1.33E-04	1.33E-04	7.93E-05	6.54E-05	1.42E-04	1.24E-06		
574	20	09/06/94	250	3.65	-195	1.883	1.86	1.40	0.088	0.09	1.80	0.30	1.76	0.70	25.51	0.00	1.40	5.14	9.0	6.98E-05	6.98E-05	5.86E-05	4.64E-05	3.95E-05	1.25E-04	1.58E-06		
575	20	21/07/94	1520	3.96	-93	1.006	1.10	0.92	0.086	0.19	1.20	0.15																



	1	2	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	
1	N°	Date	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	Fulvate	Al 3+	AlOH 2+	Al(OH)2 +	Al(OH)3 <sup>o</sup>	Al(OH)4 -	AlCl 2+	AlCl2 +	AlCl3 <sup>o</sup>	AlSO4 +	Al(SO4)2	
2			moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	
531	G2	05/10/94	0.00E+00	1.43E-04	4.81E-06	7.55E-06	9.57E-06	5.71E-05	0.00E+00	2.07E-05	3.75E-05	3.89E-05											
532	G2	31/10/94	2.03E-05	3.48E-04	6.70E-06	1.10E-05	2.61E-05	5.27E-05	0.00E+00	2.31E-05	2.17E-05	8.55E-05											
533	G2	24/11/94	0.00E+00	7.67E-05	6.21E-06	9.52E-06	3.48E-05	5.22E-05	0.00E+00	9.26E-06	3.12E-05	3.01E-05											
534	G2	13/12/94	3.47E-06	4.35E-05	4.69E-06	6.92E-06	1.74E-05	4.60E-05	0.00E+00	3.10E-06	3.02E-05	2.00E-05											
535	G2	01/01/95	7.05E-06	5.37E-05	8.92E-06	1.35E-05	4.35E-05	6.48E-05	0.00E+00	5.16E-06	5.07E-05	2.42E-05											
536	G2	17/01/95	0.00E+00	1.53E-05	5.96E-06	3.77E-06	4.35E-05	2.95E-05	0.00E+00	1.96E-06	2.37E-05	1.98E-05											
537	G2	02/02/95	0.00E+00	2.05E-05	3.87E-06	4.15E-06	3.91E-05	1.34E-05	0.00E+00	1.85E-06	1.46E-05	1.98E-05											
538	G2	27/02/95	2.47E-06	1.79E-05	3.58E-06	2.93E-06	3.04E-05	2.13E-05	0.00E+00	3.52E-06	1.45E-05	1.53E-05											
539	G2	24/03/95	3.63E-06	1.53E-05	4.61E-06	2.64E-06	3.48E-05	3.55E-05	0.00E+00	3.17E-06	1.90E-05	8.67E-06											
540	G2	07/04/95	1.84E-05	1.53E-05	5.88E-06	2.84E-06	3.04E-05	5.02E-05	0.00E+00	4.02E-06	2.97E-05	1.17E-05											
541	G2	02/05/95	4.95E-06	2.56E-05	6.54E-06	5.44E-06	1.30E-05	8.60E-05	0.00E+00	4.77E-06	3.62E-05	2.39E-05											
542	G2	02/06/95	1.16E-06	1.30E-04	9.46E-06	5.06E-06	8.70E-06	2.68E-05	0.00E+00	3.92E-06	3.67E-05	3.01E-05											
543	G2	28/06/95	4.21E-06	8.44E-05	5.39E-06	3.68E-06	1.09E-05	1.40E-05	0.00E+00	7.51E-06	3.79E-05	2.73E-05											
544	G2	18/07/95	3.16E-05	1.89E-04	5.55E-06	5.39E-06	4.35E-06	0.00E+00	1.36E-05	6.59E-06	2.01E-05	6.92E-04											
545	G2	17/08/95	6.11E-05	2.15E-04	7.81E-06	7.63E-06	3.48E-05	1.05E-05	9.79E-06	1.43E-05	3.41E-05	4.94E-04											
546	G2	19/09/95	0.00E+00	1.33E-04	2.96E-06	7.28E-08	8.70E-06	3.08E-05	0.00E+00	1.15E-05	3.04E-05	3.61E-05											
547	G2	10/10/95	7.37E-06	9.97E-05	3.50E-06	3.75E-06	1.30E-05	3.85E-05	0.00E+00	1.27E-05	3.04E-05	1.96E-05											
548	G2	06/11/95	7.16E-06	4.09E-04	8.72E-06	4.62E-06	2.61E-05	7.29E-05	0.00E+00	2.88E-05	6.26E-05	6.32E-05											
549	G2	05/12/95	5.84E-06	1.25E-04	7.98E-06	9.10E-06	4.35E-05	6.81E-05	0.00E+00	2.63E-06	3.98E-05	1.81E-05											
550	G2	05/01/96	1.37E-06	7.42E-05	5.59E-06	1.17E-05	2.17E-05	6.50E-05	0.00E+00	2.60E-06	5.08E-05	2.17E-05											
551	G2	31/01/96	4.32E-06	6.91E-05	1.04E-05	1.65E-05	4.35E-05	1.23E-04	0.00E+00	1.06E-05	4.31E-05	2.97E-05											
552	G2	21/02/96	6.11E-06	7.16E-05	9.38E-06	1.48E-05	4.78E-05	1.28E-04	0.00E+00	3.45E-06	6.50E-05	2.61E-05											
553	G2	03/04/96	6.21E-06	8.18E-05	1.37E-05	1.79E-05	5.65E-05	2.22E-04	0.00E+00	4.41E-06	6.42E-05	2.48E-05											
554	G2	05/05/96	1.03E-05	9.46E-05	1.61E-05	2.09E-05	2.61E-05	2.83E-04	0.00E+00	5.80E-06	9.28E-05	4.06E-05											
555	G2	30/05/96	3.84E-06	6.65E-05	6.09E-06	5.61E-06	1.74E-05	2.75E-05	0.00E+00	6.05E-06	2.99E-05	2.48E-05											
556	G2	12/06/96	9.95E-06	4.86E-05	4.98E-06	5.52E-06	8.70E-06	7.03E-05	0.00E+00	5.41E-06	2.88E-05	2.01E-05											
557	G2	25/06/96	1.64E-05	6.39E-05	5.39E-06	6.83E-06	8.70E-06	8.16E-05	0.00E+00	2.92E-06	2.76E-05	3.14E-05											
558	G2	08/07/96	1.64E-05	4.60E-05	3.00E-06	5.06E-06	8.70E-06	3.81E-05	0.00E+00	3.88E-06	1.76E-05	2.36E-05											
559	G2	31/07/96	3.65E-05	1.25E-04	1.09E-05	1.68E-05	2.17E-05	4.06E-05	0.00E+00	5.87E-06	5.03E-05	8.35E-05											
560	G2	15/08/96	2.65E-05	1.10E-04	5.06E-06	7.19E-06	8.70E-06	1.53E-05	0.00E+00	7.55E-06	2.44E-05	3.83E-04											
561	G2	16/09/96	8.68E-06	1.59E-04	6.46E-06	7.94E-06	2.61E-05	3.64E-05	0.00E+00	8.94E-06	3.53E-05	5.53E-04											
562	G2	03/10/96	9.32E-06	2.30E-04	6.09E-06	1.71E-05	2.61E-05	6.61E-06	0.00E+00	1.07E-05	3.26E-05	5.60E-05											
563	G2	14/11/96	1.07E-05	2.05E-04	2.67E-06	2.46E-06	3.48E-05	1.26E-05	0.00E+00	1.17E-05	2.43E-05	4.45E-05											
564	G2	05/12/96	5.11E-06	2.05E-05	3.82E-06	4.73E-06	2.17E-05	3.27E-05	0.00E+00	9.97E-07	2.84E-05	1.11E-05											
565	G2	24/12/96	0.00E+00	2.05E-05	3.17E-06	4.62E-06	2.17E-05	2.94E-05	0.00E+00	3.56E-08	2.22E-05	1.77E-05											
566	G2	11/02/97	1.51E-05	7.16E-05	2.11E-05	2.58E-05	3.91E-05	1.54E-04	0.00E+00	7.01E-06	1.07E-04	2.30E-05											
567	G2	28/02/97	9.68E-06	2.81E-05	6.99E-06	7.24E-06	4.78E-05	3.06E-05	0.00E+00	9.61E-07	3.03E-05	2.04E-05											
568																							
569	Eaux gravitaires A1																						
570	20	01/02/94	1.26E-05	1.53E-05	1.06E-05	1.33E-05	7.39E-05	1.40E-04	2.18E-05	2.88E-05	3.65E-05	4.23E-05	1.17E-06	2.02E-07	2.58E-08	9.32E-11	2.64E-12	7.54E-09	5.09E-12	3.60E-17	9.45E-08	9.58E-11	
571	20	24/03/94	7.89E-07	2.23E-05	1.88E-05	3.51E-05	9.18E-05	5.48E-04	3.05E-06	5.30E-05	3.03E-05	2.79E-05	6.63E-05	4.23E-06	2.06E-07	2.89E-10	3.26E-12	2.31E-07	8.67E-11	3.48E-16	3.38E-06	2.38E-09	
572	20	19/04/94	1.05E-06	3.58E-05	2.05E-05	4.00E-05	6.96E-05	5.27E-04	4.00E-06	5.38E-05	2.49E-05	1.86E-05	7.70E-05	5.13E-06	2.61E-07	3.84E-10	4.54E-12	2.87E-07	1.15E-10	4.93E-16	3.14E-06	1.79E-09	
573	20	26/05/94	4.84E-06	4.35E-05	2.43E-05	5.55E-05	5.00E-05	8.68E-04	0.00E+00	7.48E-05	4.37E-05	2.30E-05	1.20E-04	4.89E-06	1.54E-07	1.43E-10	1.09E-12	5.97E-07	3.25E-10	1.93E-15	7.39E-06	6.74E-09	
574	20	09/06/94	4.68E-06	4.60E-05	1.21E-05	3.20E-05	3.04E-05	4.11E-04	0.00E+00	4.98E-05	5.35E-05	3.26E-05	5.21E-05	1.46E-06	3.10E-08	1.90E-11	9.35E-14	1.67E-07	5.74E-11	2.11E-16	4.85E-06	6.18E-09	
575	20	21/07/94	1.02E-05	3.07E-05	6.33E-06	1.61E-05	3.04E-05	1.46E-04	0.00E+00	1.95E-05	5.14E-05	3.83E-05	1.94E-05	1.15E-06	5.08E-08	6.36E-11	6.27E-13	4.31E-08	1.01E-11	2.48E-17	2.06E-06	2.80E-09	
576	20	01/08/94	1.40E-05	4.09E-05	6.50E-06	1.73E-05	8.70E-06	2.09E-04	0.00E+00	1.54E-05	4.83E-05	4.40E-05	2.53E-05	9.16E-07	2.49E-08	1.92E-11	1.17E-13	6.58E-08	1.81E-11	5.25E-17	2.43E-06	3.02E-09	
577	20	13/08/94	6.79E-06	3.32E-05	7.24E-06	1.95E-05	1.74E-05	2.42E-04	0.00E+00	2.41E-05	4.56E-05	4.05E-05	3.34E-05	1.35E-06	4.12E-08	3.57E-11	2.45E-13	9.13E-08	2.63E-11	8.04E-17	2.95E-06	3.40E-09	
578	20	20/08/94	7.05E-06	2.81E-05	6.87E-06	1.65E-05	2.61E-05	1.21E-04	0.00E+00	3.84E-05	4.16E-05	4.93E-05	2.02E-05	9.31E-07	3.20E-08	3.11E-11	2.38E-13	6.22E-08	2.01E-11	6.85E-17	1.74E-06	1.90E-09	





	1	2	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
1	N°	Date	AIPO4° [moles/l]	AIHPO4 + [moles/l]	AIH2PO4 2+ [moles/l]	AIOSi(OH)3 2+ [moles/l]	AIF 2+ moles/l	AIF2 + moles/l	AIF3 ° moles/l	AIF4 - moles/l	Polymères [molesd'Al/l]	Al organique [moles d'Al/l]	Force ionique moles/l	Activités (moles/l)				
2													{Ca 2+}	{Mg 2+}	{K +}	{Na +}	{Al 3+}	
531	G2	05/10/94																
532	G2	31/10/94																
533	G2	24/11/94																
534	G2	13/12/94																
535	G2	01/01/95																
536	G2	17/01/95																
537	G2	02/02/95																
538	G2	27/02/95																
539	G2	24/03/95																
540	G2	07/04/95																
541	G2	02/05/95																
542	G2	02/06/95																
543	G2	28/06/95																
544	G2	18/07/95																
545	G2	17/08/95																
546	G2	19/09/95																
547	G2	10/10/95																
548	G2	06/11/95																
549	G2	05/12/95																
550	G2	05/01/96																
551	G2	31/01/96																
552	G2	21/02/96																
553	G2	03/04/96																
554	G2	05/05/96																
555	G2	30/05/96																
556	G2	12/06/96																
557	G2	25/06/96																
558	G2	08/07/96																
559	G2	31/07/96																
560	G2	15/08/96																
561	G2	16/09/96																
562	G2	03/10/96																
563	G2	14/11/96																
564	G2	05/12/96																
565	G2	24/12/96																
566	G2	11/02/97																
567	G2	28/02/97																
568																		
569	Eaux gravitaires A1																	
570	20	01/02/94	1.64E-05	1.84E-07	5.82E-09	2.13E-09	4.70E-06	3.09E-06	5.47E-08	3.22E-11	5.24E-06	5.88E-06	4.13E-04	3.39E-05	9.72E-06	1.50E-05	7.23E-05	9.53E-07
571	20	24/03/94	2.84E-06	8.20E-08	6.84E-09	8.20E-08	7.86E-07	5.78E-10	1.17E-14	8.05E-21	2.78E-06	1.66E-05	9.57E-04	4.86E-05	1.64E-05	2.15E-05	8.87E-05	4.88E-05
572	20	19/04/94	3.77E-06	1.04E-07	8.26E-09	1.01E-07	1.05E-06	8.90E-10	2.09E-14	1.67E-20	1.08E-05	5.81E-06	9.83E-04	4.91E-05	1.79E-05	3.46E-05	6.72E-05	5.65E-05
573	20	26/05/94	9.05E-19	3.95E-20	5.06E-21	1.34E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.96E-06	0.00E+00	1.44E-03	6.73E-05	2.06E-05	4.17E-05	4.80E-05	8.28E-05
574	20	09/06/94	7.39E-19	4.88E-20	9.29E-21	2.66E-08	4.59E-06	3.25E-08	6.29E-12	4.13E-17	0.00E+00	6.53E-06	8.40E-04	4.08E-05	1.07E-05	4.46E-05	2.95E-05	3.91E-05
575	20	21/07/94	8.34E-19	2.70E-20	2.47E-21	8.21E-09	8.49E-06	7.39E-07	1.73E-09	1.35E-13	0.00E+00	5.34E-06	4.31E-04	2.50E-05	5.77E-06	3.00E-05	2.97E-05	1.57E-05
576	20	01/08/94	7.16E-19	3.76E-20	5.60E-21	5.17E-09	9.38E-06	9.88E-07	2.81E-09	2.67E-13	0.00E+00	0.00E+00	5.01E-04	2.48E-05	5.88E-06	3.99E-05	8.48E-06	2.02E-05
577	20	13/08/94	7.96E-19	3.72E-20	4.96E-21	1.20E-08	6.45E-06	1.40E-07	8.24E-11	1.62E-15	0.00E+00	9.42E-06	5.48E-04	2.74E-05	6.52E-06	3.24E-05	1.69E-05	2.64E-05
578	20	20/06/94	7.65E-19	3.19E-20	3.76E-21	1.31E-08	6.26E-06	3.26E-07	4.58E-10	2.14E-14	0.00E+00	1.15E-05	4.25E-04	2.53E-05	6.26E-06	2.75E-05	2.55E-05	1.64E-05



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1	N°	Date	Pluviométrie (mm)	pH	ANC	Al total	Ca	Cl	Fe	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	C org.	Al total	Al monomérique	Al 8-OH-Q	Ca	Cl	C min	Fe	
2			ou volume (ml)	20 °C	μequiv/L	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l
579	20	09/09/94	1950	3.79	-35	0.724	1.05	0.98	0.114	0.24	1.00	0.14	0.73	0.49	3.35	0.00	1.32	3.74	14.0	2.68E-05	2.68E-05	9.77E-06	2.62E-05	2.76E-05	1.30E-04	2.04E-06	
580	20	16/09/94	1050	3.83	-46	0.924	0.99	1.31	0.121	0.12	0.80	0.16	0.79	0.49	2.41	0.00	2.65	5.50	13.0	3.42E-05	3.42E-05	1.74E-05	2.47E-05	3.69E-05	1.30E-04	2.17E-06	
581	20	29/09/94	500	3.76	-30	0.653	0.76	0.67	0.102	0.06	0.90	0.11	0.57	0.30	2.59	0.00	1.19	3.75	10.3	2.42E-05	2.36E-05	1.01E-05	1.89E-05	1.89E-05	1.30E-04	1.83E-06	
582	20	31/10/94	300	3.75	-70	1.012	1.33	1.93	0.063	0.19	0.70	0.21	1.04	0.40	6.94	0.00	2.67	4.39	9.2	3.75E-05	3.75E-05	2.82E-05	3.32E-05	5.44E-05	1.30E-04	1.13E-06	
583	20	13/12/94	1000	3.91	-71	1.051	1.18	1.50	0.073	0.12	0.80	0.18	0.83	0.50	4.72	0.00	3.11	6.11	10.8	3.90E-05	3.90E-05	2.72E-05	2.94E-05	4.23E-05	1.30E-04	1.31E-06	
584	20	17/01/95	3950	3.94	-29	0.413	0.63	0.96	0.037	0.00	0.50	0.10	0.41	0.50	2.60	0.00	3.67	2.82	5.4	1.53E-05	1.53E-05	9.29E-06	1.57E-05	2.71E-05	1.30E-04	6.62E-07	
585	20	02/02/95	2100	4.06	-33	0.891	1.04	1.19	0.066	0.01	0.60	0.17	0.67	0.80	5.21	0.00	1.25	4.14	8.7	3.30E-05	3.30E-05	2.33E-05	2.59E-05	3.36E-05	1.30E-04	1.18E-06	
586	20	27/02/95	1200	3.93	-68	1.044	1.21	2.24	0.064	0.00	0.70	0.19	0.78	0.70	7.90	0.00	1.37	3.58	8.4	3.87E-05	3.87E-05	2.42E-05	3.02E-05	6.32E-05	1.30E-04	1.15E-06	
587	20	24/03/95	1550	3.92	-49	0.994	1.15	1.64	0.079	0.09	0.70	0.18	0.74	0.90	8.19	0.00	1.04	3.38	6.8	3.68E-05	2.74E-05	2.48E-05	2.87E-05	4.62E-05	1.30E-04	1.41E-06	
588	20	07/04/95	650	4.04	-50	0.893	1.07	1.92	0.072	0.18	0.60	0.16	0.67	0.80	6.56	0.00	1.04	3.55	3.9	3.31E-05	2.67E-05	1.58E-05	2.67E-05	5.41E-05	1.30E-04	1.29E-06	
589	20	02/05/95	900	3.86	-82	1.208	1.53	1.68	0.048	0.06	0.60	0.23	0.96	0.90	12.69	0.00	1.33	3.19	8.6	4.48E-05	4.06E-05	3.69E-05	3.82E-05	4.74E-05	1.30E-04	8.59E-07	
590	20	02/06/95	2200	4.03	-117	1.525	1.70	1.32	0.281	0.01	0.60	0.25	1.18	0.90	17.00	0.00	1.63	4.25	9.8	5.65E-05	4.78E-05	4.31E-05	4.24E-05	3.72E-05	1.30E-04	5.03E-06	
591	20	28/06/95	800	3.88	-127	1.173	1.33	0.94	0.039	0.49	0.50	0.20	0.90	0.50	10.85	0.00	1.51	4.38	11.1	4.35E-05	3.70E-05	3.21E-05	3.32E-05	2.65E-05	1.30E-04	6.98E-07	
592	20	18/07/95	665	3.72	-346	0.745	1.12	0.65	0.060	0.28	1.00	0.16	0.82	0.30	5.60	0.80	1.06	3.57	77.8	2.76E-05	2.63E-05	1.53E-05	2.79E-05	1.83E-05	1.57E-04	1.07E-06	
593	20	17/08/95	430	4.39	-124	0.581	0.96	2.56	0.055	0.04	0.70	0.15	0.84	0.30	5.01	0.00	1.42	3.78	13.1	2.15E-05	2.15E-05	1.17E-05	2.41E-05	7.22E-05	1.57E-04	9.85E-07	
594	20	19/09/95	3400	4.09	-60	0.636	0.96	0.69	0.079	0.06	1.00	0.16	0.76	0.20	3.32	0.00	1.67	4.78	13.1	2.36E-05	2.36E-05	1.24E-05	2.38E-05	1.95E-05	1.57E-04	1.41E-06	
595	20	10/10/95	1600	4.15	-55	0.627	0.77	0.81	0.108	0.06	0.90	0.14	0.58	0.50	2.07	0.00	2.03	4.64	15.0	2.32E-05	2.17E-05	1.06E-05	1.92E-05	2.28E-05	1.57E-04	1.93E-06	
596	20	06/11/95	160	3.89	-52	0.584	1.36	1.72	0.026	0.07	0.70	0.23	0.74	1.00	5.66	0.00	2.45	4.65	8.1	2.16E-05	2.16E-05	1.30E-05	3.39E-05	4.85E-05	1.57E-04	4.66E-07	
597	20	05/01/96	1300	4.05	-146	1.038	1.11	2.17	0.036	0.34	0.90	0.01	0.81	0.60	2.65	0.00	2.68	9.50	9.2	3.85E-05	3.85E-05	2.89E-05	2.77E-05	6.12E-05	1.57E-04	6.45E-07	
598	20	21/02/96	720	4.14	-113	1.714	1.91	0.90	0.054	0.28	0.80	0.35	1.18	0.90	18.33	0.00	2.37	5.30	6.4	6.35E-05	6.35E-05	5.05E-05	4.77E-05	2.54E-05	5.00E-05	9.67E-07	
599	20	03/04/96	540	4.10	-110	1.694	2.00	1.39	0.043	0.06	0.80	0.40	1.32	1.20	18.37	0.00	2.07	6.01	6.7	6.28E-05	6.28E-05	5.50E-05	4.99E-05	3.92E-05	5.00E-05	7.70E-07	
600	20	30/05/96	1250	3.99	-132	3.204	2.92	2.44	0.074	0.05	1.20	0.52	2.00	1.10	27.52	0.00	2.86	8.02	7.5	1.19E-04	1.17E-04	1.09E-04	7.29E-05	6.88E-05	5.00E-05	1.32E-06	
601	20	12/06/96	500	3.97	-157	1.222	1.51	0.36	0.082	0.05	0.70	0.26	1.05	1.50	14.04	0.00	1.79	4.87	8.4	4.53E-05	4.53E-05	2.97E-05	3.77E-05	1.02E-05	5.00E-05	1.47E-06	
602	20	25/06/96	310	3.27	-238	1.436	1.59	0.78	0.057	0.20	0.80	0.35	1.26	0.90	17.60	0.00	2.50	4.80	8.3	5.32E-05	5.32E-05	4.46E-05	3.97E-05	2.20E-05	5.00E-05	1.02E-06	
603	20	08/07/96	1100	3.97	-89	1.444	1.45	0.55	0.096	0.23	0.80	0.27	1.15	0.60	13.28	0.00	2.34	4.70	10.5	5.35E-05	4.18E-05	3.37E-05	3.62E-05	1.55E-05	5.00E-05	1.72E-06	
604	20	15/08/96	580	4.07	-78	0.980	1.28	0.92	0.099	0.19	0.70	0.21	0.88	0.60	7.72	0.00	2.12	4.74	12.5	3.63E-05	3.63E-05	2.03E-05	3.19E-05	2.59E-05	5.00E-05	1.77E-06	
605	20	16/09/96	450	4.11	-82	0.591	0.95	0.51	0.081	0.10	0.70	0.18	0.66	0.40	5.58	0.29	1.75	4.12	12.4	2.19E-05	2.19E-05	1.88E-05	2.36E-05	1.44E-05	5.00E-05	1.45E-06	
606	20	03/10/96	70	4.65	43	0.841	2.18	3.55	0.077	0.26	1.30	0.48	0.90	8.00	8.37	10.31	2.43	8.16	13.1	3.12E-05	2.33E-05	2.35E-06	5.44E-05	1.00E-04	5.00E-05	1.38E-06	
607	20	14/11/96	4960	4.08	-67	0.661	0.73	1.08	0.057	0.13	0.60	0.15	0.62	0.50	1.32	0.00	2.09	5.30	13.6	2.45E-05	2.30E-05	1.34E-05	1.82E-05	3.05E-05	5.00E-05	1.02E-06	
608	20	05/12/96	5550	4.12	-78	0.482	0.52	0.43	0.036	0.56	0.40	0.10	0.44	0.50	1.80	0.00	0.64	3.88	10.9	1.79E-05	1.49E-05	1.03E-05	1.29E-05	1.21E-05	5.00E-05	6.45E-07	
609	20	24/12/96	1420	4.10	-49	0.480	0.47	0.34	0.088	0.00	0.40	0.09	0.37	0.50	1.74	0.00	0.84	3.41	12.9	1.78E-05	1.59E-05	7.85E-06	1.18E-05	9.59E-06	5.00E-05	1.58E-06	
610	20	28/02/97	1330	4.29	-76	0.822	0.98	1.05	0.056	0.14	1.00	0.19	0.73	0.80	8.11	0.00	1.47	4.12	9.3	3.05E-05	2.12E-05	2.12E-05	2.44E-05	2.96E-05	5.00E-05	1.00E-06	
611	21	01/02/94		4.68	-75	1.020	2.20	4.78	0.077	0.22	0.90	0.42	0.96	2.20	3.26	1.13	1.15	7.21	21.4	3.78E-05	2.99E-05	1.27E-05	5.49E-05	1.35E-04	1.34E-04	1.38E-06	
612	21	24/03/94	325	4.06	-213	1.980	1.62	2.66	0.057	0.02	1.79	0.37	1.56	1.90	29.21	0.24	1.57	3.85	7.7	7.34E-05	7.34E-05	5.25E-05	4.04E-05	7.50E-05	1.26E-04	1.02E-06	
613	21	21/07/94	390	3.96	-165	1.325	1.70	1.03	0.043	0.27	1.20	0.27	1.41	0.60	13.97	0.00	0.61	8.75	7.1	4.91E-05	4.91E-05	3.72E-05	4.24E-05	2.90E-05	1.30E-04	7.70E-07	
614	21	09/09/94	875	3.70	-115	0.984	1.18	1.82	0.053	0.36	0.70	0.17	1.02	0.56	6.79	0.00	1.76	6.24	8.4	3.65E-05	3.65E-05	2.27E-05	2.94E-05	5.13E-05	1.30E-04	9.49E-07	
615	21	16/09/94	400	3.83	-111	1.370	1.25	1.94	0.043	0.10	0.50	0.20	1.16	0.58	8.17	0.00	3.37	7.22	7.7	5.08E-05	5.08E-05	4.26E-05	3.12E-05	5.47E-05	1.30E-04	7.70E-07	
616	21	29/09/94	200	3.75	-72	1.069	1.27	1.47	0.051	0.09	0.60	0.19	0.93	0.60	5.49	0.00	2.44	7.14	7.3	3.96E-05	3.96E-05	2.89E-05	3.17E-05	4.15E-05	1.30E-04	9.13E-07	
617	21	31/10/94	350	3.75	-130	1.679	1.83	3.41	0.039	0.20	0.30	0.28	1.37	0.80	12.70	0.00	2.41	5.59	6.7	6.22E-05	6.22E-05	5.50E-05	4.57E-05	9.62E-05	1.30E-04	6.98E-07	
618	21	13/12/94	900	3.89	-101	1.204	1.17	1.97	0.039	0.15	0.50	0.18	0.76	0.40	4.63	0.00	2.99	7.26	8.2	4.46E-05	4.46E-05	3.74E-05	2.92E-05	5.56E-05	1.30E-04	6.98E-07	
619	21	17/01/95	1650	4.03	-48	0.826	0.76	1.53	0.025	0.00	0.20	0.13	0.52	0.60	2.44	0.00	1.30	4.96	5.6	3.06E-05	3.06E-05	2.23E-05	1.88E-05	4.31E-05	1.30E-04	4.48E-07	
620	21	02/02/95	1200	4.02	-38	0.821	0.77	1.52	0.038	0.01	0.30	0.13	0.52	0.90	3.35	0.00	1.09	4.27	6.7	3.04E-05	3.04E-05	2.23E-05	1.91E-05	4.29E-05	1.30E-04	6.80E-07	
621	21	27/02/95	7																								



	1	2	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	
1	N°	Date	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	Fulvate	Al 3+	Al(OH)2+	Al(OH)2+	Al(OH)3°	Al(OH)4-	AlCl2+	AlCl2+	AlCl3°	AlSO4+	Al(SO4)2-	
2			moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]
579	20	09/09/94	1.27E-05	2.56E-05	5.55E-06	1.33E-05	2.13E-05	5.40E-05	0.00E+00	4.70E-05	3.89E-05	5.07E-05	8.65E-06	3.50E-07	1.05E-08	8.92E-12	5.91E-14	2.09E-08	5.26E-12	1.39E-17	7.33E-07	7.75E-10	
580	20	16/09/94	6.16E-06	2.05E-05	6.46E-06	1.45E-05	2.13E-05	3.89E-05	0.00E+00	9.43E-05	5.72E-05	4.69E-05	1.48E-05	6.56E-07	2.16E-08	2.00E-11	1.46E-13	4.75E-08	1.59E-11	5.60E-17	1.80E-06	2.75E-09	
581	20	29/09/94	2.95E-06	2.30E-05	4.44E-06	1.03E-05	1.30E-05	4.18E-05	0.00E+00	4.24E-05	3.90E-05	3.73E-05	8.96E-06	3.40E-07	9.57E-09	7.56E-12	4.66E-14	1.49E-08	2.59E-12	4.69E-18	7.73E-07	8.23E-10	
582	20	31/10/94	9.84E-06	1.79E-05	8.80E-06	1.89E-05	1.74E-05	1.12E-04	0.00E+00	9.51E-05	4.57E-05	3.31E-05	2.48E-05	9.04E-07	2.46E-08	1.90E-11	1.16E-13	1.15E-07	5.63E-11	2.90E-16	2.28E-06	2.69E-09	
583	20	13/12/94	6.32E-06	2.05E-05	7.48E-06	1.50E-05	2.17E-05	7.61E-05	0.00E+00	1.11E-04	6.36E-05	3.89E-05	2.28E-05	1.21E-06	4.75E-08	5.30E-11	4.66E-13	8.28E-08	3.16E-11	1.27E-16	2.97E-06	4.95E-09	
584	20	17/01/95	0.00E+00	1.28E-05	4.28E-06	7.43E-06	2.17E-05	4.19E-05	0.00E+00	1.31E-04	2.94E-05	1.93E-05	8.20E-06	4.76E-07	2.03E-08	2.43E-11	2.26E-13	1.98E-08	4.98E-12	1.30E-17	5.51E-07	4.50E-10	
585	20	02/02/95	6.32E-07	1.53E-05	6.87E-06	1.21E-05	3.48E-05	8.40E-05	0.00E+00	4.45E-05	4.31E-05	3.15E-05	1.98E-05	1.49E-06	8.33E-08	1.31E-10	1.62E-12	5.79E-08	1.77E-11	5.67E-17	1.81E-06	2.08E-09	
586	20	27/02/95	0.00E+00	1.79E-05	7.85E-06	1.41E-05	3.04E-05	1.27E-04	0.00E+00	4.88E-05	3.73E-05	3.03E-05	2.12E-05	1.17E-06	4.85E-08	5.67E-11	5.21E-13	1.15E-07	6.60E-11	3.96E-16	1.64E-06	1.61E-09	
587	20	24/03/95	4.53E-06	1.79E-05	7.48E-06	1.34E-05	3.91E-05	1.32E-04	0.00E+00	3.70E-05	3.52E-05	2.45E-05	1.29E-05	1.19E-06	4.78E-08	5.46E-11	4.91E-13	8.71E-08	3.64E-11	1.60E-16	1.60E-06	1.48E-09	
588	20	07/04/95	9.47E-06	1.53E-05	6.74E-06	1.22E-05	3.48E-05	1.06E-04	0.00E+00	3.70E-05	3.70E-05	1.42E-05	1.36E-05	9.79E-07	5.23E-08	7.88E-11	9.29E-13	6.42E-08	3.17E-11	1.64E-16	1.09E-06	1.09E-09	
589	20	02/05/95	3.37E-06	1.53E-05	9.42E-06	1.74E-05	3.91E-05	2.05E-04	0.00E+00	4.73E-05	3.32E-05	3.11E-05	3.30E-05	1.54E-06	5.38E-08	5.35E-11	4.21E-13	1.32E-07	5.61E-11	2.51E-16	2.14E-06	1.80E-09	
590	20	02/06/95	5.26E-07	1.53E-05	1.04E-05	2.15E-05	3.91E-05	2.74E-04	0.00E+00	5.80E-05	4.42E-05	3.53E-05	3.71E-05	2.54E-06	1.31E-07	1.93E-10	2.25E-12	1.16E-07	3.82E-11	1.34E-16	3.13E-06	3.47E-09	
591	20	28/06/95	2.58E-05	1.28E-05	8.06E-06	1.64E-05	2.17E-05	1.75E-04	0.00E+00	5.38E-05	4.56E-05	4.02E-05	2.80E-05	1.37E-06	5.04E-08	5.25E-11	4.31E-13	6.32E-08	1.50E-11	3.77E-17	2.55E-06	2.99E-09	
592	20	18/07/95	1.48E-05	2.56E-05	6.62E-06	1.50E-05	1.30E-05	9.03E-05	8.42E-06	3.77E-05	3.72E-05	2.81E-04	9.82E-06	3.33E-07	8.46E-09	6.10E-12	3.47E-14	1.53E-08	2.53E-12	4.39E-18	7.57E-07	7.51E-10	
593	20	17/08/95	1.95E-06	1.79E-05	6.33E-06	1.53E-05	1.30E-05	8.08E-05	0.00E+00	5.06E-05	3.93E-05	4.74E-05	9.16E-06	1.48E-06	1.78E-07	5.98E-10	1.58E-11	5.81E-08	3.84E-11	2.66E-16	7.98E-07	8.62E-10	
594	20	19/09/95	3.11E-06	2.56E-05	6.46E-06	1.39E-05	8.70E-06	5.35E-05	0.00E+00	5.95E-05	4.98E-05	4.74E-05	1.03E-05	8.38E-07	5.04E-08	8.51E-11	1.12E-12	1.77E-08	3.16E-12	5.91E-18	1.14E-06	1.55E-09	
595	20	10/10/95	2.89E-06	2.30E-05	5.76E-06	1.06E-05	2.17E-05	3.34E-05	0.00E+00	7.23E-05	4.83E-05	5.42E-05	8.74E-06	8.17E-07	5.64E-08	1.09E-10	1.66E-12	1.76E-08	3.69E-12	8.07E-18	9.47E-07	1.26E-09	
596	20	06/11/95	3.53E-06	1.79E-05	9.46E-06	1.35E-05	4.35E-05	9.13E-05	0.00E+00	8.72E-05	4.84E-05	2.94E-05	1.12E-05	5.67E-07	2.14E-08	2.28E-11	1.91E-13	4.70E-08	2.07E-11	9.56E-17	1.15E-06	1.50E-09	
597	20	05/01/96	1.81E-05	2.30E-05	4.52E-07	1.47E-05	2.61E-05	4.27E-05	0.00E+00	9.54E-05	9.89E-05	3.32E-05	2.25E-05	1.63E-06	8.86E-08	1.36E-10	1.66E-12	1.17E-07	6.46E-11	3.75E-16	4.53E-06	1.17E-08	
598	20	21/02/96	1.46E-05	2.05E-05	1.46E-05	2.15E-05	3.91E-05	2.96E-04	0.00E+00	8.44E-05	5.52E-05	2.30E-05	4.20E-05	3.69E-06	2.45E-07	4.64E-10	6.99E-12	8.88E-08	1.99E-11	4.74E-17	4.33E-06	5.92E-09	
599	20	03/04/96	3.21E-06	2.05E-05	1.65E-05	2.40E-05	5.22E-05	2.96E-04	0.00E+00	7.37E-05	6.26E-05	2.41E-05	4.57E-05	3.64E-06	2.20E-07	3.80E-10	5.23E-12	1.48E-07	5.09E-11	1.87E-16	5.23E-06	8.02E-09	
600	20	30/05/96	2.79E-06	3.07E-05	2.13E-05	3.64E-05	4.78E-05	4.44E-04	0.00E+00	1.02E-04	8.35E-05	2.70E-05	9.08E-05	5.46E-06	2.52E-07	3.38E-10	3.67E-12	4.92E-07	2.88E-10	1.82E-15	1.18E-05	2.19E-08	
601	20	12/06/96	2.84E-06	1.79E-05	1.09E-05	1.91E-05	6.52E-05	2.26E-04	0.00E+00	6.37E-05	5.07E-05	3.04E-05	2.55E-05	1.53E-06	6.90E-08	8.84E-11	8.95E-13	2.20E-08	2.01E-12	1.94E-18	2.57E-06	3.36E-09	
602	20	25/06/96	1.06E-05	2.05E-05	1.44E-05	2.29E-05	3.91E-05	2.84E-04	0.00E+00	8.90E-05	5.00E-05	3.00E-05	4.05E-05	4.73E-07	4.20E-09	1.07E-12	2.20E-15	7.25E-08	1.39E-11	2.85E-17	3.54E-06	4.22E-09	
603	20	08/07/96	1.21E-05	2.05E-05	1.12E-05	2.09E-05	2.61E-05	2.14E-04	0.00E+00	8.33E-05	4.89E-05	3.78E-05	2.90E-05	1.74E-06	7.85E-08	1.01E-10	1.02E-12	3.80E-08	5.27E-12	7.72E-18	2.80E-06	3.51E-09	
604	20	15/08/96	9.74E-06	1.79E-05	8.59E-06	1.60E-05	2.61E-05	1.24E-04	0.00E+00	7.55E-05	4.93E-05	4.53E-05	1.71E-05	1.31E-06	7.46E-08	1.20E-10	1.53E-12	3.82E-08	8.96E-12	2.21E-17	1.77E-06	2.32E-09	
605	20	16/09/96	5.11E-06	1.79E-05	7.57E-06	1.20E-05	1.74E-05	9.00E-05	3.05E-06	6.23E-05	4.29E-05	4.48E-05	1.35E-05	1.15E-06	7.21E-08	1.27E-10	1.76E-12	1.71E-08	2.25E-12	3.09E-18	1.27E-06	1.47E-09	
606	20	03/10/96	1.35E-05	3.32E-05	1.97E-05	1.64E-05	3.48E-04	1.35E-04	1.09E-04	8.65E-05	8.49E-05	4.74E-05	3.00E-09	8.49E-10	1.82E-10	1.11E-12	5.44E-14	2.49E-11	2.20E-14	2.06E-19	5.10E-10	1.16E-12	
607	20	14/11/96	6.89E-06	1.53E-05	6.04E-06	1.13E-05	2.17E-05	2.13E-05	0.00E+00	7.44E-05	5.52E-05	4.91E-05	1.11E-05	8.78E-07	5.16E-08	8.51E-11	1.10E-12	2.97E-08	8.31E-12	2.43E-17	1.35E-06	2.04E-09	
608	20	05/12/96	2.93E-05	1.02E-05	4.28E-06	8.08E-06	2.17E-05	2.90E-05	0.00E+00	2.27E-05	4.04E-05	3.94E-05	8.67E-06	7.61E-07	4.92E-08	8.91E-11	1.25E-12	9.35E-09	1.05E-12	1.22E-18	8.00E-07	8.98E-10	
609	20	24/12/96	0.00E+00	1.02E-05	3.78E-06	6.70E-06	2.17E-05	2.81E-05	0.00E+00	2.98E-05	3.55E-05	4.64E-05	6.69E-06	5.63E-07	3.48E-08	6.02E-11	8.08E-13	5.75E-09	5.13E-13	4.75E-19	5.52E-07	5.49E-10	
610	20	28/02/97	7.16E-06	2.56E-05	7.94E-06	1.33E-05	3.48E-05	1.31E-04	0.00E+00	5.23E-05	4.29E-05	3.36E-05	1.71E-05	2.19E-06	2.08E-07	5.56E-10	1.17E-11	4.41E-08	1.19E-11	3.35E-17	1.57E-06	1.81E-09	
611	21	01/02/94	1.17E-05	2.30E-05	1.71E-05	1.75E-05	9.57E-05	5.25E-05	1.18E-05	4.09E-05	7.50E-05	7.72E-05	1.23E-06	3.79E-07	8.77E-08	5.76E-10	2.99E-11	1.41E-08	1.71E-11	2.19E-16	1.94E-07	3.97E-10	
612	21	24/03/94	1.16E-06	4.58E-05	1.51E-05	2.84E-05	8.26E-05	4.71E-04	2.53E-06	5.59E-05	4.01E-05	2.77E-05	4.33E-05	3.13E-06	1.72E-07	2.71E-10	3.41E-12	2.66E-07	1.74E-10	1.22E-15	3.14E-06	3.09E-09	
613	21	21/07/94	1.44E-05	3.07E-05	1.11E-05	2.57E-05	2.61E-05	2.25E-04	0.00E+00	2.17E-05	9.11E-05	2.55E-05	3.00E-05	1.75E-06	7.65E-08	9.58E-11	9.53E-13	7.27E-08	1.87E-11	5.08E-17	5.23E-06	1.21E-08	
614	21	09/09/94	1.91E-05	1.79E-05	6.91E-06	1.86E-05	2.44E-05	1.09E-04	0.00E+00	6.27E-05	6.50E-05	3.03E-05	1.94E-05	6.28E-07	1.52E-08	1.05E-11	5.69E-14	8.48E-08	3.90E-11	1.90E-16	2.55E-06	4.32E-09	
615	21	16/09/94	5.32E-06	1.28E-05	8.18E-06	2.11E-05	2.52E-05	1.32E-04	0.00E+00	1.20E-04	7.52E-05	2.77E-05	3.56E-05	1.54E-06	5.03E-08	4.67E-11	3.43E-13	1.64E-07	7.98E-11	4.11E-16	5.15E-06	9.75E-09	
616	21	29/09/94	4.79E-06	1.53E-05	7.61E-06	1.69E-05	2.61E-05	8.85E-05	0.00E+00	8.69E-05	7.43E-05	2.63E-05	2.43E-05	8.81E-07	2.39E-08	1.85E-11	1.13E-13	8.56E-08	3.19E-11	1.25E-16	3.61E-06	6.92E-09	
617	21	31/10/94	1.06E-05	7.67E-06	1.16E-05	2.49E-05	2.61E-05	2.05E-04	0.00E+00	8.58E-05	5.82E-05	2.41E-05	4.78E-05	1.70E-06	4.59E-08	3.54E-11	2.18E-13	3.80E-07	3.21E-10	2.89E-15	5.04E-06	7.13E-09	
618	21	13/12/94	7.89E-06	1.28E-05	7.57E-06	1.38E-05	1.74E-05	7.47E-05	0.00E+00	1.06E-04	7.56E-05	2.96E-05	3.09E-05	1.55E-06	5.82E-08	6.20E-11	5.22E-13	1.46E-07	7.29E-11	3.83E-16	4.64E-0		



	1	2	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
1	N°	Date	AIP04°	AIHPO4 +	AIH2PO4 2+	AIOSI(OH)3 2+	AIF 2+	AIF2 +	AIF3 °	AIF4 -	Polymères	Al organique	Force ionique	Activités (moles/l)				
2			[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[moles d'Al/l]	[moles d'Al/l]	moles/l	(Ca 2+)	(Mg 2+)	(K +)	(Na +)	(Al 3+)
579	20	09/09/94	5.43E-19	2.60E-20	3.50E-21	6.03E-09	8.61E-06	1.75E-06	9.52E-09	1.72E-12	0.00E+00	6.69E-06	3.66E-04	2.40E-05	5.09E-06	2.50E-05	2.09E-05	7.13E-06
580	20	16/09/94	6.97E-19	3.04E-20	3.75E-21	2.26E-08	5.39E-06	3.07E-07	4.69E-10	2.38E-14	0.00E+00	1.12E-05	3.93E-04	2.26E-05	5.91E-06	2.00E-05	2.08E-05	1.21E-05
581	20	29/09/94	5.20E-19	2.67E-20	3.84E-21	5.29E-09	2.70E-06	8.34E-08	6.89E-11	1.89E-15	6.45E-07	1.07E-05	3.24E-04	1.74E-05	4.10E-06	2.26E-05	1.28E-05	7.47E-06
582	20	31/10/94	7.14E-19	3.75E-20	5.58E-21	3.14E-08	8.74E-06	4.73E-07	6.89E-10	3.35E-14	0.00E+00	1.38E-07	4.73E-04	3.01E-05	7.99E-06	1.75E-05	1.70E-05	1.99E-05
583	20	13/12/94	8.23E-19	2.99E-20	3.07E-21	4.89E-08	5.73E-06	2.39E-07	2.67E-10	9.98E-15	0.00E+00	5.82E-06	4.33E-04	2.68E-05	6.82E-06	2.00E-05	2.12E-05	1.85E-05
584	20	17/01/95	6.95E-19	2.35E-20	2.23E-21	2.28E-08	9.71E-19	1.12E-32	3.42E-48	3.45E-65	0.00E+00	6.03E-06	2.51E-04	1.47E-05	3.98E-06	1.26E-05	2.14E-05	6.98E-06
585	20	02/02/95	8.88E-19	2.28E-20	1.65E-21	2.43E-08	6.17E-07	2.54E-09	2.81E-13	1.03E-18	2.59E-08	9.11E-06	3.53E-04	2.38E-05	6.31E-06	1.50E-05	3.41E-05	1.64E-05
586	20	27/02/95	8.27E-19	2.87E-20	2.81E-21	2.10E-08	9.90E-19	3.82E-33	3.97E-49	1.37E-66	0.00E+00	1.45E-05	4.31E-04	2.75E-05	7.16E-06	1.75E-05	2.97E-05	1.72E-05
587	20	24/03/95	8.25E-19	2.93E-20	2.94E-21	1.61E-08	2.46E-06	7.81E-08	6.70E-11	1.91E-15	9.45E-06	6.05E-09	3.98E-04	2.62E-05	6.84E-06	1.75E-05	3.83E-05	1.79E-05
588	20	07/04/95	8.43E-19	2.27E-20	1.72E-21	1.33E-08	8.27E-06	5.21E-07	8.79E-10	4.92E-14	6.38E-06	2.13E-06	3.70E-04	2.45E-05	6.19E-06	1.50E-05	3.41E-05	1.12E-05
589	20	02/05/95	8.33E-19	3.39E-20	3.93E-21	2.67E-08	3.25E-06	4.24E-08	1.49E-11	1.76E-16	4.20E-06	3.85E-07	4.98E-04	3.46E-05	8.52E-06	1.50E-05	3.82E-05	2.64E-05
590	20	02/06/95	9.15E-19	2.52E-20	1.98E-21	5.40E-08	5.20E-07	9.26E-10	4.47E-14	7.22E-20	8.71E-06	4.22E-06	5.54E-04	3.82E-05	9.33E-06	1.49E-05	3.81E-05	2.93E-05
591	20	28/06/95	8.28E-19	3.22E-20	3.55E-21	2.71E-08	3.74E-06	1.19E-06	1.01E-08	2.88E-12	6.45E-06	2.76E-08	4.53E-04	3.02E-05	7.33E-06	1.25E-05	2.12E-05	2.26E-05
592	20	18/07/95	4.10E-06	2.30E-07	3.67E-08	4.61E-09	5.47E-06	3.62E-06	6.47E-08	3.86E-11	1.29E-06	1.87E-06	4.97E-04	2.53E-05	5.99E-06	2.49E-05	1.27E-05	7.85E-06
593	20	17/08/95	9.45E-19	1.14E-20	3.84E-22	2.75E-08	1.43E-06	1.44E-07	3.87E-10	3.44E-14	0.00E+00	8.27E-06	3.12E-04	2.22E-05	5.85E-06	1.75E-05	1.28E-05	7.66E-06
594	20	19/09/95	8.41E-19	2.02E-20	1.36E-21	1.83E-08	2.53E-06	1.95E-07	4.04E-10	2.76E-14	0.00E+00	8.47E-06	3.17E-04	2.20E-05	5.96E-06	2.51E-05	8.53E-06	8.60E-06
595	20	10/10/95	8.57E-19	1.79E-20	1.05E-21	2.16E-08	2.18E-06	2.28E-07	6.38E-10	5.89E-14	1.48E-06	8.74E-06	2.90E-04	1.77E-05	5.33E-06	2.26E-05	2.13E-05	7.35E-06
596	20	06/11/95	7.00E-19	2.66E-20	2.86E-21	1.81E-08	3.16E-06	1.32E-07	1.48E-10	5.54E-15	0.00E+00	5.33E-06	4.12E-04	3.10E-05	8.64E-06	1.75E-05	4.25E-05	9.13E-06
597	20	05/01/96	8.92E-19	2.34E-20	1.75E-21	5.69E-08	8.12E-06	1.48E-06	7.30E-09	1.20E-12	0.00E+00	0.00E+00	4.60E-04	2.52E-05	4.11E-07	2.25E-05	2.55E-05	1.81E-05
598	20	21/02/96	9.46E-19	2.02E-20	1.24E-21	1.14E-07	1.26E-05	3.89E-07	3.26E-10	9.19E-15	0.00E+00	3.94E-08	6.46E-04	4.26E-05	1.30E-05	1.99E-05	3.81E-05	3.26E-05
599	20	03/04/96	9.41E-19	2.21E-20	1.48E-21	9.82E-08	3.16E-06	1.72E-08	2.56E-12	1.28E-17	0.00E+00	4.57E-06	7.02E-04	4.44E-05	1.47E-05	1.99E-05	5.07E-05	3.51E-05
600	20	30/05/96	9.38E-19	2.83E-20	2.49E-21	2.03E-07	2.77E-06	5.68E-09	3.22E-13	6.24E-19	2.23E-06	4.72E-06	1.11E-03	6.30E-05	1.84E-05	2.96E-05	4.61E-05	6.54E-05
601	20	12/06/96	8.66E-19	2.74E-20	2.46E-21	3.57E-08	2.76E-06	2.62E-08	6.71E-12	5.76E-17	0.00E+00	1.28E-05	5.37E-04	3.40E-05	9.79E-06	1.74E-05	6.36E-05	2.02E-05
602	20	25/06/96	3.00E-19	4.75E-20	2.17E-20	1.54E-08	8.48E-06	1.80E-07	1.06E-10	2.09E-15	0.00E+00	0.00E+00	8.47E-04	3.49E-05	1.26E-05	1.98E-05	3.79E-05	3.03E-05
603	20	08/07/96	8.77E-19	2.77E-20	2.49E-21	5.31E-08	7.51E-06	6.51E-07	1.52E-09	1.18E-13	1.17E-05	0.00E+00	4.91E-04	3.28E-05	1.01E-05	2.00E-05	2.55E-05	2.32E-05
604	20	15/08/96	8.79E-19	2.21E-20	1.57E-21	3.61E-08	7.53E-06	9.43E-07	3.17E-09	3.54E-13	0.00E+00	7.52E-06	4.01E-04	2.92E-05	7.86E-06	1.75E-05	2.55E-05	1.40E-05
605	20	16/09/96	2.68E-06	6.14E-08	3.95E-09	2.62E-08	2.67E-06	4.15E-07	1.72E-09	2.36E-13	0.00E+00	5.13E-08	3.17E-04	2.18E-05	6.98E-06	1.75E-05	1.71E-05	1.13E-05
606	20	03/10/96	2.33E-06	1.54E-08	2.91E-10	2.69E-11	7.22E-07	2.29E-06	1.99E-07	5.83E-10	7.82E-06	1.78E-05	7.84E-04	4.81E-05	1.75E-05	3.22E-05	3.37E-04	2.28E-09
607	20	14/11/96	8.44E-19	2.07E-20	1.43E-21	2.39E-08	4.64E-06	8.83E-07	4.48E-09	7.52E-13	1.48E-06	4.05E-06	3.06E-04	1.69E-05	5.59E-06	1.50E-05	2.13E-05	9.30E-06
608	20	05/12/96	8.41E-19	1.88E-20	1.18E-21	6.33E-09	1.32E-06	3.11E-06	1.95E-07	4.03E-10	2.94E-06	0.00E+00	2.41E-04	1.21E-05	3.99E-06	1.01E-05	2.14E-05	7.40E-06
609	20	24/12/96	7.95E-19	1.86E-20	1.22E-21	6.15E-09	8.99E-19	3.73E-32	4.11E-47	1.49E-63	1.84E-06	8.09E-06	2.18E-04	1.10E-05	3.54E-06	1.01E-05	2.14E-05	5.76E-06
610	20	28/02/97	9.48E-19	1.43E-20	6.12E-22	4.19E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	9.22E-06	7.57E-08	3.44E-04	2.25E-05	7.30E-06	2.50E-05	3.41E-05	1.42E-05
611	21	01/02/94	1.07E-05	6.61E-08	1.16E-09	5.68E-09	2.69E-06	3.04E-06	9.31E-08	9.54E-11	7.91E-06	1.14E-05	5.55E-04	4.94E-05	1.54E-05	2.24E-05	9.32E-05	9.71E-07
612	21	24/03/94	2.35E-06	6.04E-08	4.46E-09	6.41E-08	1.15E-06	1.86E-09	8.24E-14	1.24E-19	0.00E+00	1.97E-05	8.16E-04	3.56E-05	1.33E-05	4.43E-05	8.01E-05	3.26E-05
613	21	21/07/94	8.74E-19	2.83E-20	2.61E-21	1.39E-08	1.13E-05	6.03E-07	8.74E-10	4.27E-14	0.00E+00	4.99E-08	6.40E-04	3.79E-05	9.96E-06	2.98E-05	2.54E-05	2.33E-05
614	21	09/09/94	6.17E-19	3.63E-20	6.07E-21	1.44E-08	1.22E-05	1.64E-06	5.98E-09	7.27E-13	0.00E+00	0.00E+00	5.09E-04	2.66E-05	6.25E-06	1.75E-05	2.38E-05	1.55E-05
615	21	16/09/94	8.23E-19	3.59E-20	4.47E-21	6.77E-08	5.14E-06	7.06E-08	2.63E-11	3.28E-16	0.00E+00	2.99E-06	5.64E-04	2.81E-05	7.36E-06	1.25E-05	2.46E-05	2.81E-05
616	21	29/09/94	7.09E-19	3.72E-20	5.55E-21	2.80E-08	4.59E-06	7.80E-08	3.58E-11	5.50E-16	3.71E-08	5.98E-06	5.16E-04	2.86E-05	6.87E-06	1.50E-05	2.54E-05	1.93E-05
617	21	31/10/94	8.04E-19	4.22E-20	6.34E-21	5.35E-08	7.14E-06	1.37E-07	7.21E-11	1.27E-15	0.00E+00	0.00E+00	6.90E-04	4.06E-05	1.03E-05	7.45E-06	2.53E-05	3.68E-05
618	21	13/12/94	8.44E-19	3.21E-20	3.46E-21	6.01E-08	6.97E-06	2.15E-07	1.79E-10	4.96E-15	0.00E+00	7.64E-08	4.78E-04	2.65E-05	6.86E-06	1.25E-05	1.70E-05	2.48E-05
619	21	17/01/95	8.71E-19	2.40E-20	1.86E-21	2.24E-08	9.89E-19	4.25E-33	4.89E-49	1.86E-66	0.00E+00	8.35E-06	3.36E-04	1.73E-05	4.92E-06	5.01E-06	2.56E-05	1.55E-05
620	21	02/02/95	8.67E-19	2.44E-20	1.94E-21	1.86E-08	5.16E-07	1.43E-09	1.06E-13	2.59E-19	0.00E+00	7.61E-06	3.31E-04	1.76E-05	4.93E-06	7.52E-06	3.84E-05	1.58E-05
621	21	27/02/95	8.06E-19	2.73E-20	2.61E-21	1.37E-08	9.87E-19	5.17E-33	7.26E-49	3.38E-66	0.00E+00	9.95E-06	3.55E-04	2.05E-05	5.03E-06	7.51E-06	2.98E-05	1.38E-05
622	21	24/03/95	8.44E-19	2.67E-20	2.38E-21	1.60E-08	2.42E-06	3.49E-08	1.35E-11	1.72E-16	4.71E-06	5.01E-07	3.53E-04	2.19E-05	5.44E-06	1.00E-05	4.26E-05	1.63E-05
623	21	07/04/95	8.60E-19	1.97E-20	1.27E-21	9.27E-09	6.88E-06	4.29E-07	7.13E-10	3.92E-14	1.82E-06	2.36E-06	2.99E-04	1.83E-05	4.49E-06	1.00E-05	3.84E-05	9.23E-06
624	21	02/05/95	8.99E-19	2.42E-20	1.84E-21	2.69E-08	2.11E-06	6.58E-08	5.51E-11	1.53E-15	3.53E-06	0.00E+00	4.01E-04	3.17E-05	7.07E-06	5.00E-06	4.68E-05	2.13E-05
625	21	02/06/95	9.44E-19	1.88E-20	1.07E-21	6.05E-08	9.90E-19	3.95E-33	4.24E-49	1.52E-66	2.30E-06	4.81E-06	4.88E-04	3.75E-05	8.46E-06	4.99E-06	4.24E-05	2.57E-05
626	21	17/08/95	9.24E-19	1.43E-20	6.23E-22	2.88E-08	9.20E-19	3.09E-32	2.77E-47	8.21E-64	0.00E+00	8.03E-06	3.24E-04	2.30E-05	5.12E-06	7.52E-06	2.13E-05	8.83E-06



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1	N°	Date	Pluviométrie (mm) ou volume (ml)	pH 20 °C	ANC µequiv/L	Al total mg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	Fe mg/l	F mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Mn mg/l	Na mg/l	NO3 mg/l	PO4 mg/l	Si mg/l	SO4 mg/l	C org. mg/l	Al total moles/l	Al monomérique moles/l	Al 8-OH-O moles/l	Ca moles/l	Cl moles/l	C min moles/l	Fe moles/l
627	21	19/09/95	1720	4.09	-36	0.611	0.96	0.24	0.049	0.03	0.20	0.14	0.58	0.40	1.82	0.00	1.88	4.92	10.6	2.26E-05	2.26E-05	1.27E-05	2.39E-05	6.77E-06	1.57E-04	8.77E-07
628	21	10/10/95	700	4.27	-75	0.611	0.92	1.00	0.055	0.09	0.20	0.13	0.45	0.50	1.78	0.00	1.93	5.16	12.5	2.27E-05	2.23E-05	1.20E-05	2.29E-05	2.82E-05	1.57E-04	9.85E-07
629	21	05/12/95	400	4.12	-56	0.831	1.48	2.18	0.026	0.10	0.90	0.23	0.63	0.90	4.94	0.00	2.56	5.72	7.6	3.08E-05	3.08E-05	2.53E-05	3.69E-05	6.15E-05	1.30E-04	4.66E-07
630	21	05/01/96	1060	4.06	-78	1.153	1.51	0.63	0.000	0.31	0.40	0.24	0.59	0.70	7.52	0.00	2.01	6.47	7.5	4.27E-05	4.27E-05	3.48E-05	3.77E-05	1.78E-05	1.57E-04	0.00E+00
631	21	21/02/96	950	4.25	-129	1.931	2.54	1.52	0.032	0.26	0.30	0.38	0.86	0.90	19.34	0.00	2.10	5.52	6.6	7.16E-05	7.16E-05	5.85E-05	6.34E-05	4.29E-05	5.00E-05	5.73E-07
632	21	03/04/96	625	4.15	-79	1.397	2.17	2.19	0.018	0.07	0.30	0.33	0.81	1.10	10.86	0.00	1.27	6.99	4.7	5.18E-05	5.18E-05	4.63E-05	5.41E-05	6.18E-05	5.00E-05	3.22E-07
633	21	30/05/96	850	3.37	-290	2.692	3.57	1.49	0.048	0.03	0.70	0.47	1.49	0.90	39.84	0.00	1.90	5.31	5.9	9.98E-05	9.47E-05	9.47E-05	8.91E-05	4.19E-05	5.00E-05	8.59E-07
634	21	12/06/96	280	4.67	-22	1.079	2.25	0.40	0.044	0.12	0.50	0.28	0.96	4.70	13.94	0.00	1.78	6.56	7.3	4.00E-05	4.00E-05	5.89E-06	5.61E-05	1.13E-05	5.00E-05	7.88E-07
635	21	25/06/96	400	4.06	-217	1.394	3.06	1.20	0.031	0.36	0.60	0.36	1.19	1.00	18.79	0.00	1.53	5.59	6.8	5.17E-05	5.17E-05	4.15E-05	7.63E-05	3.38E-05	5.00E-05	5.55E-07
636	21	08/07/96	500	4.02	-91	1.515	2.45	0.65	0.037	0.25	0.80	0.31	1.21	0.60	17.61	0.00	2.01	5.05	6.3	5.62E-05	4.52E-05	4.12E-05	6.11E-05	1.83E-05	5.00E-05	6.62E-07
637	21	15/08/96	455	3.97	-73	0.746	1.44	1.07	0.062	0.19	0.50	0.18	0.73	0.40	5.00	0.00	1.53	5.55	9.2	2.76E-05	2.76E-05	2.55E-05	3.59E-05	3.02E-05	5.00E-05	1.11E-06
638	21	14/11/96	3200	4.13	-66	0.690	1.36	1.63	0.011	0.25	0.30	0.17	0.55	0.60	2.35	0.00	1.97	5.67	9.3	2.56E-05	2.56E-05	1.61E-05	3.39E-05	4.60E-05	5.00E-05	1.97E-07
639	21	05/12/96	1850	4.17	-44	0.472	0.73	0.36	0.014	0.13	0.20	0.09	0.32	0.60	1.76	0.00	0.67	4.01	9.1	1.75E-05	1.60E-05	1.04E-05	1.83E-05	1.02E-05	5.00E-05	2.51E-07
640	21	24/12/96	1270	4.12	-43	0.529	0.84	0.56	0.031	0.00	0.30	0.11	0.33	0.50	3.12	0.00	0.93	3.55	8.5	1.96E-05	1.82E-05	1.41E-05	2.09E-05	1.58E-05	5.00E-05	5.55E-07
641	21	28/02/97	610	4.36	-113	1.296	2.05	1.31	0.019	0.05	0.70	0.26	0.74	1.00	17.57	0.00	1.82	3.52	6.8	4.80E-05	4.44E-05	4.44E-05	5.11E-05	3.69E-05	5.00E-05	3.40E-07
642	22	09/02/94	73	4.18		0.798	1.80	2.94	0.050	0.22	0.37	0.28	0.82	0.19	4.17	0.93	1.29	5.69		2.96E-05	2.30E-05	8.63E-06	4.49E-05	8.29E-05	1.23E-04	8.95E-07
643	22	21/07/94	275	3.96	-230	0.879	1.06	1.90	0.093	0.20	1.60	0.22	1.29	0.60	15.88	0.00	0.48	5.50	11.1	3.26E-05	3.26E-05	1.74E-05	2.64E-05	5.36E-05	1.30E-04	1.67E-06
644	22	09/09/94	1330	3.72	-70	0.768	0.85	1.63	0.129	0.25	1.00	0.16	1.17	0.66	5.70	0.00	1.20	3.90	12.4	2.85E-05	2.85E-05	1.44E-05	2.11E-05	4.60E-05	1.30E-04	2.31E-06
645	22	16/09/94	500	3.86	-58	0.750	0.81	1.64	0.116	0.13	0.70	0.16	1.21	0.59	4.81	0.00	1.89	4.09	11.2	2.78E-05	2.78E-05	1.28E-05	2.03E-05	4.62E-05	1.30E-04	2.08E-06
646	22	29/09/94	160	3.76	-40	0.512	0.74	0.91	0.083	0.05	0.80	0.12	0.86	0.40	4.62	0.00	0.90	3.09	7.7	1.90E-05	1.90E-05	7.34E-06	1.85E-05	2.57E-05	1.30E-04	1.49E-06
647	22	31/10/94	180	3.73	-97	1.114	1.29	2.88	0.077	0.23	0.80	0.26	1.72	0.60	9.90	0.00	1.46	4.13	9.4	4.13E-05	4.13E-05	3.13E-05	3.22E-05	8.12E-05	1.30E-04	1.38E-06
648	22	13/12/94	600	3.96	-86	0.954	0.90	2.56	0.060	0.12	1.00	0.20	1.02	0.80	3.25	0.00	2.87	7.04	9.5	3.54E-05	3.54E-05	2.52E-05	2.25E-05	7.22E-05	1.30E-04	1.07E-06
649	22	17/01/95	2300	4.10	-40	0.306	0.42	1.59	0.023	0.00	0.60	0.09	0.44	0.60	1.78	0.00	0.52	2.83	4.1	1.14E-05	1.14E-05	6.58E-06	1.04E-05	4.48E-05	1.30E-04	4.12E-07
650	22	02/02/95	975	4.09	-46	0.729	0.81	1.60	0.057	0.00	0.80	0.18	0.79	0.80	2.85	0.00	1.53	5.68	7.6	2.70E-05	2.70E-05	1.85E-05	2.03E-05	4.51E-05	1.30E-04	1.02E-06
651	22	27/02/95	450	3.94	-51	0.498	0.60	2.21	0.059	0.03	0.80	0.12	0.56	0.70	2.21	0.00	0.89	3.49	7.3	1.85E-05	1.85E-05	1.00E-05	1.49E-05	6.23E-05	1.30E-04	1.06E-06
652	22	24/03/95	700	3.96	-33	0.528	0.59	1.85	0.061	0.06	0.80	0.13	0.60	1.00	3.25	0.00	0.83	3.42	4.9	1.96E-05	1.52E-05	1.06E-05	1.48E-05	5.22E-05	1.30E-04	1.09E-06
653	22	07/04/95	370	4.08	-33	0.575	0.66	1.90	0.072	0.17	0.70	0.15	0.63	1.00	3.83	0.00	0.81	3.81	0.9	1.32E-05	1.90E-05	1.04E-05	1.64E-05	5.36E-05	1.30E-04	1.29E-06
654	22	02/05/95	350	3.97	-65	0.551	0.72	1.67	0.047	0.18	0.60	0.15	0.64	0.90	4.96	0.00	0.94	3.23	6.9	2.04E-05	1.80E-05	1.38E-05	1.80E-05	4.71E-05	1.30E-04	8.42E-07
655	22	02/06/95	415	3.27	-99	0.863	0.97	1.69	0.169	0.00	0.90	0.23	1.02	0.80	9.40	0.00	1.43	4.53	8.9	3.20E-05	2.80E-05	2.37E-05	2.43E-05	4.77E-05	1.30E-04	3.03E-06
656	22	17/08/95	325	4.89	-63	0.253	0.79	2.57	0.039	0.08	1.70	0.13	0.80	0.90	0.73	1.20	0.60	3.78	15.0	9.37E-06	7.49E-06	2.04E-06	1.98E-05	7.25E-05	1.57E-04	6.98E-07
657	22	19/09/95	1300	4.17	-44	0.356	0.57	0.23	0.074	0.08	1.40	0.13	0.59	0.30	1.67	0.00	1.08	3.92	14.4	1.32E-05	1.26E-05	4.06E-06	1.41E-05	6.49E-06	1.57E-04	1.32E-06
658	22	10/10/95	150	4.70	16	0.370	1.85	1.75	0.080	0.09	1.30	0.50	0.46	1.50	2.11	0.00	1.35	6.31	10.6	1.37E-05	7.19E-06	2.16E-06	4.62E-05	4.94E-05	1.57E-04	1.43E-06
659	22	21/02/96	530	4.16	-107	1.151	1.67	1.33	0.043	0.30	1.50	0.39	0.87	0.90	11.72	0.00	2.56	6.84	8.3	4.27E-05	4.27E-05	3.32E-05	4.17E-05	3.75E-05	5.00E-05	7.70E-07
660	22	03/04/96	330	4.21	-38	0.805	1.38	2.01	0.055	0.07	1.50	0.33	0.77	1.80	7.65	0.00	1.40	6.48	5.3	2.98E-05	2.98E-05	1.93E-05	3.44E-05	5.67E-05	5.00E-05	9.85E-07
661	22	30/05/96	120	4.14	-208	2.145	2.86	1.66	0.062	0.03	2.10	0.55	1.65	1.40	33.55	0.00	3.10	5.93	5.9	7.95E-05	7.70E-05	7.20E-05	7.14E-05	4.69E-05	5.00E-05	1.11E-06
662	22	08/07/96	200	4.01	-91	1.047	1.70	0.71	0.044	0.28	1.50	0.35	1.10	1.10	15.11	0.00	2.75	5.06	6.7	3.88E-05	3.70E-05	2.41E-05	4.24E-05	2.00E-05	5.00E-05	7.88E-07
663	22	14/11/96	2520	4.06	-81	0.786	1.14	1.84	0.040	0.25	1.30	0.22	1.09	0.80	3.39	0.00	2.40	7.58	10.9	2.91E-05	2.82E-05	1.93E-05	2.84E-05	5.19E-05	5.00E-05	7.16E-07
664	22	05/12/96	160	4.14	21	1.671	1.25	0.76	0.009	0.26	0.90	0.22	0.99	1.00	3.13	0.00	2.16	8.23	9.0	6.19E-05	2.40E-05	1.65E-05	3.12E-05	2.14E-05	5.00E-05	1.61E-07
665	22	24/12/96	360	4.40	-70	0.528	0.85	0.65	0.030	0.16	0.90	0.18	0.73	0.90	3.35	0.00	1.71	6.29	10.9	1.96E-05	1.82E-05	9.35E-06	2.12E-05	1.83E-05	5.00E-05	5.37E-07
666	22	28/02/97	140	4.31	-97	1.020	1.52	0.94	0.029	0.15	1.20	0.33	1.41	0.90	13.71	0.00	2.74	5.59	7.6	3.78E-05	3.46E-05	3.46E-05	3.79E-05	2.65E-05	5.00E-05	5.19E-07
667	23	01/02/94		4.29	-65	1.120	1.49	3.19	0.082	0.31	0.70	0.25	0.86	1.40	5.85	1.37	0.77	4.21	12.7	4.15E-05	3.28E-05	1.43E-05	3.72E-05	8.99E-05	1.34E-04	1.47E-06
668	23	09/02/94	667	4.20	-76	1.020	1.11	1.62	0.038	0.19	0.34	0.20	0.73	0.09	6.07	0.35	0.59	3.58	7.7	3.78E-05	3.18E-05	1.40E-05	2.77E-05	4.56E-05	1.23E-04	6.80E-07
669	23	03/03/94	457	4.08	973	7.670	8.00	1.55	0.331	0.04	0.50	1.49	5.39	1.40	13.93	1.03	3.42	4.74	6.3	2.84E-04						



	1	2	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	
1	N°	Date	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	Fulvate	Al 3+	AlOH 2+	Al(OH)2 +	Al(OH)3°	Al(OH)4 -	AlCl 2 +	AlCl2 +	AlCl3°	AlSO4 +	Al(SO4)2 -	
2			moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]
627	21	19/09/95	1.53E-06	5.12E-06	5.76E-06	1.05E-05	1.74E-05	2.94E-05	0.00E+00	6.69E-05	5.12E-05	3.84E-05	1.06E-05	8.59E-07	5.17E-08	8.74E-11	1.15E-12	6.31E-09	3.93E-13	2.55E-19	1.21E-06	1.70E-09	
628	21	10/10/95	4.89E-06	5.12E-06	5.51E-06	8.25E-06	2.17E-05	2.87E-05	0.00E+00	6.87E-05	5.37E-05	4.51E-05	9.52E-06	1.17E-06	1.07E-07	2.73E-10	5.45E-12	2.37E-08	6.16E-12	1.67E-17	1.15E-06	1.70E-09	
629	21	05/12/95	5.47E-06	2.30E-05	9.29E-06	1.15E-05	3.91E-05	7.97E-05	0.00E+00	9.11E-05	5.95E-05	2.73E-05	2.07E-05	1.77E-06	1.13E-07	2.05E-10	2.92E-12	1.09E-07	6.08E-11	3.55E-16	2.55E-06	4.00E-09	
630	21	05/01/96	1.64E-05	1.02E-05	9.70E-06	1.08E-05	3.04E-05	1.21E-04	0.00E+00	7.16E-05	6.73E-05	2.72E-05	2.86E-05	2.12E-06	1.18E-07	1.86E-10	2.31E-12	4.34E-08	6.94E-12	1.17E-17	3.86E-06	6.71E-09	
631	21	21/02/96	1.38E-05	7.67E-06	1.54E-05	1.57E-05	3.91E-05	3.12E-04	0.00E+00	7.48E-05	5.75E-05	2.39E-05	4.74E-05	5.34E-06	4.55E-07	1.11E-09	2.16E-11	1.68E-07	6.33E-11	2.54E-16	4.97E-06	6.99E-09	
632	21	03/04/96	3.74E-06	7.67E-06	1.37E-05	1.48E-05	4.78E-05	1.75E-04	0.00E+00	4.52E-05	7.28E-05	1.69E-05	3.73E-05	3.37E-06	2.29E-07	4.43E-10	6.82E-12	1.93E-07	1.06E-10	6.14E-16	5.16E-06	9.43E-09	
633	21	30/05/96	1.74E-06	1.79E-05	1.94E-05	2.71E-05	3.91E-05	6.42E-04	0.00E+00	6.76E-05	5.93E-05	2.13E-05	8.60E-05	1.23E-06	1.35E-08	4.35E-12	1.14E-14	2.80E-07	9.88E-11	3.79E-16	7.14E-06	8.59E-09	
634	21	12/06/96	6.53E-06	1.28E-05	1.15E-05	1.75E-05	2.04E-04	2.25E-04	0.00E+00	6.34E-05	6.83E-05	2.62E-05	3.87E-06	1.17E-06	2.63E-07	1.69E-09	8.59E-11	3.71E-09	3.76E-13	4.02E-19	5.51E-07	1.02E-09	
635	21	25/06/96	1.91E-05	1.53E-05	1.46E-05	2.17E-05	4.35E-05	3.03E-04	0.00E+00	5.45E-05	5.82E-05	2.44E-05	3.49E-05	2.54E-06	1.40E-07	2.20E-10	2.77E-12	9.76E-08	2.90E-11	9.20E-17	3.78E-06	5.49E-09	
636	21	08/07/96	1.29E-05	2.05E-05	1.29E-05	2.20E-05	2.61E-05	2.84E-04	0.00E+00	7.16E-05	5.26E-05	2.28E-05	3.51E-05	2.35E-06	1.18E-07	1.70E-10	1.94E-12	5.36E-08	8.68E-12	1.49E-17	3.50E-06	4.61E-09	
637	21	15/08/96	9.84E-06	1.28E-05	7.52E-06	1.32E-05	1.74E-05	8.06E-05	0.00E+00	5.45E-05	5.78E-05	3.32E-05	2.15E-05	1.31E-06	5.91E-08	7.57E-11	7.63E-13	5.59E-08	1.53E-11	4.38E-17	2.57E-06	3.91E-09	
638	21	14/11/96	1.29E-05	7.67E-06	6.78E-06	1.00E-05	2.61E-05	3.79E-05	0.00E+00	7.01E-05	5.90E-05	3.36E-05	1.31E-05	1.16E-06	7.62E-08	1.41E-10	2.05E-12	5.26E-08	2.21E-11	9.68E-17	1.67E-06	2.67E-09	
639	21	05/12/96	6.68E-06	5.12E-06	3.78E-06	5.90E-06	2.61E-05	2.84E-05	0.00E+00	2.38E-05	4.17E-05	3.28E-05	8.64E-06	8.52E-07	6.19E-08	1.26E-10	1.98E-12	7.87E-09	7.45E-13	7.31E-19	8.27E-07	9.59E-10	
640	21	24/12/96	0.00E+00	7.67E-06	4.32E-06	6.02E-06	2.17E-05	5.03E-05	0.00E+00	3.30E-05	3.70E-05	3.06E-05	1.20E-05	1.05E-06	6.77E-08	1.22E-10	1.73E-12	1.68E-08	2.45E-12	3.72E-18	9.97E-07	1.01E-09	
641	21	28/02/97	2.63E-06	1.79E-05	1.08E-05	1.34E-05	4.35E-05	2.83E-04	0.00E+00	6.48E-05	3.66E-05	2.44E-05	3.58E-05	5.26E-06	5.81E-07	1.83E-09	4.55E-11	1.11E-07	3.65E-11	1.27E-16	2.54E-06	2.35E-09	
642	22	09/02/94	1.13E-05	9.36E-06	1.13E-05	1.49E-05	8.09E-06	6.72E-05	9.83E-06	4.59E-05	5.92E-05		1.91E-06	1.90E-07	1.40E-08	2.91E-11	4.74E-13	1.38E-08	1.05E-11	8.30E-17	2.50E-07	4.10E-10	
643	22	21/07/94	1.05E-05	4.09E-05	8.96E-06	2.35E-05	2.61E-05	2.56E-04	0.00E+00	1.72E-05	5.72E-05	4.02E-05	1.47E-05	8.65E-07	3.81E-08	4.77E-11	4.72E-13	6.70E-08	3.22E-11	1.63E-16	1.72E-06	2.60E-09	
644	22	09/09/94	1.31E-05	2.56E-05	6.66E-06	2.13E-05	2.87E-05	9.19E-05	0.00E+00	4.27E-05	4.06E-05	4.49E-05	1.28E-05	4.38E-07	1.12E-08	8.04E-12	4.55E-14	5.08E-08	2.12E-11	9.28E-17	1.09E-06	1.19E-09	
645	22	16/09/94	6.79E-06	1.79E-05	6.54E-06	2.20E-05	2.57E-05	7.76E-05	0.00E+00	6.73E-05	4.26E-05	4.04E-05	1.12E-05	5.30E-07	1.87E-08	1.86E-11	1.45E-13	4.49E-08	1.89E-11	8.33E-17	1.02E-06	1.18E-09	
646	22	29/09/94	2.84E-06	2.05E-05	5.10E-06	1.57E-05	1.74E-05	7.45E-05	0.00E+00	3.21E-05	3.22E-05	2.78E-05	6.59E-06	2.50E-07	7.04E-09	5.56E-12	3.43E-14	1.49E-08	3.52E-12	8.67E-18	4.71E-07	4.16E-10	
647	22	31/10/94	1.23E-05	2.05E-05	1.07E-05	3.13E-05	2.61E-05	1.60E-04	0.00E+00	5.20E-05	4.30E-05	3.38E-05	2.78E-05	9.58E-07	2.48E-08	1.83E-11	1.07E-13	1.90E-07	1.39E-10	1.05E-15	2.33E-06	2.55E-09	
648	22	13/12/94	6.42E-06	2.56E-05	8.18E-06	1.86E-05	3.48E-05	5.24E-05	0.00E+00	1.02E-04	7.33E-05	3.45E-05	2.06E-05	1.22E-06	5.39E-08	6.75E-11	6.66E-13	1.28E-07	8.31E-11	5.69E-16	3.11E-06	5.99E-09	
649	22	17/01/95	0.00E+00	1.53E-05	3.82E-06	8.03E-06	2.61E-05	2.87E-05	0.00E+00	1.84E-05	2.95E-05	1.47E-05	5.66E-06	4.77E-07	2.95E-08	5.11E-11	6.84E-13	2.28E-08	9.52E-12	4.11E-17	3.91E-07	3.25E-10	
650	22	02/02/95	0.00E+00	2.05E-05	7.36E-06	1.43E-05	3.48E-05	4.60E-05	0.00E+00	5.45E-05	5.91E-05	2.73E-05	1.52E-05	1.23E-06	7.34E-08	1.24E-10	1.64E-12	5.97E-08	2.45E-11	1.06E-16	1.93E-06	3.07E-09	
651	22	27/02/95	1.53E-06	2.05E-05	4.89E-06	1.02E-05	3.04E-05	3.56E-05	0.00E+00	3.16E-05	3.63E-05	2.63E-05	8.71E-06	5.02E-07	2.14E-08	2.56E-11	2.39E-13	4.80E-08	2.75E-11	1.65E-16	7.09E-07	7.09E-10	
652	22	24/03/95	3.21E-06	2.05E-05	5.35E-06	1.08E-05	4.35E-05	5.24E-05	0.00E+00	2.95E-05	3.56E-05	1.77E-05	9.23E-06	5.57E-07	2.49E-08	3.11E-11	3.04E-13	4.26E-08	2.04E-11	1.02E-16	7.35E-07	7.19E-10	
653	22	07/04/95	8.95E-06	1.79E-05	6.04E-06	1.15E-05	4.35E-05	6.18E-05	0.00E+00	2.89E-05	3.97E-05	3.29E-06	8.82E-06	7.02E-07	4.13E-08	6.81E-11	8.77E-13	4.18E-08	2.06E-11	1.06E-16	7.85E-07	8.59E-10	
654	22	02/05/95	9.68E-06	1.53E-05	6.04E-06	1.17E-05	3.91E-05	8.00E-05	0.00E+00	3.33E-05	3.36E-05	2.50E-05	1.21E-05	7.43E-07	3.38E-08	4.34E-11	4.34E-13	4.99E-08	2.16E-11	9.72E-17	8.91E-07	8.14E-10	
655	22	02/06/95	0.00E+00	2.30E-05	9.25E-06	1.86E-05	3.48E-05	1.52E-04	0.00E+00	5.09E-05	4.72E-05	3.22E-05	2.14E-05	2.54E-07	2.27E-09	5.81E-13	1.18E-15	8.53E-08	3.60E-11	1.61E-16	1.91E-06	2.26E-09	
656	22	17/08/95	4.11E-06	4.35E-05	5.22E-06	1.46E-05	3.91E-05	1.18E-05	1.26E-05	2.14E-05	3.93E-05	5.42E-05	7.92E-09	4.08E-09	1.55E-09	1.65E-11	1.37E-12	5.10E-11	3.42E-14	2.38E-19	7.22E-10	8.04E-13	
657	22	19/09/95	4.37E-06	3.58E-05	5.22E-06	1.08E-05	1.30E-05	2.69E-05	0.00E+00	3.84E-05	4.08E-05	5.19E-05	3.38E-06	3.33E-07	2.42E-08	4.91E-11	7.75E-13	1.96E-09	1.18E-13	7.38E-20	3.20E-07	3.68E-10	
658	22	10/10/95	4.79E-06	3.32E-05	2.06E-05	8.45E-06	6.52E-05	3.40E-05	0.00E+00	4.81E-05	6.57E-05	3.84E-05	1.38E-06	4.53E-07	1.11E-07	7.60E-10	4.10E-11	5.93E-09	2.67E-12	1.26E-17	2.00E-07	3.64E-10	
659	22	21/02/96	1.56E-05	3.84E-05	1.60E-05	1.58E-05	3.91E-05	1.89E-04	0.00E+00	9.11E-05	7.12E-05	2.98E-05	2.66E-05	2.47E-06	1.72E-07	3.42E-10	5.37E-12	8.42E-08	2.82E-11	9.96E-17	3.74E-06	6.84E-09	
660	22	03/04/96	3.84E-06	3.84E-05	1.35E-05	1.40E-05	7.83E-05	1.23E-04	0.00E+00	4.98E-05	6.75E-05	1.92E-05	1.53E-05	1.61E-06	1.26E-07	2.81E-10	4.94E-12	7.43E-08	3.79E-11	2.04E-16	2.14E-06	3.84E-09	
661	22	30/05/96	1.53E-06	5.37E-05	2.27E-05	3.00E-05	6.09E-05	5.41E-04	0.00E+00	1.10E-04	6.18E-05	2.13E-05	5.99E-05	5.14E-06	3.36E-07	6.37E-10	9.72E-12	2.25E-07	9.08E-11	3.94E-16	6.23E-06	9.05E-09	
662	22	08/07/96	1.49E-05	3.84E-05	1.45E-05	2.00E-05	4.78E-05	2.44E-04	0.00E+00	9.79E-05	5.27E-05	2.41E-05	2.04E-05	1.35E-06	6.64E-08	9.33E-11	1.04E-12	3.46E-08	6.19E-12	1.17E-17	2.16E-06	2.96E-09	
663	22	14/11/96	1.31E-05	3.32E-05	9.00E-06	1.98E-05	3.48E-05	5.47E-05	0.00E+00	8.54E-05	7.89E-05	3.93E-05	1.54E-05	1.15E-06	6.40E-08	1.01E-10	1.25E-12	6.88E-08	3.22E-11	1.59E-16	2.54E-06	5.33E-09	
664	22	05/12/96	1.38E-05	2.30E-05	9.00E-06	1.80E-05	4.35E-05	5.05E-05	0.00E+00	7.69E-05	8.57E-05	3.26E-05	1.29E-05	1.16E-06	7.75E-08	1.47E-10	2.19E-12	2.37E-08	4.60E-12	9.35E-18	2.33E-06	5.36E-09	
665	22	24/12/96	8.53E-06	2.30E-05	7.52E-06	1.32E-05	3.91E-05	5.40E-05	0.00E+00	6.09E-05	6.55E-05	3.92E-05	6.99E-06	1.16E-06	1.42E-07	4.89E-10	1.32E-11	1.12E-08	1.88E-12	3.30E-18	1.02E-06	1.84E-09	
666	22	28/02/97	7.89E-06	3.07E-05	1.36E-05	2.57E-05	3.91E-05	2.21E-04	0.00E+00	9.75E-05	5.82E-05	2.74E-05	2.73E-05	3.59E-06	3.53E-07	9.90E-10	2.20E-11	6.12E-08	1.45E-11	3.62E-17	3.15E-06		



	1	2	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
1	N°	Date	AlPO4°	AlHPO4 +	AlH2PO4 2+	AlOS(OH)3 2+	AlF 2+	AlF2 +	AlF3 °	AlF4 ..	Polymères	Al organique	Force ionique	Activités (moles/l)				
2			(moles/l)	(moles/l)	(moles/l)	(moles/l)	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	(moles d'Al/l)	(moles d'Al/l)	moles/l	{Ca 2+}	{Mg 2+}	{K +}	{Na +}	{Al 3+}
627	21	19/09/95	8.45E-19	2.03E-20	1.36E-21	2.11E-08	1.37E-06	4.17E-08	3.39E-11	9.06E-16	0.00E+00	8.48E-06	2.83E-04	2.21E-05	5.34E-06	5.02E-06	1.71E-05	8.94E-06
628	21	10/10/95	9.15E-19	1.45E-20	6.44E-22	2.95E-08	3.28E-06	5.87E-07	2.79E-09	4.39E-13	3.04E-07	6.47E-06	2.82E-04	2.12E-05	5.11E-06	5.02E-06	2.13E-05	8.03E-06
629	21	05/12/95	9.12E-19	2.04E-20	1.29E-21	5.91E-08	4.90E-06	2.29E-07	2.88E-10	1.21E-14	0.00E+00	3.67E-07	4.19E-04	3.37E-05	8.48E-06	2.25E-05	3.83E-05	1.68E-05
630	21	05/01/96	9.11E-19	2.34E-20	1.71E-21	5.56E-08	7.24E-06	7.30E-07	1.98E-09	1.78E-13	0.00E+00	0.00E+00	4.53E-04	3.43E-05	8.82E-06	9.99E-06	2.97E-05	2.31E-05
631	21	21/02/96	9.66E-19	1.60E-20	7.62E-22	1.46E-07	1.28E-05	3.11E-07	2.06E-10	4.60E-15	0.00E+00	9.16E-09	6.97E-04	5.64E-05	1.37E-05	7.45E-06	3.80E-05	3.64E-05
632	21	03/04/96	9.45E-19	1.97E-20	1.18E-21	5.57E-08	3.67E-06	2.74E-08	5.55E-12	3.78E-17	0.00E+00	1.76E-06	6.20E-04	4.85E-05	1.22E-05	7.46E-06	4.65E-05	2.91E-05
633	21	30/05/96	5.47E-19	6.89E-20	2.53E-20	3.04E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.76E-06	1.28E-03	7.62E-05	1.66E-05	1.72E-05	3.76E-05	6.05E-05
634	21	12/06/96	9.64E-19	6.08E-21	1.09E-22	2.71E-08	5.84E-06	2.87E-07	3.82E-10	1.70E-14	0.00E+00	2.80E-05	5.92E-04	5.04E-05	1.03E-05	1.24E-05	1.99E-04	3.03E-06
635	21	25/06/96	9.20E-19	2.36E-20	1.74E-21	5.07E-08	9.50E-06	6.91E-07	1.37E-09	9.16E-14	0.00E+00	0.00E+00	6.78E-04	6.80E-05	1.30E-05	1.49E-05	4.23E-05	2.69E-05
636	21	08/07/96	9.08E-19	2.56E-20	2.06E-21	6.14E-08	3.80E-06	1.86E-07	2.47E-10	1.10E-14	1.10E-05	0.00E+00	6.07E-04	5.48E-05	1.15E-05	1.99E-05	2.54E-05	2.74E-05
637	21	15/08/96	8.51E-19	2.69E-20	2.41E-21	2.60E-08	1.87E-06	2.37E-07	8.08E-10	9.16E-14	0.00E+00	8.47E-09	3.97E-04	3.29E-05	6.88E-06	1.25E-05	1.70E-05	1.76E-05
638	21	14/11/96	8.84E-19	1.93E-20	1.19E-21	2.98E-08	7.49E-06	1.98E-06	1.41E-08	3.29E-12	0.00E+00	0.00E+00	3.54E-04	3.12E-05	6.24E-06	7.51E-06	2.56E-05	1.08E-05
639	21	05/12/96	8.68E-19	1.73E-20	9.65E-22	7.43E-09	4.09E-06	9.95E-07	6.43E-09	1.37E-12	1.51E-06	5.09E-07	2.36E-04	1.71E-05	3.53E-06	5.03E-06	2.56E-05	7.39E-06
640	21	24/12/96	8.74E-19	1.96E-20	1.23E-21	1.27E-08	9.50E-19	1.98E-32	1.10E-47	2.00E-64	1.39E-06	4.06E-06	2.47E-04	1.95E-05	4.02E-06	7.54E-06	2.14E-05	1.02E-05
641	21	28/02/97	9.73E-19	1.25E-20	4.60E-22	1.25E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.62E-06	0.00E+00	5.22E-04	4.62E-05	9.77E-06	1.74E-05	4.24E-05	2.85E-05
642	22	09/02/94	6.12E-06	1.19E-07	6.55E-09	3.19E-09	8.98E-06	1.02E-06	3.08E-09	3.12E-13	6.55E-06	4.39E-06	4.14E-04	4.10E-05	1.04E-05	9.15E-06	7.91E-06	1.56E-06
643	22	21/07/94	7.98E-19	2.58E-20	2.37E-21	5.45E-09	8.17E-06	9.98E-07	3.29E-09	3.64E-13	0.00E+00	6.00E-06	5.26E-04	2.39E-05	8.09E-06	3.99E-05	2.54E-05	1.17E-05
644	22	09/09/94	5.51E-19	3.10E-20	4.93E-21	6.85E-09	9.58E-06	1.52E-06	6.47E-09	9.18E-13	0.00E+00	2.96E-06	4.27E-04	1.92E-05	6.07E-06	2.50E-05	2.81E-05	1.04E-05
645	22	16/09/94	6.72E-19	2.74E-20	3.14E-21	1.31E-08	5.66E-06	4.54E-07	9.75E-10	6.95E-14	0.00E+00	8.85E-06	3.83E-04	1.86E-05	5.99E-06	1.75E-05	2.51E-05	9.19E-06
646	22	29/09/94	4.47E-19	2.29E-20	3.30E-21	2.95E-09	2.59E-06	8.00E-08	6.60E-11	1.80E-15	0.00E+00	8.96E-06	3.37E-04	1.70E-05	4.69E-06	2.00E-05	1.70E-05	5.47E-06
647	22	31/10/94	7.13E-19	3.92E-20	6.13E-21	1.82E-08	9.43E-06	5.74E-07	9.43E-10	5.22E-14	0.00E+00	0.00E+00	5.50E-04	2.90E-05	9.67E-06	1.99E-05	2.54E-05	2.20E-05
648	22	13/12/94	8.41E-19	2.72E-20	2.49E-21	4.55E-08	5.75E-06	2.74E-07	3.52E-10	1.51E-14	0.00E+00	4.17E-06	4.46E-04	2.04E-05	7.45E-06	2.50E-05	3.40E-05	1.67E-05
649	22	17/01/95	7.69E-19	1.80E-20	1.18E-21	3.22E-09	9.59E-19	1.63E-32	7.38E-48	1.10E-64	0.00E+00	4.77E-06	2.21E-04	9.75E-06	3.58E-06	1.51E-05	2.57E-05	4.87E-06
650	22	02/02/95	8.79E-19	2.11E-20	1.42E-21	2.45E-08	9.80E-19	7.99E-33	1.75E-48	1.26E-65	0.00E+00	8.48E-06	3.55E-04	1.86E-05	6.76E-06	2.00E-05	3.41E-05	1.26E-05
651	22	27/02/95	7.04E-19	2.39E-20	2.27E-21	5.82E-09	1.42E-06	2.86E-08	1.54E-11	2.74E-16	0.00E+00	7.02E-06	2.96E-04	1.38E-05	4.53E-06	2.01E-05	2.99E-05	7.32E-06
652	22	24/03/95	7.32E-19	2.37E-20	2.15E-21	6.03E-09	2.84E-06	1.27E-07	1.51E-10	5.96E-15	4.35E-06	1.65E-06	3.01E-04	1.37E-05	4.94E-06	2.01E-05	4.27E-05	7.74E-06
653	22	07/04/95	8.17E-19	2.00E-20	1.38E-21	7.44E-09	7.89E-06	4.63E-07	7.29E-10	3.79E-14	2.27E-06	3.01E-07	3.27E-04	1.51E-05	5.57E-06	1.75E-05	4.26E-05	7.35E-06
654	22	02/05/95	7.83E-19	2.48E-20	2.20E-21	9.07E-09	3.55E-06	7.04E-07	3.71E-09	6.50E-13	2.39E-06	0.00E+00	3.17E-04	1.66E-05	5.58E-06	1.50E-05	3.84E-05	1.01E-05
655	22	02/06/95	1.96E-19	3.10E-20	1.41E-20	4.74E-09	9.84E-19	3.54E-33	3.46E-49	1.14E-66	4.00E-06	4.33E-06	6.75E-04	2.17E-05	8.25E-06	2.24E-05	3.38E-05	1.65E-05
656	22	17/08/95	2.02E-06	7.67E-09	8.17E-11	3.20E-11	2.11E-07	3.04E-07	1.17E-08	1.49E-11	1.88E-06	4.92E-06	3.01E-04	1.83E-05	4.83E-06	4.26E-05	3.84E-05	6.64E-09
657	22	19/09/95	7.37E-19	1.47E-20	8.19E-22	4.69E-09	2.35E-06	6.64E-07	4.99E-09	1.24E-12	5.92E-07	5.51E-06	2.51E-04	1.31E-05	4.86E-06	3.52E-05	1.28E-05	2.88E-06
658	22	10/10/95	9.26E-19	5.45E-21	9.05E-23	7.99E-09	1.08E-06	8.80E-07	1.95E-08	1.44E-11	6.54E-06	3.07E-06	4.09E-04	4.22E-05	1.88E-05	3.25E-05	6.38E-05	1.13E-06
659	22	21/02/96	9.35E-19	1.91E-20	1.11E-21	8.24E-08	8.54E-06	9.70E-07	2.97E-09	3.05E-13	0.00E+00	0.00E+00	5.38E-04	3.76E-05	1.44E-05	3.74E-05	3.81E-05	2.11E-05
660	22	03/04/96	9.22E-19	1.68E-20	8.65E-22	2.93E-08	3.62E-06	8.31E-08	5.16E-11	1.07E-15	0.00E+00	6.86E-06	4.88E-04	3.12E-05	1.22E-05	3.74E-05	7.64E-05	1.23E-05
661	22	30/05/96	9.54E-19	2.04E-20	1.26E-21	2.06E-07	1.52E-06	2.72E-09	1.34E-13	2.25E-19	2.48E-06	3.46E-06	9.75E-04	6.22E-05	1.98E-05	5.19E-05	5.88E-05	4.40E-05
662	22	08/07/96	8.65E-19	2.49E-20	2.05E-21	4.82E-08	1.17E-05	1.16E-06	3.13E-09	2.81E-13	1.79E-06	4.48E-08	5.46E-04	3.82E-05	1.31E-05	3.74E-05	4.66E-05	1.61E-05
663	22	14/11/96	8.65E-19	2.22E-20	1.62E-21	3.60E-08	7.16E-06	1.71E-06	1.10E-08	2.33E-12	8.97E-07	7.10E-08	4.45E-04	2.59E-05	8.19E-06	3.25E-05	3.40E-05	1.25E-05
664	22	05/12/96	8.86E-19	1.89E-20	1.14E-21	3.26E-08	5.67E-06	1.79E-06	1.52E-08	4.31E-12	3.79E-05	1.76E-08	4.29E-04	2.84E-05	8.21E-06	2.25E-05	4.25E-05	1.05E-05
665	22	24/12/96	9.35E-19	1.10E-20	3.63E-22	2.58E-08	3.95E-06	1.74E-06	2.06E-08	8.03E-12	1.39E-06	3.11E-06	3.32E-04	1.96E-05	6.93E-06	2.25E-05	3.84E-05	5.81E-06
666	22	28/02/97	9.63E-19	1.39E-20	5.72E-22	1.28E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.16E-06	6.18E-08	4.99E-04	3.43E-05	1.23E-05	2.99E-05	3.82E-05	2.18E-05
667	23	01/02/94	1.11E-05	1.68E-07	7.18E-09	3.11E-09	6.86E-06	3.90E-06	5.95E-08	3.02E-11	8.71E-06	7.70E-06	4.20E-04	3.39E-05	9.38E-06	1.75E-05	5.95E-05	1.97E-06
668	23	09/02/94	3.26E-06	6.06E-08	3.17E-09	7.10E-09	7.52E-06	9.73E-07	3.37E-09	3.86E-13	6.02E-06	9.28E-06	3.25E-04	2.55E-05	7.43E-06	8.62E-06	3.96E-06	7.42E-06
669	23	03/03/94	9.47E-06	2.32E-07	1.66E-08	5.83E-08	1.81E-06	8.36E-09	1.07E-12	4.67E-18	2.28E-04	2.42E-05	1.14E-03	1.72E-04	5.29E-05	1.23E-05	5.87E-05	1.26E-05
670	23	19/04/94	9.32E-19	2.57E-20	2.03E-21	4.51E-08	3.64E-06	1.62E-08	1.98E-12	8.16E-18	5.99E-06	7.62E-06	8.08E-04	4.60E-05	1.35E-05	2.23E-05	4.21E-05	4.30E-05
671	23	26/05/94	9.09E-19	3.97E-20	5.09E-21	9.28E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.04E-06	0.00E+00	1.40E-03	7.72E-05	2.10E-05	5.15E-05	4.34E-05	9.22E-05
672	23	21/07/94	8.86E-19	3.78E-20	4.67E-21	1.43E-08	9.23E-06	8.31E-08	2.06E-11	1.75E-16	0.00E+00	6.91E-06	1.04E-03	4.74E-05	1.09E-05	6.91E-05	2.52E-05	5.44E-05
673	23	01/08/94	7.94E-19	4.36E-20	6.89E-21	1.09E-08	1.15E-05	2.89E-07	1.98E-10	4.57E-15	0.00E+00	0.00E+00	7.62E-04	3.49E-05	7.75E-06	5.95E-05	1.27E-05	3.81E-05
674	23	13/08/94	8.18E-19	4.30E-20	6.49E-21	1.78E-08	5.86E-06	5.61E-08	1.47E-11	1.30E-16	0.00E+00	8.63E-06	8.21E-04	3.50E-05	7.86E-06	6.19E-05	2.11E-05	4.20E-05



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	N°	Date	Pluviométrie (mm) ou volume (ml)	pH 20 °C	ANC μéquiv/L	Al total mg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	Fe mg/l	F mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Mn mg/l	Na mg/l	NO3 mg/l	PO4 mg/l	Si mg/l	SO4 mg/l	C org. mg/l	Al total moles/l	Al monomérique moles/l	Al 8-OH-O moles/l	Ca moles/l	Cl moles/l	C min moles/l	Fe moles/l
675	23	20/08/94	500	3.81	-42	1.650	1.27	0.79	0.054	0.12	1.70	0.19	1.71	0.40	15.56	0.00	1.42	2.35	9.9	6.12E-05	6.12E-05	4.64E-05	3.17E-05	2.23E-05	1.30E-04	9.67E-07
676	23	09/09/94	1565	3.72	-50	0.958	1.02	1.64	0.085	0.23	1.80	0.16	1.25	0.68	6.29	0.00	1.87	5.04	11.3	3.55E-05	3.55E-05	2.03E-05	2.54E-05	4.62E-05	1.30E-04	1.52E-06
677	23	16/09/94	1400	3.90	-40	0.947	0.82	1.23	0.143	0.11	0.90	0.14	0.93	0.52	2.52	0.00	2.00	5.49	13.9	3.51E-05	3.32E-05	1.77E-05	2.05E-05	3.47E-05	1.30E-04	2.56E-06
678	23	29/09/94	450	3.77	-31	0.808	0.80	0.96	0.090	0.09	1.00	0.12	0.81	0.50	3.06	0.00	1.26	4.47	11.0	2.99E-05	2.86E-05	1.45E-05	2.00E-05	2.71E-05	1.30E-04	1.61E-06
679	23	31/10/94	340	4.28	-93	0.614	1.54	3.67	0.028	0.15	1.60	0.29	1.08	1.00	5.10	1.37	1.82	4.95	12.4	2.28E-05	2.18E-05	6.69E-06	3.84E-05	1.03E-04	1.30E-04	5.01E-07
680	23	13/12/94	1050	3.94	-56	1.078	1.20	1.99	0.061	0.02	1.00	0.19	0.82	0.80	2.19	0.00	2.27	7.39	13.6	4.00E-05	4.00E-05	2.35E-05	2.99E-05	5.61E-05	1.30E-04	1.09E-06
681	23	01/01/95	200	4.00	-52	1.003	1.53	2.33	0.029	0.10	2.70	0.27	0.81	0.90	4.83	0.00	2.24	8.03	11.5	3.72E-05	3.72E-05	2.46E-05	3.82E-05	6.57E-05	1.30E-04	5.19E-07
682	23	17/01/95	325	4.01	-54	1.168	1.37	1.62	0.035	0.13	1.30	0.28	0.82	0.70	4.72	0.00	1.70	6.99	12.7	4.33E-05	4.33E-05	2.71E-05	3.42E-05	4.57E-05	1.30E-04	6.27E-07
683	23	02/02/95	2750	4.09	-31	1.088	1.00	1.74	0.077	0.03	0.70	0.16	0.74	0.90	3.17	0.00	0.91	5.21	12.0	4.03E-05	3.84E-05	2.61E-05	2.49E-05	4.91E-05	1.30E-04	1.38E-06
684	23	27/02/95	2000	3.99	-63	0.943	0.90	2.80	0.092	0.15	0.50	0.14	0.64	0.70	3.38	0.00	0.79	3.32	11.3	3.50E-05	3.50E-05	1.84E-05	2.23E-05	7.90E-05	1.30E-04	1.65E-06
685	23	24/03/95	1800	3.97	-24	0.954	0.90	1.88	0.091	0.06	0.60	0.14	0.62	1.00	4.30	0.00	0.68	3.32	9.7	3.53E-05	2.69E-05	1.84E-05	2.25E-05	5.30E-05	1.30E-04	1.63E-06
686	23	07/04/95	1100	4.09	3	0.879	0.77	1.56	0.113	0.16	0.50	0.13	0.55	0.90	3.67	0.00	0.61	3.26	2.0	3.26E-05	2.14E-05	1.34E-05	1.92E-05	4.40E-05	1.30E-04	2.02E-06
687	23	02/05/95	1100	3.95	-58	0.957	1.11	1.66	0.066	0.10	0.60	0.18	0.76	1.10	8.03	0.00	0.75	3.27	10.2	3.55E-05	3.20E-05	2.65E-05	2.77E-05	4.68E-05	1.30E-04	1.18E-06
688	23	02/06/95	2170	3.54	-78	1.000	1.17	1.20	0.089	0.01	0.70	0.19	0.89	0.80	8.14	0.00	0.95	4.54	12.7	3.71E-05	3.20E-05	2.41E-05	2.92E-05	3.38E-05	1.30E-04	1.59E-06
689	23	28/06/95	470	3.90	-85	0.857	0.86	0.91	0.050	0.57	0.50	0.14	0.64	0.60	4.33	0.00	0.91	4.33	12.0	3.18E-05	2.47E-05	1.71E-05	2.14E-05	2.57E-05	1.30E-04	8.95E-07
690	23	18/07/95	920	3.86	-432	0.717	0.82	1.82	0.062	0.59	0.90	0.14	0.96	0.00	0.89	0.96	0.80	3.63	96.6	2.66E-05	2.14E-05	1.30E-05	2.04E-05	5.13E-05	1.57E-04	1.11E-06
691	23	17/08/95	1030	4.54	-105	0.402	0.62	3.12	0.040	0.08	0.80	0.10	0.76	0.50	0.63	0.76	0.73	3.71	13.3	1.49E-05	1.49E-05	5.51E-06	1.56E-05	8.80E-05	1.57E-04	7.16E-07
692	23	19/09/95	810	4.16	-50	0.599	0.74	0.64	0.106	0.09	0.60	0.14	0.49	0.40	1.05	0.00	1.68	4.42	15.0	2.22E-05	1.97E-05	8.93E-06	1.83E-05	1.80E-05	1.57E-04	1.90E-06
693	23	10/10/95	1600	4.80	-63	0.645	0.83	0.97	0.157	0.10	0.90	0.18	0.45	0.60	1.15	0.48	1.63	4.66	19.4	2.39E-05	1.21E-05	4.53E-06	2.07E-05	2.74E-05	1.57E-04	2.81E-06
694	23	05/12/95	600	4.19	-63	0.763	1.31	1.74	0.042	0.20	0.70	0.27	0.73	0.90	4.48	0.00	2.37	5.79	9.5	2.83E-05	2.83E-05	1.87E-05	3.27E-05	4.91E-05	1.30E-04	7.52E-07
695	23	21/02/96	985	4.08	121	2.316	2.32	1.16	0.045	0.29	0.50	0.43	8.00	1.00	21.57	0.00	2.07	6.11	7.2	8.58E-05	8.58E-05	7.34E-05	5.79E-05	3.27E-05	5.00E-05	8.06E-07
696	23	03/04/96	500	4.09	-121	2.068	2.27	1.77	0.027	0.02	0.60	0.42	1.40	1.30	19.41	0.00	1.74	7.65	6.0	7.66E-05	7.53E-05	6.64E-05	5.66E-05	4.99E-05	5.00E-05	4.83E-07
697	23	30/05/96	1985	3.99	-312	2.140	2.41	2.20	0.077	0.04	0.70	0.35	1.68	0.90	32.58	0.00	1.67	5.44	9.3	7.93E-05	7.93E-05	6.29E-05	6.01E-05	6.20E-05	5.00E-05	1.38E-06
698	23	08/07/96	1320	4.12	-66	0.991	1.11	0.78	0.070	0.27	0.40	0.19	1.02	0.60	7.74	0.00	1.74	4.24	10.0	3.67E-05	3.43E-05	2.29E-05	2.77E-05	2.20E-05	5.00E-05	1.25E-06
699	23	31/07/96	180	4.68	8	0.320	1.08	1.74	0.060	0.31	0.40	0.17	0.65	4.50	3.77	0.00	1.53	7.34	8.8	1.18E-05	7.13E-06	4.52E-06	2.69E-05	4.91E-05	5.00E-05	1.07E-06
700	23	15/08/96	405	4.00	-63	0.705	0.91	1.25	0.061	0.20	0.50	0.17	0.91	0.90	4.12	0.43	1.69	4.67	11.4	2.61E-05	2.61E-05	1.81E-05	2.66E-05	3.53E-05	5.00E-05	1.09E-06
701	23	16/09/96	180	4.39	-53	0.410	0.76	0.53	0.042	0.03	0.50	0.15	0.65	0.50	3.01	0.00	1.52	4.02	10.7	1.52E-05	1.52E-05	1.31E-05	1.88E-05	1.49E-05	5.00E-05	7.52E-07
702	23	14/11/96	4840	4.11	-65	0.797	0.79	1.59	0.070	0.21	0.40	0.16	0.74	0.70	1.25	0.00	1.85	4.86	16.3	2.95E-05	2.95E-05	1.80E-05	1.97E-05	4.48E-05	5.00E-05	1.25E-06
703	23	05/12/96	1850	4.10	-59	0.558	0.47	0.20	0.040	0.17	0.20	0.09	0.43	0.40	1.93	0.00	0.57	3.65	11.7	2.07E-05	1.87E-05	1.20E-05	1.16E-05	5.64E-06	5.00E-05	7.16E-07
704	23	24/12/96	2060	4.33	-46	0.760	0.63	0.32	0.061	0.00	0.20	0.12	0.53	0.60	3.27	0.00	0.98	3.73	13.8	2.82E-05	2.69E-05	1.73E-05	1.57E-05	9.02E-06	5.00E-05	1.09E-06
705	23	28/02/97	990	4.31	-108	1.460	1.12	1.34	0.046	0.16	0.50	0.24	1.04	1.00	13.00	0.00	1.66	4.21	10.8	5.41E-05	4.14E-05	4.14E-05	2.79E-05	3.78E-05	5.00E-05	8.24E-07
706	20+21	09/02/94	406	4.19	-129	1.350	0.94	2.03	0.014	0.09	0.59	0.24	1.28	0.11	9.76	0.33	0.96	5.67	5.4	5.00E-05	4.54E-05	2.57E-05	2.35E-05	5.73E-05	1.23E-04	2.51E-07
707	20+21	05/10/94	300	3.95	-46	0.955	1.31	1.26	0.083	0.06	0.80	0.20	0.89	0.64	5.85	0.00	2.51	5.49	10.6	3.54E-05	3.54E-05	1.87E-05	3.27E-05	3.55E-05	1.30E-04	1.49E-06
708	20+21	01/01/95	190	3.88	-84	1.128	1.19	1.40	0.029	0.15	0.50	0.20	0.78	1.00	8.24	0.00	2.88	5.65	7.9	4.18E-05	4.18E-05	2.99E-05	2.97E-05	3.95E-05	1.30E-04	5.19E-07
709	20+21	31/07/96	180	4.26	-37	0.627	1.92	1.30	0.052	0.31	0.60	0.29	0.93	3.20	10.05	0.00	2.26	7.09	8.1	2.32E-05	2.32E-05	1.72E-05	4.79E-05	3.67E-05	5.00E-05	9.31E-07
710	20+21+22	03/03/94	300	4.06	820	6.230	6.67	1.84	0.341	0.00	0.90	1.41	6.11	1.30	14.56	0.43	6.44	4.35	6.7	2.31E-04	5.02E-05	2.57E-05	1.66E-04	5.19E-05	1.23E-04	6.11E-06
711	20+21+23	24/11/94	250	3.75	-119	1.186	1.13	3.51	0.041	0.14	0.90	0.20	1.01	0.60	7.20	0.00	2.95	5.31	9.6	4.40E-05	4.40E-05	3.06E-05	2.82E-05	9.90E-05	1.30E-04	7.34E-07
712	20+21+23	05/05/96	220	3.96	-185	2.898	3.25	2.39	0.044	0.10	1.40	0.60	2.14	1.30	33.27	0.00	1.81	7.07	7.5	1.07E-04	1.07E-04	9.29E-05	8.11E-05	6.74E-05	5.00E-05	7.88E-07
713	20+22	15/07/94	92	3.89	-428	1.965	2.80	5.42	0.160	0.25	3.80	0.51	2.61	1.50	34.96	0.00	1.37	8.10	28.0	7.28E-05	7.08E-05	4.43E-05	6.99E-05	1.53E-04	1.30E-04	2.86E-06
714	20+22	05/12/95	600	4.14	-56	0.736	1.22	1.36	0.062	0.08	1.00	0.22	0.77	0.90	5.10	0.00	3.18	5.75	9.7	2.73E-05	2.47E-05	1.61E-05	3.04E-05	3.84E-05	1.30E-04	1.11E-06
715	20+23	02/05/94	100	3.96	-155	2.470	2.45	2.24	0.082	0.03	1.10	0.39	1.62	1.20	27.05	0.00	1.40	4.86	7.9	9.15E-05	8.53E-05	7.22E-05	6.11E-05	6.32E-05	1.42E-04	1.47E-06
716	21+22	19/04/94	225	4.13	-180	1.770	1.49	2.16	0.049	0.02	1.30	0.38	1.35	1.10	24.70	0.27	1.45	3.40	4.4	6.56E-05	6.48E-05	5.57E-05	3.72E-05	6.09E-05	1.33E-04	8.77E-07
717	21+22	26/05/94	300	3.89	-369	3.440	3.54	3.60	0.062	0.06	2.40															



	1	2	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	
1	N°	Date	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	Fulvate	Al 3+	Al(OH) 2+	Al(OH)2 +	Al(OH)3*	Al(OH)4 -	AlCl 2+	AlCl2 +	AlCl3*	AlSO4 +	Al(SO4)2 -	
2			moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l
675	23	20/08/94	6.11E-06	4.35E-05	7.73E-06	3.11E-05	1.74E-05	2.51E-04	0.00E+00	5.06E-05	2.45E-05	3.56E-05	4.25E-05	1.76E-06	5.46E-08	4.84E-11	3.40E-13	7.95E-08	1.57E-11	3.30E-17	1.96E-06	1.19E-09	
676	23	09/09/94	1.19E-05	4.60E-05	6.66E-06	2.28E-05	2.96E-05	1.01E-04	0.00E+00	6.66E-05	5.25E-05	4.08E-05	1.77E-05	6.01E-07	1.53E-08	1.10E-11	6.25E-14	6.99E-08	2.90E-11	1.27E-16	1.90E-06	2.61E-09	
677	23	16/09/94	6.00E-06	2.30E-05	5.63E-06	1.69E-05	2.26E-05	4.06E-05	0.00E+00	7.12E-05	5.71E-05	5.03E-05	1.50E-05	7.80E-07	3.01E-08	3.29E-11	2.81E-13	4.52E-08	1.43E-11	4.72E-17	1.83E-06	2.79E-09	
678	23	29/09/94	4.47E-06	2.56E-05	4.98E-06	1.47E-05	2.17E-05	4.93E-05	0.00E+00	4.49E-05	4.65E-05	3.97E-05	1.27E-05	4.90E-07	1.41E-08	1.14E-11	7.20E-14	3.00E-08	7.41E-12	1.92E-17	1.27E-06	1.59E-09	
679	23	31/10/94	7.68E-06	4.09E-05	1.17E-05	1.97E-05	4.35E-05	8.22E-05	1.44E-05	6.48E-05	5.15E-05	4.49E-05	5.08E-07	6.32E-08	5.85E-09	1.53E-11	3.14E-13	4.53E-09	4.25E-12	4.17E-17	5.73E-08	8.15E-11	
680	23	13/12/94	8.95E-07	2.56E-05	7.94E-06	1.50E-05	3.48E-05	3.53E-05	0.00E+00	8.08E-05	7.69E-05	4.92E-05	1.92E-05	1.09E-06	4.58E-08	5.47E-11	5.16E-13	9.23E-08	4.67E-11	2.49E-16	3.04E-06	6.16E-09	
681	23	01/01/95	5.05E-06	6.91E-05	1.13E-05	1.48E-05	3.91E-05	7.79E-05	0.00E+00	7.97E-05	8.36E-05	4.14E-05	1.98E-05	1.27E-06	6.15E-08	8.44E-11	9.16E-13	1.10E-07	6.48E-11	4.02E-16	3.33E-06	7.27E-09	
682	23	17/01/95	6.84E-06	3.32E-05	1.16E-05	1.49E-05	3.04E-05	7.61E-05	0.00E+00	6.05E-05	7.28E-05	4.58E-05	2.22E-05	1.47E-06	7.26E-08	1.02E-10	1.13E-12	8.64E-08	3.55E-11	1.54E-16	3.28E-06	6.23E-09	
683	23	02/02/95	1.74E-06	1.79E-05	6.74E-06	1.34E-05	3.91E-05	5.11E-05	0.00E+00	3.24E-05	5.42E-05	4.32E-05	2.17E-05	1.74E-06	1.04E-07	1.76E-10	2.33E-12	9.21E-08	4.10E-11	1.92E-16	2.46E-06	3.53E-09	
684	23	27/02/95	7.79E-06	1.28E-05	5.67E-06	1.18E-05	3.04E-05	5.45E-05	0.00E+00	2.80E-05	3.46E-05	4.07E-05	1.60E-05	1.03E-06	4.89E-08	6.57E-11	6.90E-13	1.10E-07	7.97E-11	6.01E-16	1.19E-06	1.11E-09	
685	23	24/03/95	3.37E-06	1.53E-05	5.88E-06	1.13E-05	4.35E-05	6.93E-05	0.00E+00	2.44E-05	3.46E-05	3.51E-05	1.61E-05	9.86E-07	4.49E-08	5.75E-11	5.77E-13	7.44E-08	3.60E-11	1.82E-16	1.20E-06	1.11E-09	
686	23	07/04/95	8.42E-06	1.28E-05	5.22E-06	1.01E-05	3.91E-05	5.92E-05	0.00E+00	2.15E-05	3.39E-05	7.08E-06	1.15E-05	9.36E-07	5.64E-08	9.52E-11	1.25E-12	4.47E-08	1.81E-11	7.64E-17	8.70E-07	8.08E-10	
687	23	02/05/95	5.00E-06	1.53E-05	7.52E-06	1.38E-05	4.78E-05	1.29E-04	0.00E+00	2.66E-05	3.40E-05	3.67E-05	2.33E-05	1.35E-06	5.86E-08	7.17E-11	6.90E-13	9.41E-08	3.98E-11	1.77E-16	1.64E-06	1.46E-09	
688	23	02/06/95	6.32E-07	1.79E-05	7.98E-06	1.62E-05	3.48E-05	1.31E-04	0.00E+00	3.38E-05	4.73E-05	4.57E-05	2.15E-05	4.81E-07	8.05E-09	3.83E-12	1.44E-14	6.17E-08	1.87E-11	5.97E-17	2.02E-06	2.46E-09	
689	23	28/06/95	3.00E-05	1.28E-05	5.72E-06	1.17E-05	2.61E-05	6.98E-05	0.00E+00	3.25E-05	4.51E-05	4.35E-05	1.48E-05	7.72E-07	2.99E-08	3.26E-11	2.78E-13	3.32E-08	7.78E-12	1.91E-17	1.44E-06	1.74E-09	
690	23	18/07/95	3.08E-05	2.30E-05	5.59E-06	1.74E-05	0.00E+00	1.44E-05	1.01E-05	2.83E-05	3.78E-05	3.49E-04	6.39E-06	3.00E-07	1.05E-08	1.05E-11	8.22E-14	2.81E-08	1.30E-11	6.36E-17	5.12E-07	5.24E-10	
691	23	17/08/95	4.00E-06	2.05E-05	4.24E-06	1.38E-05	2.17E-05	1.02E-05	8.00E-06	2.61E-05	3.86E-05	4.81E-05	3.47E-07	8.02E-08	1.36E-08	6.50E-11	2.40E-12	2.73E-09	2.23E-12	1.89E-17	3.14E-08	3.45E-11	
692	23	19/09/95	4.79E-06	1.53E-05	5.84E-06	8.83E-06	1.74E-05	1.69E-05	0.00E+00	5.98E-05	4.60E-05	5.42E-05	7.37E-06	7.08E-07	5.02E-08	9.95E-11	1.54E-12	1.18E-08	1.96E-12	3.39E-18	7.72E-07	9.87E-10	
693	23	10/10/95	5.00E-06	2.30E-05	7.52E-06	8.19E-06	2.61E-05	1.85E-05	5.05E-06	5.80E-05	4.85E-05	7.00E-05	2.64E-07	1.11E-07	3.43E-08	2.97E-10	2.00E-11	6.45E-10	1.64E-13	4.32E-19	2.99E-08	4.12E-11	
694	23	05/12/95	1.03E-05	1.79E-05	1.10E-05	1.33E-05	3.91E-05	7.22E-05	0.00E+00	8.44E-05	6.03E-05	3.42E-05	1.50E-05	1.52E-06	1.14E-07	2.43E-10	4.06E-12	6.38E-08	2.84E-11	1.33E-16	1.92E-06	3.10E-09	
695	23	21/02/96	1.52E-05	1.28E-05	1.78E-05	1.46E-04	4.35E-05	3.48E-04	0.00E+00	7.37E-05	6.36E-05	2.61E-05	6.18E-05	4.59E-06	2.61E-07	4.31E-10	5.74E-12	1.60E-07	4.49E-11	1.35E-16	6.44E-06	9.44E-09	
696	23	03/04/96	1.16E-06	1.53E-05	1.74E-05	2.55E-05	5.65E-05	3.13E-04	0.00E+00	6.19E-05	7.96E-05	2.17E-05	5.41E-05	4.18E-06	2.46E-07	4.15E-10	5.60E-12	2.20E-07	9.58E-11	4.45E-16	7.59E-06	1.45E-08	
697	23	30/05/96	2.16E-06	1.79E-05	1.46E-05	3.06E-05	3.91E-05	5.25E-04	0.00E+00	5.95E-05	5.66E-05	3.35E-05	5.38E-05	3.29E-06	1.53E-07	2.05E-10	2.21E-12	2.70E-07	1.45E-10	8.34E-16	5.27E-06	7.11E-09	
698	23	08/07/96	1.42E-05	1.02E-05	7.85E-06	1.86E-05	2.61E-05	1.25E-04	0.00E+00	6.19E-05	4.41E-05	3.63E-05	1.93E-05	1.66E-06	1.06E-07	1.92E-10	2.73E-12	3.67E-08	7.32E-12	1.53E-17	1.79E-06	2.09E-09	
699	23	31/07/96	1.65E-05	1.02E-05	7.03E-06	1.19E-05	1.96E-04	6.80E-05	0.00E+00	5.45E-05	7.64E-05	3.16E-05	2.89E-06	9.03E-07	2.10E-07	1.38E-09	7.12E-11	1.23E-08	5.47E-12	2.56E-17	4.81E-07	1.01E-09	
700	23	15/08/96	1.03E-05	1.28E-05	7.03E-06	1.65E-05	3.91E-05	6.64E-05	4.53E-06	6.02E-05	4.86E-05	4.12E-05	1.22E-05	7.98E-07	3.89E-08	5.34E-11	5.74E-13	3.74E-08	1.21E-11	4.06E-17	1.28E-06	1.68E-09	
701	23	16/09/96	1.58E-06	1.28E-05	6.13E-06	1.18E-05	2.17E-05	4.85E-05	0.00E+00	5.41E-05	4.18E-05	3.85E-05	1.02E-05	1.67E-06	2.00E-07	6.75E-10	1.77E-11	1.35E-08	1.86E-12	2.66E-18	9.66E-07	1.12E-09	
702	23	14/11/96	1.10E-05	1.02E-05	6.37E-06	1.35E-05	3.04E-05	2.02E-05	0.00E+00	6.59E-05	5.06E-05	5.88E-05	1.49E-05	1.26E-06	7.94E-08	1.40E-10	1.94E-12	5.85E-08	2.40E-11	1.03E-16	1.64E-06	2.24E-09	
703	23	05/12/96	8.68E-06	5.12E-06	3.82E-06	7.74E-06	1.74E-05	3.11E-05	0.00E+00	2.02E-05	3.80E-05	4.21E-05	1.02E-05	8.56E-07	5.29E-08	9.14E-11	1.23E-12	5.14E-09	2.69E-13	1.46E-19	8.87E-07	9.35E-10	
704	23	24/12/96	0.00E+00	5.12E-06	4.85E-06	9.67E-06	2.61E-05	5.27E-05	0.00E+00	3.49E-05	3.88E-05	4.99E-05	1.39E-05	1.97E-06	2.06E-07	6.05E-10	1.38E-11	1.11E-08	9.24E-13	8.00E-19	1.21E-06	1.28E-09	
705	23	28/02/97	8.37E-06	1.28E-05	9.75E-06	1.89E-05	4.35E-05	2.10E-04	0.00E+00	5.91E-05	4.38E-05	3.90E-05	3.35E-05	4.41E-06	4.35E-07	1.22E-09	2.70E-11	1.07E-07	3.63E-11	1.30E-16	2.90E-06	3.25E-09	
706	20+21	09/02/94	4.47E-06	1.50E-05	9.75E-06	2.33E-05	4.78E-06	1.57E-04	3.49E-06	3.40E-05	5.90E-05	1.94E-05	1.81E-05	1.82E-06	1.37E-07	2.91E-10	4.87E-12	8.92E-08	4.62E-11	2.52E-16	2.23E-06	3.50E-09	
707	20+21	05/10/94	3.00E-06	2.05E-05	8.10E-06	1.62E-05	2.78E-05	9.43E-05	0.00E+00	8.94E-05	5.71E-05	3.84E-05	1.58E-05	9.16E-07	3.96E-08	4.85E-11	4.66E-13	4.83E-08	1.55E-11	5.24E-17	1.89E-06	2.87E-09	
708	20+21	01/01/95	7.74E-06	1.28E-05	8.35E-06	1.41E-05	4.35E-05	1.33E-04	0.00E+00	1.03E-04	5.88E-05	2.86E-05	2.55E-05	1.25E-06	4.58E-08	4.77E-11	3.92E-13	8.57E-08	3.04E-11	1.14E-16	3.02E-06	4.60E-09	
709	20+21	31/07/96	1.64E-05	1.53E-05	1.19E-05	1.69E-05	1.39E-04	1.62E-04	0.00E+00	8.05E-05	7.38E-05	2.93E-05	1.34E-05	1.57E-06	1.38E-07	3.44E-10	6.80E-12	4.16E-08	1.37E-11	4.74E-17	2.01E-06	3.94E-09	
710	20+21+22	03/03/94	0.00E+00	2.30E-05	5.80E-05	1.11E-04	5.65E-05	2.35E-04	4.53E-06	2.29E-04	4.53E-05	2.43E-05	1.86E-05	1.32E-06	7.19E-08	1.13E-10	1.44E-12	7.71E-08	3.45E-11	1.66E-16	1.47E-06	1.63E-09	
711	20+21+23	24/11/94	7.47E-06	2.30E-05	8.22E-06	1.84E-05	2.61E-05	1.16E-04	0.00E+00	1.05E-04	5.53E-05	3.48E-05	2.65E-05	9.59E-07	2.60E-08	2.01E-11	1.23E-13	2.22E-07	1.97E-10	1.84E-15	2.90E-06	4.12E-09	
712	20+21+23	05/05/96	5.32E-06	3.58E-05	2.45E-05	3.90E-05	5.65E-05	5.37E-04	0.00E+00	6.44E-05	7.36E-05	2.71E-05	7.86E-05	4.41E-06	1.90E-07	2.38E-10	2.41E-12	4.17E-07	2.39E-10	1.48E-15	9.16E-06	1.52E-08	
713	20+22	15/07/94	1.31E-05	9.72E-05	2.10E-05	4.75E-05	6.52E-05	5.64E-04	0.00E+00	4.88E-05	8.43E-05	1.01E-04	3.67E-05	1.76E-06	6.44E-08	6.86E-11	5.91E-13	4.45E-07	5.83E-10	8.24E-15	5.28E-06	1.07E-08	
714	20+22	05/12/95	4.11E-06	2.56E-05	9.00E-06	1.40E-05	3.91E-05	8.22E-05	0.00E+00	1.13E-04	5.99E-05	3.49E-05	1.31E-05	1.18E-06	7.91E-08	1.50E-10	2.23E-12	4.35E-					



	1	2	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
1	N°	Date	AlPO4°	AlHPO4 +	AlH2PO4 2+	AlOSi(OH)3 2+	AlF 2+	AlF2 +	AlF3 °	AlF4 -	Polymères	Al organique	Force ionique	Activités (moles/l)				
2			[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[moles d'Al/l]	[moles d'Al/l]	moles/l	{Ca 2+}	{Mg 2+}	{K +}	{Na +}	{Al 3+}
675	23	20/08/94	8.30E-19	3.79E-20	4.94E-21	3.26E-08	5.92E-06	7.69E-08	2.70E-11	3.19E-16	0.00E+00	8.77E-06	5.72E-04	2.85E-05	6.95E-06	4.23E-05	1.69E-05	3.34E-05
676	23	09/09/94	6.20E-19	3.48E-20	5.56E-21	1.47E-08	9.86E-06	8.88E-07	2.15E-09	1.75E-13	0.00E+00	4.45E-06	4.85E-04	2.31E-05	6.04E-06	4.49E-05	2.89E-05	1.42E-05
677	23	16/09/94	7.60E-19	2.82E-20	2.96E-21	2.03E-08	5.09E-06	3.60E-07	6.81E-10	4.28E-14	1.88E-06	1.01E-05	3.75E-04	1.88E-05	5.16E-06	2.25E-05	2.21E-05	1.23E-05
678	23	29/09/94	6.07E-19	3.04E-20	4.29E-21	8.06E-09	4.04E-06	1.61E-07	1.72E-10	6.10E-15	1.37E-06	9.86E-06	3.69E-04	1.83E-05	4.56E-06	2.50E-05	2.13E-05	1.05E-05
679	23	31/10/94	5.95E-06	9.22E-08	4.03E-09	1.50E-09	3.53E-06	1.53E-06	1.78E-08	6.88E-12	9.19E-07	1.01E-05	4.43E-04	3.50E-05	1.07E-05	4.00E-05	4.25E-05	4.11E-07
680	23	13/12/94	8.21E-19	2.78E-20	2.67E-21	3.21E-08	8.66E-07	5.86E-09	1.07E-12	6.49E-18	0.00E+00	1.56E-05	4.44E-04	2.72E-05	7.22E-06	2.50E-05	3.40E-05	1.55E-05
681	23	01/01/95	8.57E-19	2.53E-20	2.12E-21	3.72E-08	4.55E-06	1.97E-07	2.30E-10	8.98E-15	0.00E+00	7.81E-06	5.21E-04	3.45E-05	1.02E-05	6.73E-05	3.82E-05	1.57E-05
682	23	17/01/95	8.73E-19	2.52E-20	2.06E-21	3.25E-08	6.06E-06	3.21E-07	4.59E-10	2.19E-14	0.00E+00	9.76E-06	4.66E-04	3.10E-05	1.05E-05	3.24E-05	2.97E-05	1.79E-05
683	23	02/02/95	9.05E-19	2.17E-20	1.47E-21	2.07E-08	1.65E-06	2.48E-08	9.97E-12	1.33E-16	1.94E-06	1.06E-05	3.65E-04	2.29E-05	6.19E-06	1.75E-05	3.83E-05	1.79E-05
684	23	27/02/95	8.33E-19	2.51E-20	2.14E-21	1.05E-08	6.56E-06	5.13E-07	1.08E-09	7.46E-14	0.00E+00	9.50E-06	3.40E-04	2.06E-05	5.22E-06	1.25E-05	2.98E-05	1.33E-05
685	23	24/03/95	8.21E-19	2.60E-20	2.31E-21	8.82E-09	3.04E-06	1.15E-07	1.16E-10	3.90E-15	8.49E-06	5.29E-06	3.34E-04	2.07E-05	5.42E-06	1.50E-05	4.26E-05	1.34E-05
686	23	07/04/95	8.54E-19	2.05E-20	1.38E-21	7.38E-09	7.46E-06	4.09E-07	5.98E-10	2.89E-14	1.12E-05	7.75E-08	3.07E-04	1.78E-05	4.83E-06	1.25E-05	3.84E-05	9.63E-06
687	23	02/05/95	8.49E-19	2.81E-20	2.63E-21	1.32E-08	4.49E-06	1.99E-07	2.37E-10	9.38E-15	3.48E-06	8.49E-07	3.91E-04	2.53E-05	6.89E-06	1.50E-05	4.68E-05	1.91E-05
688	23	02/06/95	4.63E-19	3.94E-20	9.53E-21	5.96E-09	6.17E-07	2.09E-09	1.92E-13	5.87E-19	5.06E-06	7.30E-06	5.18E-04	2.64E-05	7.21E-06	1.75E-05	3.39E-05	1.71E-05
689	23	28/06/95	7.59E-19	2.82E-20	2.95E-21	9.20E-09	3.99E-06	3.46E-06	8.00E-08	6.15E-11	7.12E-06	3.68E-08	3.47E-04	1.97E-05	5.26E-06	1.25E-05	2.56E-05	1.23E-05
690	23	18/07/95	5.51E-06	2.24E-07	2.59E-08	3.12E-09	2.46E-06	5.60E-06	3.43E-07	7.02E-10	5.18E-06	0.00E+00	4.71E-04	1.85E-05	5.08E-06	2.25E-05	9.76E-19	5.14E-06
691	23	17/08/95	4.99E-06	4.25E-08	1.01E-09	7.67E-10	1.40E-06	7.07E-07	9.54E-09	4.24E-12	0.00E+00	7.29E-06	2.66E-04	1.45E-05	3.93E-06	2.01E-05	2.14E-05	2.94E-07
692	23	19/09/95	8.44E-19	1.72E-20	9.85E-22	1.55E-08	3.08E-06	6.11E-07	3.23E-09	5.62E-13	2.49E-06	7.10E-06	2.64E-04	1.70E-05	5.43E-06	1.51E-05	1.71E-05	6.25E-06
693	23	10/10/95	4.07E-06	1.90E-08	2.49E-10	2.36E-09	7.50E-07	8.33E-07	2.47E-08	2.41E-11	1.18E-05	6.00E-06	2.82E-04	1.92E-05	6.98E-06	2.26E-05	2.56E-05	2.23E-07
694	23	05/12/95	9.16E-19	1.74E-20	9.39E-22	4.69E-08	7.18E-06	1.33E-06	6.59E-09	1.09E-12	0.00E+00	1.09E-06	3.95E-04	2.99E-05	1.00E-05	1.75E-05	3.83E-05	1.23E-05
695	23	21/02/96	9.45E-19	2.32E-20	1.65E-21	1.24E-07	1.22E-05	2.45E-07	1.37E-10	2.58E-15	0.00E+00	0.00E+00	1.04E-03	5.02E-05	1.54E-05	1.23E-05	4.20E-05	4.49E-05
696	23	03/04/96	9.44E-19	2.26E-20	1.56E-21	9.47E-08	1.15E-06	1.64E-09	6.35E-14	8.35E-20	1.31E-06	7.74E-06	8.17E-04	4.99E-05	1.54E-05	1.49E-05	5.48E-05	4.07E-05
697	23	30/05/96	9.19E-19	2.78E-20	2.42E-21	7.16E-08	2.14E-06	6.20E-09	4.93E-13	1.33E-18	0.00E+00	1.43E-05	8.91E-04	5.27E-05	1.28E-05	1.73E-05	3.79E-05	4.00E-05
698	23	08/07/96	9.08E-19	2.03E-20	1.28E-21	3.76E-08	9.52E-06	1.81E-06	9.29E-09	1.57E-12	2.42E-06	1.58E-08	3.75E-04	2.54E-05	7.20E-06	1.00E-05	2.55E-05	1.59E-05
699	23	31/07/96	9.57E-19	5.90E-21	1.03E-22	1.80E-08	6.44E-07	1.83E-06	1.40E-07	3.56E-10	4.71E-06	0.00E+00	4.40E-04	2.45E-05	6.40E-06	9.99E-06	1.91E-04	2.34E-06
700	23	15/08/96	3.64E-06	1.07E-07	8.93E-09	1.76E-08	6.65E-06	1.41E-06	7.98E-09	1.50E-12	0.00E+00	0.00E+00	3.59E-04	2.08E-05	6.46E-06	1.25E-05	3.83E-05	1.01E-05
701	23	16/09/96	9.50E-19	1.14E-20	3.84E-22	3.30E-08	1.12E-06	1.14E-07	3.08E-10	2.74E-14	0.00E+00	8.85E-07	2.50E-04	1.75E-05	5.70E-06	1.26E-05	2.14E-05	8.69E-06
702	23	14/11/96	8.87E-19	2.03E-20	1.31E-21	3.05E-08	6.58E-06	1.85E-06	1.38E-08	3.43E-12	0.00E+00	3.12E-06	3.20E-04	1.82E-05	5.88E-06	1.00E-05	2.98E-05	1.24E-05
703	23	05/12/96	8.48E-19	1.99E-20	1.30E-21	6.34E-09	5.01E-06	1.46E-06	1.14E-08	2.91E-12	2.00E-06	1.96E-07	2.27E-04	1.09E-05	3.57E-06	5.03E-06	1.71E-05	8.75E-06
704	23	24/12/96	9.49E-19	1.31E-20	5.06E-22	2.52E-08	9.16E-19	3.30E-32	3.16E-47	9.94E-64	1.27E-06	9.58E-06	2.37E-04	1.46E-05	4.53E-06	5.03E-06	2.56E-05	1.19E-05
705	23	28/02/97	9.67E-19	1.40E-20	5.74E-22	9.53E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	1.28E-05	0.00E+00	4.25E-04	2.55E-05	8.89E-06	1.25E-05	4.25E-05	2.72E-05
706	20+21	09/02/94	3.23E-06	6.16E-08	3.32E-09	2.27E-08	4.32E-06	5.94E-08	2.20E-11	2.72E-16	4.59E-06	1.54E-05	4.70E-04	2.13E-05	8.85E-06	1.47E-05	4.67E-06	1.46E-05
707	20+21	05/10/94	8.03E-19	2.66E-20	2.49E-21	3.00E-08	2.82E-06	6.16E-08	3.61E-11	7.06E-16	0.00E+00	1.38E-05	4.26E-04	2.98E-05	7.39E-06	2.00E-05	2.72E-05	1.28E-05
708	20+21	01/01/95	8.17E-19	3.18E-20	3.51E-21	4.70E-08	7.19E-06	2.31E-07	2.00E-10	5.79E-15	0.00E+00	4.43E-06	4.80E-04	2.69E-05	7.57E-06	1.25E-05	4.24E-05	2.05E-05
709	20+21	31/07/96	9.28E-19	1.51E-20	6.94E-22	4.62E-08	4.11E-06	1.86E-06	2.28E-08	9.30E-12	0.00E+00	2.72E-08	5.39E-04	4.32E-05	1.08E-05	1.50E-05	1.36E-04	1.06E-05
710	20+21+22	03/03/94	3.95E-06	1.02E-07	7.57E-09	1.10E-07	9.93E-19	2.48E-33	1.72E-49	4.05E-67	1.81E-04	2.45E-05	1.09E-03	1.44E-04	5.02E-05	2.22E-05	5.45E-05	1.34E-05
711	20+21+23	24/11/94	7.23E-19	3.80E-20	5.66E-21	3.68E-08	6.97E-06	2.08E-07	1.68E-10	4.55E-15	0.00E+00	6.13E-06	5.24E-04	2.55E-05	7.43E-06	2.24E-05	2.54E-05	2.11E-05
712	20+21+23	05/05/96	9.26E-19	3.00E-20	2.82E-21	1.04E-07	5.26E-06	2.34E-08	2.87E-12	1.21E-17	0.00E+00	9.23E-06	1.14E-03	6.99E-05	2.11E-05	3.45E-05	5.45E-05	5.63E-05
713	20+22	15/07/94	8.51E-19	3.24E-20	3.58E-21	3.14E-08	1.06E-05	1.11E-06	3.19E-09	3.14E-13	2.04E-06	1.48E-05	1.04E-03	6.07E-05	1.82E-05	9.38E-05	6.30E-05	2.67E-05
714	20+22	05/12/95	8.88E-19	1.90E-20	1.15E-21	4.87E-08	3.42E-06	2.52E-07	4.96E-10	3.25E-14	2.60E-06	4.86E-06	3.88E-04	2.79E-05	8.24E-06	2.50E-05	3.83E-05	1.07E-05
715	20+23	02/05/94	9.18E-19	2.97E-20	2.77E-21	6.51E-08	1.31E-06	1.85E-09	7.19E-14	9.48E-20	6.22E-06	1.18E-05	8.96E-04	5.36E-05	1.40E-05	2.72E-05	5.05E-05	4.66E-05
716	21+22	19/04/94	2.69E-06	5.88E-08	3.68E-09	7.36E-08	1.04E-06	1.47E-09	5.65E-14	7.33E-20	8.52E-07	8.03E-06	7.22E-04	3.30E-05	1.39E-05	3.23E-05	4.64E-05	3.48E-05
717	21+22	26/05/94	9.20E-19	3.50E-20	3.91E-21	1.68E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.54E-07	0.00E+00	1.46E-03	7.48E-05	2.67E-05	5.89E-05	5.55E-05	7.78E-05
718	21+22	28/06/95	7.95E-19	2.96E-20	3.10E-21	1.76E-08	1.85E-06	1.24E-06	2.21E-08	1.31E-11	3.75E-06	3.92E-08	4.00E-04	2.69E-05	6.32E-06	5.00E-06	2.98E-05	1.57E-05
719	21+22	18/07/95	2.48E-06	8.99E-08	9.25E-09	3.40E-10	1.97E-06	2.59E-06	9.19E-08	1.09E-10	1.21E-06	4.85E-06	5.02E-04	1.43E-05	3.94E-06	6.23E-05	1.27E-05	8.78E-07
720	21+22	16/09/96	9.11E-19	1.66E-20	8.48E-22	2.18E-08	9.21E-07	4.09E-08	4.86E-11	1.91E-15	0.00E+00	1.09E-07	3.10E-04	2.51E-05	6.04E-06	2.26E-05	3.84E-05	1.03E-05
721	21+23	06/11/95	6.31E-07	3.81E-11	6.53E-15	5.92E-13	4.07E-11	6.44E-11	2.76E-12	3.98E-15	1.00E-05	2.25E-06	6.24E-04	2.97E-05	1.18E-05	3.73E-05	8.04E-05	4.92E-13
722	22+23	05/10/94	6.78E-19	2.64E-20	2.89E-21	9.91E-09	2.91E-06	1.19E-07	1.30E-10	4.69E-15	0.00E+00	1.17E-05	3.56E-04	1.99E-05	5.48E-06	2.00E-05	2.30E-05	8.59E-06



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
1	N°	Date	Pluviométrie (mm) ou volume (ml)	pH 20 °C	ANC µéquival/L	Al total mg/l	Ca mg/l	Cl mg/l	Fe mg/l	F mg/l	K mg/l	Mg mg/l	Mn mg/l	Na mg/l	NO3 mg/l	PO4 mg/l	Si mg/l	SO4 mg/l	C org. mg/l	Al total moles/l	Al monomérique moles/l	Al 8-OH-Q moles/l	Ca moles/l	Cl moles/l	C min moles/l	Fe moles/l		
723	22+23	05/01/96	1320	4.10	-75	1.277	1.46	1.27	0.014	0.20	0.80	0.29	0.90	0.70	6.91	0.00	2.12	7.63	8.4	4.73E-05	4.73E-05	3.55E-05	3.64E-05	3.58E-05	1.57E-04	2.51E-07		
724	22+23	12/06/96	940	4.41	-43	0.812	1.05	0.40	0.095	0.02	0.40	0.17	0.89	2.40	5.59	0.40	1.13	5.20	10.2	3.01E-05	2.97E-05	7.88E-06	2.62E-05	1.13E-05	5.00E-05	1.70E-06		
725	22+23	25/06/96	650	3.33	-206	1.079	1.45	1.04	0.039	0.24	0.70	0.28	1.24	0.60	12.94	0.00	1.27	4.98	8.4	4.00E-05	4.00E-05	3.35E-05	3.62E-05	2.93E-05	5.00E-05	6.98E-07		
726																												
727	Eaux gravitaires A3																											
728	24	01/02/94		4.35	-73	0.826	1.88	2.62	0.024	0.33	0.50	0.29	0.67	1.50	0.00	2.47	1.90	8.65	14.2	3.06E-05	2.54E-05	1.27E-05	4.69E-05	7.38E-05	1.34E-04	4.30E-07		
729	24	09/02/94	125	4.68	-159	1.140	1.69	2.21	0.000	0.09	0.31	0.24	0.92	0.13	1.69	1.69	2.23	9.49	20.1	4.23E-05	3.33E-05	1.84E-05	4.22E-05	6.23E-05	1.23E-04	0.00E+00		
730	24	21/07/94	305	4.23	-90	0.810	1.21	1.18	0.015	0.27	0.40	0.19	0.64	0.70	5.55	0.00	0.35	6.50	4.6	3.00E-05	3.00E-05	2.48E-05	3.02E-05	3.33E-05	1.30E-04	2.69E-07		
731	24	09/09/94	220	3.91	-62	0.436	0.85	0.91	0.009	0.21	0.60	0.13	0.48	0.61	2.41	0.00	1.02	5.55	4.2	1.62E-05	1.62E-05	1.28E-05	2.11E-05	2.57E-05	1.30E-04	1.61E-07		
732	24	17/01/95	1300	4.30	-35	0.802	0.50	1.68	0.000	0.00	0.14	0.10	0.25	0.80	1.04	0.00	1.05	4.68	3.3	2.97E-05	2.97E-05	2.54E-05	1.24E-05	4.74E-05	1.30E-04	0.00E+00		
733	24	02/02/95	250	4.25	-38	0.688	0.71	1.65	0.004	0.00	0.20	0.12	0.22	1.10	0.45	0.00	1.65	5.93	4.5	2.55E-05	2.55E-05	2.35E-05	1.78E-05	4.65E-05	1.30E-04	7.16E-08		
734	24	27/02/95	80	4.47	-25	0.493	0.78	1.91	0.009	0.06	0.20	0.11	0.21	1.50	0.46	0.20	1.49	5.03	5.7	1.83E-05	1.83E-05	1.05E-05	1.94E-05	5.39E-05	1.30E-04	1.61E-07		
735	24	07/04/95	80	4.12	-51	0.492	0.89	1.87	0.009	0.23	0.20	0.12	0.19	1.10	1.06	0.00	1.32	5.37	2.4	1.82E-05	1.82E-05	1.20E-05	2.21E-05	5.27E-05	1.30E-04	1.61E-07		
736	24	10/10/95	200	4.35	-96	0.538	0.54	1.07	0.021	0.11	0.30	0.09	0.35	0.50	1.44	0.00	1.05	4.72	13.3	1.99E-05	1.99E-05	1.36E-05	1.35E-05	3.02E-05	1.57E-04	3.76E-07		
737	24	21/02/96	230	4.46	-52	0.904	0.88	2.06	0.008	0.05	0.20	0.13	0.27	0.80	3.20	0.00	1.72	4.70	3.9	3.35E-05	3.35E-05	2.77E-05	2.21E-05	5.81E-05	5.00E-05	1.43E-07		
738	24	30/05/96	150	4.41	-360	0.531	1.06	1.26	0.014	0.02	0.30	0.11	0.26	1.20	19.71	0.00	1.62	7.80	3.8	1.97E-05	1.89E-05	1.83E-05	2.64E-05	3.54E-05	5.00E-05	2.51E-07		
739	24	14/11/96	1600	4.36	-63	0.742	0.41	2.77	0.000	0.20	0.10	0.10	0.30	0.80	0.00	0.00	1.81	4.59	2.8	2.75E-05	2.75E-05	2.44E-05	1.01E-05	7.81E-05	5.00E-05	0.00E+00		
740	24	05/12/96	420	4.30	-55	0.689	0.43	1.09	0.000	0.11	0.20	0.10	0.23	0.70	0.49	0.00	1.55	6.02	2.8	2.55E-05	2.40E-05	2.16E-05	1.08E-05	3.07E-05	5.00E-05	0.00E+00		
741	24	28/02/97	230	4.60	-56	0.435	0.54	1.08	0.000	0.21	0.40	0.11	0.20	0.80	0.81	0.00	1.69	5.47	2.2	1.61E-05	1.61E-05	1.61E-05	1.34E-05	3.05E-05	5.00E-05	0.00E+00		
742	25	17/01/95	1000	4.35	-30	0.895	0.50	1.80	0.002	0.00	0.22	0.13	0.39	0.80	1.73	0.00	0.62	4.41	3.9	3.32E-05	3.32E-05	2.46E-05	1.25E-05	5.08E-05	1.30E-04	3.58E-08		
743	25	30/05/96	155	4.42	-26	0.860	0.95	2.92	0.008	0.26	0.30	0.17	0.31	1.40	1.46	0.00	1.94	4.70	4.0	3.19E-05	3.13E-05	2.69E-05	2.37E-05	8.22E-05	5.00E-05	1.43E-07		
744	25	14/11/96	310	4.37	-73	0.935	0.78	3.96	0.000	0.24	0.20	0.18	0.35	1.40	1.03	0.00	1.97	5.90	2.9	3.47E-05	3.47E-05	2.77E-05	1.95E-05	1.12E-04	5.00E-05	0.00E+00		
745	25	05/12/96	770	4.32	-67	0.956	0.46	1.16	0.000	0.21	0.10	0.12	0.28	0.70	1.54	0.00	0.97	6.40	3.1	3.54E-05	3.28E-05	3.23E-05	1.14E-05	3.27E-05	5.00E-05	0.00E+00		
746	25	28/02/97	220	4.66	-51	0.783	0.71	1.28	0.000	0.19	0.20	0.19	0.24	0.90	1.06	0.00	1.78	6.73	2.7	2.90E-05	2.45E-05	2.45E-05	1.76E-05	3.61E-05	5.00E-05	0.00E+00		
747	26	17/01/95	80	4.35	-52	1.043	0.98	2.47	0.000	0.02	0.50	0.21	0.35	0.80	3.88	0.00	1.49	5.20	3.9	3.87E-05	3.31E-05	3.31E-05	2.46E-05	6.97E-05	1.30E-04	0.00E+00		
748	26	05/12/96	95	4.44	-18	0.532	1.30	1.17	0.000	0.16	0.30	0.19	0.30	1.10	1.08	0.00	1.38	5.89	5.8	1.97E-05	1.92E-05	1.43E-05	3.24E-05	3.30E-05	5.00E-05	0.00E+00		
749	27	17/01/95	350	5.53	-110	0.341	1.67	4.09	0.000	0.04	1.50	0.21	0.34	1.80	3.31	0.00	1.14	8.11	6.1	1.26E-05	1.26E-05	7.63E-07	4.17E-05	1.15E-04	1.30E-04	0.00E+00		
750	27	05/12/96	860	4.64	-52	0.317	1.61	2.78	0.000	0.26	1.20	0.28	0.82	0.90	2.54	0.00	0.58	6.32	3.6	1.17E-05	1.17E-05	9.57E-06	4.02E-05	7.84E-05	5.00E-05	0.00E+00		
751	24+25	16/09/94	275	4.12	-64	0.677	0.75	1.03	0.009	0.15	0.30	0.12	0.46	0.60	2.65	0.53	1.32	5.58	3.1	2.51E-05	2.51E-05	2.07E-05	1.86E-05	2.90E-05	1.30E-04	1.61E-07		
752	24+25	13/12/94	250	4.29	-44	1.168	1.19	3.15	0.033	0.12	0.50	0.19	0.77	0.50	2.12	0.00	3.01	5.94	4.2	4.33E-05	4.33E-05	2.95E-05	2.97E-05	8.88E-05	1.30E-04	5.91E-07		
753	24+25	18/07/95	225	3.97	1	0.355	0.58	0.87	0.000	0.01	0.30	0.10	0.51	0.50	0.00	0.00	0.89	1.85	11.2	1.32E-05	1.32E-05	9.20E-06	1.44E-05	2.45E-05	1.57E-04	0.00E+00		
754	24+25	05/12/95	80	3.38	-59	0.348	1.20	2.41	0.003	0.10	0.50	0.22	0.43	1.70	1.48	0.57	2.09	6.75	6.0	1.29E-05	1.29E-05	7.24E-06	2.99E-05	6.80E-05	1.30E-04	5.37E-08		
755	24+25	05/01/96	120	4.49	-99	1.236	1.06	0.75	0.000	0.05	0.50	0.17	0.32	1.10	9.94	0.00	1.63	6.19	4.9	4.58E-05	2.82E-05	1.45E-05	2.64E-05	2.12E-05	1.57E-04	0.00E+00		
756	24+25	03/04/96	225	4.47	-39	0.850	0.78	2.25	0.000	0.13	0.20	0.16	0.30	1.40	1.97	0.00	1.53	5.81	2.7	3.15E-05	3.15E-05	2.77E-05	1.94E-05	6.35E-05	5.00E-05	0.00E+00		
757	24+25	24/12/96	30	3.40	-27	0.699	0.83	1.49	0.000	0.04	0.60	0.16	0.25	1.80	1.22	0.35	1.81	7.41	3.7	2.59E-05	2.54E-05	1.90E-05	2.07E-05	4.20E-05	5.00E-05	0.00E+00		
758	24+25+26	24/03/95	450	4.29	-44	0.734	0.71	1.82	0.000	0.06	0.30	0.12	0.23	1.10	1.33	0.00	1.53	5.88	2.3	2.72E-05	2.56E-05	2.23E-05	1.76E-05	5.13E-05	1.30E-04	0.00E+00		
759	24+25+26	02/05/95	240	4.27	-40	0.635	0.83	1.86	0.000	0.09	0.20	0.13	0.21	1.10	1.52	0.00	1.48	5.27	2.5	2.35E-05	2.35E-05	2.19E-05	2.08E-05	5.25E-05	1.30E-04	0.00E+00		
760	24+25+27	29/09/94	120	5.71	-117	0.385	0.73	3.46	0.020	0.12	2.20	0.13	0.33	1.60	3.57	0.79	1.32	6.39	6.9	1.43E-05	7.71E-06	2.01E-07	1.82E-05	9.76E-05	1.30E-04	3.58E-07		
761	24+26	19/09/95	650	4.36	-48	0.565	0.59	0.77	0.000	0.02	0.20	0.11	0.45	0.70	1.16	0.00	1.82	5.70	5.0	2.10E-05	2.10E-05	1.65E-05	1.48E-05	2.17E-05	1.57E-04	0.00E+00		
762	25+26	21/02/96	130	4.47	-58	0.963	1.34	3.06	0.010	0.43	0.30	0.23	0.36	1.40	3.36	0.00	1.69	5.56	4.9	3.57E-05	3.57E-05	2.76E-05	3.34E-05	8.63E-05	5.00E-			



	1	2	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	
1	N°	Date	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	Fulvate	Al 3+	Al(OH) 2+	Al(OH)2 +	Al(OH)3*	Al(OH)4 -	AlCl 2+	AlCl2 +	AlCl3*	AlSO4 +	Al(SO4)2 -	
2			moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]
723	22+23	05/01/96	1.04E-05	2.05E-05	1.18E-05	1.64E-05	3.04E-05	1.11E-04	0.00E+00	7.55E-05	7.94E-05	3.05E-05	2.84E-05	2.31E-06	1.40E-07	2.42E-10	3.31E-12	8.63E-08	2.76E-11	9.35E-17	4.48E-06	9.16E-09	
724	22+23	12/06/96	1.16E-06	1.02E-05	7.15E-06	1.61E-05	1.04E-04	9.01E-05	4.21E-06	4.02E-05	5.41E-05	3.70E-05	3.14E-06	5.31E-07	6.65E-08	2.35E-10	6.48E-12	3.11E-09	3.21E-13	3.47E-19	3.79E-07	5.70E-10	
725	22+23	25/06/96	1.25E-05	1.79E-05	1.14E-05	2.26E-05	2.61E-05	2.09E-04	0.00E+00	4.52E-05	5.18E-05	3.04E-05	3.01E-05	4.08E-07	4.18E-09	1.23E-12	2.87E-15	7.30E-08	1.88E-11	5.17E-17	2.87E-06	3.66E-09	
726																							
727	Eaux gravitaires A3																						
728	24	01/02/94	1.72E-05	1.28E-05	1.19E-05	1.22E-05	6.52E-05	0.00E+00	2.60E-05	6.75E-05	9.00E-05	5.11E-05	4.45E-07	6.48E-08	7.04E-09	2.17E-11	5.23E-13	2.83E-09	1.90E-12	1.33E-17	8.70E-08	2.16E-10	
729	24	09/02/94	4.89E-06	7.90E-06	9.87E-06	1.67E-05	5.52E-06	2.72E-05	1.77E-05	7.94E-05	9.88E-05	7.27E-05	1.30E-06	4.07E-07	9.45E-08	6.21E-10	3.21E-11	7.02E-09	3.97E-12	2.36E-17	2.81E-07	7.67E-10	
730	24	21/07/94	1.39E-05	1.02E-05	7.77E-06	1.16E-05	3.04E-05	8.95E-05	0.00E+00	1.24E-05	6.77E-05	1.65E-05	1.96E-05	2.17E-06	1.79E-07	4.17E-10	7.65E-12	5.64E-08	1.70E-11	5.39E-17	2.79E-06	5.01E-09	
731	24	09/09/94	1.09E-05	1.53E-05	5.14E-06	8.66E-06	2.65E-05	3.89E-05	0.00E+00	3.63E-05	5.78E-05	1.52E-05	1.08E-05	5.78E-07	2.29E-08	2.56E-11	2.23E-13	2.43E-08	5.73E-12	1.41E-17	1.37E-06	2.16E-09	
732	24	17/01/95	0.00E+00	3.58E-06	4.15E-06	4.50E-06	3.48E-05	1.68E-05	0.00E+00	3.74E-05	4.87E-05	1.20E-05	2.02E-05	2.67E-06	2.60E-07	7.14E-10	1.52E-11	8.46E-08	3.69E-11	1.68E-16	2.16E-06	2.85E-09	
733	24	02/02/95	0.00E+00	5.12E-06	4.85E-06	3.93E-06	3.48E-05	7.26E-06	0.00E+00	5.87E-05	6.17E-05	1.61E-05	1.85E-05	2.17E-06	1.89E-07	4.61E-10	8.79E-12	7.56E-08	3.22E-11	1.43E-16	2.49E-06	4.15E-09	
734	24	27/02/95	2.95E-06	5.12E-06	4.69E-06	3.88E-06	6.52E-05	7.42E-06	2.11E-06	5.30E-05	5.24E-05	2.07E-05	6.26E-06	1.23E-06	1.78E-07	7.21E-10	2.27E-11	3.00E-08	1.50E-11	7.76E-17	7.54E-07	1.10E-09	
735	24	07/04/95	1.21E-05	5.12E-06	4.73E-06	3.46E-06	4.78E-05	1.71E-05	0.00E+00	4.70E-05	5.59E-05	8.74E-06	9.80E-06	8.55E-07	5.51E-08	9.98E-11	1.41E-12	4.56E-08	2.21E-11	1.12E-16	1.23E-06	1.89E-09	
736	24	10/10/95	5.53E-06	7.67E-06	3.74E-06	6.35E-06	2.17E-05	2.32E-05	0.00E+00	3.74E-05	4.91E-05	4.81E-05	1.06E-05	1.58E-06	1.73E-07	5.33E-10	1.27E-11	2.85E-08	7.96E-12	2.31E-17	1.18E-06	1.61E-09	
737	24	21/02/96	2.47E-06	5.12E-06	5.51E-06	4.93E-06	3.48E-05	5.16E-05	0.00E+00	6.12E-05	4.89E-05	1.39E-05	2.08E-05	3.95E-06	5.56E-07	2.20E-09	6.82E-11	1.06E-07	5.63E-11	3.13E-16	2.20E-06	2.88E-09	
738	24	30/05/96	1.16E-06	7.67E-06	4.61E-06	4.64E-06	5.22E-05	3.18E-04	0.00E+00	5.77E-05	8.12E-05	1.35E-05	1.34E-05	2.23E-06	2.78E-07	9.80E-10	2.73E-11	4.06E-08	1.29E-11	4.34E-17	2.27E-06	4.95E-09	
739	24	14/11/96	1.05E-05	2.56E-06	4.11E-06	5.42E-06	3.48E-05	0.00E+00	0.00E+00	6.44E-05	4.78E-05	1.02E-05	1.90E-05	2.88E-06	3.23E-07	1.02E-09	2.49E-11	1.31E-07	9.43E-11	7.06E-16	2.01E-06	2.60E-09	
740	24	05/12/96	5.84E-06	5.12E-06	3.91E-06	4.26E-06	3.04E-05	7.90E-06	0.00E+00	5.52E-05	6.27E-05	1.00E-05	1.67E-05	2.21E-06	2.16E-07	5.93E-10	1.27E-11	4.55E-08	1.29E-11	3.79E-17	2.33E-06	3.99E-09	
741	24	28/02/97	1.09E-05	1.02E-05	4.44E-06	3.69E-06	3.48E-05	1.31E-05	0.00E+00	6.02E-05	5.69E-05	8.08E-06	1.11E-05	2.93E-06	5.72E-07	3.13E-09	1.33E-10	3.01E-08	8.49E-12	2.49E-17	1.44E-06	2.27E-09	
742	25	17/01/95	0.00E+00	5.63E-06	5.35E-06	7.03E-06	3.48E-05	2.79E-05	0.00E+00	2.22E-05	4.59E-05	1.42E-05	1.94E-05	2.87E-06	3.14E-07	9.65E-10	2.31E-11	8.68E-08	4.06E-11	1.97E-16	1.95E-06	2.43E-09	
743	25	30/05/96	1.36E-05	7.67E-06	6.83E-06	5.61E-06	6.09E-05	2.36E-05	0.00E+00	6.91E-05	4.89E-05	1.44E-05	2.05E-05	3.54E-06	4.54E-07	1.64E-09	4.64E-11	1.47E-07	1.10E-10	8.66E-16	2.15E-06	2.81E-09	
744	25	14/11/96	1.28E-05	5.12E-06	7.28E-06	6.41E-06	6.09E-05	1.66E-05	0.00E+00	7.01E-05	6.14E-05	1.06E-05	2.11E-05	3.23E-06	3.69E-07	1.19E-09	3.00E-11	2.05E-07	2.09E-10	2.23E-15	2.74E-06	4.49E-09	
745	25	05/12/96	1.12E-05	2.56E-06	5.10E-06	5.11E-06	3.04E-05	2.48E-05	0.00E+00	3.45E-05	6.66E-05	1.11E-05	2.49E-05	3.42E-06	3.48E-07	1.00E-09	2.24E-11	7.11E-08	2.13E-11	6.64E-17	3.54E-06	6.27E-09	
746	25	28/02/97	9.79E-06	5.12E-06	7.65E-06	4.39E-06	3.91E-05	1.71E-05	0.00E+00	6.34E-05	7.01E-05	9.92E-06	1.60E-05	4.82E-06	1.08E-06	6.75E-09	3.31E-10	5.07E-08	1.68E-11	5.80E-17	2.46E-06	4.69E-09	
747	26	17/01/95	1.16E-06	1.28E-05	6.83E-06	6.30E-06	3.48E-05	6.26E-05	0.00E+00	5.30E-05	5.41E-05	1.39E-05	2.58E-05	3.77E-06	4.11E-07	1.26E-09	3.04E-11	1.56E-07	9.85E-11	6.54E-16	2.92E-06	4.16E-09	
748	26	05/12/96	8.53E-06	7.67E-06	7.81E-06	5.44E-06	4.78E-05	1.74E-05	0.00E+00	4.91E-05	6.13E-05	2.09E-05	1.06E-05	1.93E-06	2.59E-07	9.80E-10	2.90E-11	3.08E-08	9.31E-12	2.94E-17	1.44E-06	2.42E-09	
749	27	17/01/95	2.21E-06	3.84E-05	8.59E-06	6.10E-06	7.83E-05	5.34E-05	0.00E+00	4.06E-05	8.44E-05	2.20E-05	1.05E-07	2.31E-07	3.80E-07	1.77E-08	6.46E-09	1.04E-09	1.08E-12	1.18E-17	1.93E-08	4.51E-11	
750	27	05/12/96	1.35E-05	3.07E-05	1.15E-05	1.50E-05	3.91E-05	4.10E-05	0.00E+00	2.06E-05	6.58E-05	1.29E-05	6.38E-06	1.82E-06	3.87E-07	2.32E-09	1.09E-10	4.35E-08	3.11E-11	2.32E-16	9.17E-07	1.65E-09	
751	24+25	16/09/94	7.74E-06	7.67E-06	5.10E-06	8.34E-06	2.61E-05	4.27E-05	5.58E-06	4.70E-05	5.81E-05	1.11E-05	1.28E-05	1.11E-06	7.18E-08	1.30E-10	1.84E-12	3.27E-08	8.71E-12	2.42E-17	1.64E-06	2.61E-09	
752	24+25	13/12/94	6.11E-06	1.28E-05	7.65E-06	1.41E-05	2.17E-05	3.42E-05	0.00E+00	1.07E-04	6.18E-05	1.52E-05	2.30E-05	2.93E-06	2.77E-07	7.43E-10	1.56E-11	1.77E-07	1.42E-10	1.20E-15	2.97E-06	4.84E-09	
753	24+25	18/07/95	7.37E-07	7.67E-06	4.03E-06	9.26E-06	2.17E-05	0.00E+00	0.00E+00	3.18E-05	1.93E-05	4.06E-05	8.26E-06	5.17E-07	2.37E-08	3.04E-11	3.02E-13	1.82E-08	4.16E-12	9.83E-18	3.71E-07	1.99E-10	
754	24+25	05/12/95	5.16E-06	1.28E-05	9.05E-06	7.90E-06	7.39E-05	2.39E-05	6.00E-06	7.44E-05	7.03E-05	2.15E-05	5.60E-06	8.66E-08	1.00E-09	3.30E-13	8.60E-16	3.24E-08	1.97E-11	1.27E-16	8.02E-07	1.49E-09	
755	24+25	05/01/96	2.47E-06	1.28E-05	6.91E-06	5.90E-06	4.78E-05	1.60E-04	0.00E+00	5.80E-05	6.44E-05	1.75E-05	1.05E-05	2.13E-06	3.20E-07	1.36E-09	4.52E-11	1.94E-08	3.75E-12	7.58E-18	1.47E-06	2.59E-09	
756	24+25	03/04/96	6.58E-06	5.12E-06	6.74E-06	5.46E-06	6.09E-05	3.18E-05	0.00E+00	5.45E-05	6.05E-05	9.64E-06	2.03E-05	3.94E-06	5.67E-07	2.30E-09	7.29E-11	1.13E-07	6.54E-11	3.96E-16	2.64E-06	4.29E-09	
757	24+25	24/12/96	2.26E-06	1.53E-05	6.41E-06	4.61E-06	7.83E-05	1.97E-05	3.69E-06	6.44E-05	7.71E-05	1.35E-05	1.53E-05	2.47E-07	3.00E-09	1.03E-12	2.82E-15	5.45E-08	2.05E-11	8.15E-17	2.36E-06	4.73E-09	
758	24+25+26	24/03/95	3.32E-06	7.67E-06	5.06E-06	4.15E-06	4.78E-05	2.14E-05	0.00E+00	5.45E-05	6.12E-05	8.38E-06	1.74E-05	2.24E-06	2.13E-07	5.70E-10	1.19E-11	7.84E-08	3.69E-11	1.81E-16	2.33E-06	3.85E-09	
759	24+25+26	02/05/95	4.79E-06	5.12E-06	5.35E-06	3.88E-06	4.78E-05	2.45E-05	0.00E+00	5.27E-05	5.49E-05	9.14E-06	1.74E-05	2.13E-06	1.94E-07	4.96E-10	9.91E-12	8.01E-08	3.86E-11	1.94E-16	2.08E-06	3.09E-09	
760	24+25+27	29/09/94	6.26E-06	5.63E-05	5.14E-06	5.99E-06	6.96E-05	5.76E-05	8.32E-06	4.70E-05	6.65E-05	2.51E-05	2.48E-11	8.33E-11	2.08E-10	1.46E-11	8.08E-12	2.11E-13	1.88E-16	1.75E-21	3.69E-12	6.88E-15	
761	24+26	19/09/95	9.4																				



	1	2	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	
1	N°	Date	AIPO4*	AIHPO4 +	AIH2PO4 2+	AIOS(OH)3 2+	AIF 2+	AIF2 +	AIF3 °	AIF4 -	Polymères	Al organique	Force ionique	Activités (moles/l)					
2			[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[moles*Al/l]	[moles d'Al/l]	moles/l	(Ca 2+)	(Mg 2+)	(K +)	(Na +)	(Al 3+)	
723	22+23	05/01/96	9.22E-19	2.16E-20	1.44E-21	6.37E-08	9.38E-06	4.47E-07	5.76E-10	2.47E-14	0.00E+00	2.01E-06	5.02E-04	3.30E-05	1.07E-05	2.00E-05	2.97E-05	2.27E-05	
724	22+23	12/06/96	3.71E-06	4.26E-08	1.38E-09	7.82E-09	1.03E-06	3.11E-08	2.52E-11	6.77E-16	4.08E-07	2.07E-05	3.62E-04	2.41E-05	6.57E-06	1.00E-05	1.02E-04	2.59E-06	
725	22+23	25/06/96	3.05E-19	4.21E-20	1.66E-20	6.77E-09	6.25E-06	2.65E-07	3.06E-10	1.20E-14	0.00E+00	8.30E-09	7.15E-04	3.21E-05	1.01E-05	1.74E-05	2.53E-05	2.31E-05	
726																			
727	Eaux gravitaires A3																		
728	24	01/02/94	1.19E-05	1.57E-07	5.86E-09	1.60E-09	4.11E-06	4.89E-06	1.57E-07	1.67E-10	5.22E-06	3.57E-06	4.72E-04	4.25E-05	1.08E-05	1.25E-05	6.37E-05	3.58E-07	
729	24	09/02/94	1.62E-05	9.98E-08	1.74E-09	1.18E-08	1.69E-06	9.36E-07	1.39E-08	6.92E-12	8.91E-06	1.23E-05	4.55E-04	3.83E-05	8.97E-06	7.72E-06	5.39E-06	1.05E-06	
730	24	21/07/94	9.40E-19	1.63E-20	8.02E-22	9.87E-09	4.65E-06	5.76E-07	1.92E-09	2.13E-13	0.00E+00	0.00E+00	3.94E-04	2.76E-05	7.11E-06	1.00E-05	2.98E-05	1.60E-05	
731	24	09/09/94	7.15E-19	2.60E-20	2.65E-21	7.69E-09	2.82E-06	5.48E-07	2.87E-09	4.95E-13	0.00E+00	0.00E+00	3.30E-04	1.95E-05	4.74E-06	1.50E-05	2.60E-05	8.99E-06	
732	24	17/01/95	9.55E-19	1.41E-20	5.86E-22	3.65E-08	9.92E-19	3.46E-33	3.22E-49	9.90E-67	0.00E+00	4.31E-06	2.88E-04	1.15E-05	3.85E-06	3.51E-06	3.41E-05	1.70E-05	
733	24	02/02/95	9.43E-19	1.56E-20	7.29E-22	4.67E-08	9.87E-19	5.49E-33	8.15E-49	4.00E-66	0.00E+00	2.04E-06	3.06E-04	1.64E-05	4.48E-06	5.01E-06	4.69E-05	1.55E-05	
734	24	27/02/95	2.00E-06	2.00E-08	5.59E-10	2.39E-08	2.31E-06	2.14E-07	5.30E-10	4.33E-14	0.00E+00	5.23E-06	2.63E-04	1.81E-05	4.36E-06	5.02E-06	6.41E-05	5.31E-06	
735	24	07/04/95	8.53E-19	1.91E-20	1.20E-21	1.47E-08	5.32E-06	8.96E-07	4.02E-09	5.97E-13	0.00E+00	9.50E-09	3.05E-04	2.04E-05	4.37E-06	5.01E-06	4.69E-05	8.21E-06	
736	24	10/10/95	9.43E-19	1.24E-20	4.58E-22	2.16E-08	3.09E-06	8.79E-07	6.66E-09	1.66E-12	0.00E+00	2.38E-06	2.42E-04	1.26E-05	3.49E-06	7.54E-06	2.14E-05	9.05E-06	
737	24	21/02/96	9.75E-19	9.98E-21	2.87E-22	8.84E-08	2.40E-06	2.24E-08	5.60E-12	4.62E-17	0.00E+00	3.39E-06	3.28E-04	2.03E-05	5.08E-06	5.01E-06	3.41E-05	1.73E-05	
738	24	30/05/96	9.60E-19	1.10E-20	3.59E-22	4.72E-08	6.44E-07	7.66E-09	2.45E-12	2.62E-17	7.41E-07	0.00E+00	4.88E-04	2.40E-05	4.17E-06	7.48E-06	5.09E-05	1.07E-05	
739	24	14/11/96	9.63E-19	1.24E-20	4.48E-22	6.79E-08	2.85E-06	1.93E-07	3.48E-10	2.08E-14	0.00E+00	3.09E-08	2.69E-04	9.38E-06	3.82E-06	2.51E-06	3.42E-05	1.61E-05	
740	24	05/12/96	9.50E-19	1.40E-20	5.82E-22	4.47E-08	2.28E-06	8.28E-08	8.02E-11	2.56E-15	1.55E-06	5.65E-08	2.74E-04	1.00E-05	3.63E-06	5.02E-06	2.99E-05	1.41E-05	
741	24	28/02/97	9.79E-19	7.26E-21	1.50E-22	6.46E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.37E-04	1.25E-05	4.14E-06	1.01E-05	3.42E-05	9.49E-06	
742	25	17/01/95	9.62E-19	1.27E-20	4.69E-22	2.33E-08	9.92E-19	3.28E-33	2.89E-49	8.40E-67	0.00E+00	8.52E-06	3.01E-04	1.15E-05	4.94E-06	5.52E-06	3.41E-05	1.63E-05	
743	25	30/05/96	9.71E-19	1.09E-20	3.44E-22	8.95E-08	4.00E-06	4.29E-07	1.24E-09	1.18E-13	5.93E-07	0.00E+00	3.28E-04	2.19E-05	6.29E-06	7.52E-06	5.97E-05	1.71E-05	
744	25	14/11/96	9.66E-19	1.22E-20	4.32E-22	8.29E-08	6.56E-06	3.90E-07	6.21E-10	3.28E-14	0.00E+00	0.00E+00	3.80E-04	1.79E-05	6.67E-06	5.00E-06	5.96E-05	1.73E-05	
745	25	05/12/96	9.63E-19	1.36E-20	5.40E-22	4.32E-08	4.58E-07	2.50E-08	3.64E-11	1.75E-15	2.61E-06	0.00E+00	3.13E-04	1.06E-05	4.71E-06	2.51E-06	2.98E-05	2.08E-05	
746	25	28/02/97	9.86E-19	6.37E-21	1.15E-22	1.12E-07	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	4.49E-06	0.00E+00	2.99E-04	1.63E-05	7.08E-06	5.02E-06	3.84E-05	1.34E-05	
747	26	17/01/95	9.67E-19	1.28E-20	4.74E-22	7.31E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.54E-06	0.00E+00	3.75E-04	2.25E-05	7.92E-06	1.25E-05	3.40E-05	2.12E-05	
748	26	05/12/96	9.59E-19	1.03E-20	3.09E-22	3.46E-08	3.91E-06	9.87E-07	6.66E-09	1.48E-12	5.78E-07	0.00E+00	3.09E-04	3.00E-05	7.22E-06	7.52E-06	4.69E-05	8.87E-06	
749	27	17/01/95	9.78E-19	8.51E-22	2.10E-24	3.43E-09	4.11E-07	2.38E-07	3.71E-09	1.93E-12	0.00E+00	1.12E-05	4.48E-04	3.79E-05	7.82E-06	3.75E-05	7.65E-05	8.49E-08	
750	27	05/12/96	9.73E-19	6.58E-21	1.25E-22	1.38E-08	1.11E-06	1.03E-06	2.56E-08	2.11E-11	0.00E+00	5.94E-09	3.87E-04	3.68E-05	1.05E-05	3.00E-05	3.83E-05	5.23E-06	
751	24+25	16/09/94	4.90E-06	1.10E-07	6.90E-09	1.92E-08	4.09E-06	2.83E-07	5.23E-10	3.19E-14	0.00E+00	4.08E-08	3.12E-04	1.72E-05	4.71E-06	7.52E-06	2.56E-05	1.07E-05	
752	24+25	13/12/94	9.57E-19	1.45E-20	6.19E-22	1.15E-07	5.87E-06	1.00E-07	4.59E-11	7.00E-16	0.00E+00	7.85E-06	4.30E-04	2.71E-05	6.97E-06	1.25E-05	2.12E-05	1.87E-05	
753	24+25	18/07/95	7.26E-19	2.29E-20	2.02E-21	6.02E-09	6.41E-07	1.63E-08	1.10E-11	2.43E-16	0.00E+00	3.30E-06	2.01E-04	1.35E-05	3.78E-06	7.55E-06	2.14E-05	7.15E-06	
754	24+25	05/12/95	6.16E-07	7.57E-08	2.65E-08	2.36E-09	4.37E-06	2.81E-07	4.90E-10	2.86E-14	0.00E+00	9.84E-07	5.64E-04	2.69E-05	8.14E-06	1.25E-05	7.20E-05	4.41E-06	
755	24+25	05/01/96	9.66E-19	9.22E-21	2.48E-22	4.52E-08	2.35E-06	3.98E-08	1.80E-11	2.72E-16	1.76E-05	1.13E-05	3.88E-04	2.42E-05	6.32E-06	1.25E-05	4.68E-05	8.61E-06	
756	24+25	03/04/96	9.76E-19	9.76E-21	2.75E-22	7.86E-08	3.67E-06	1.00E-07	7.36E-11	1.79E-15	0.00E+00	1.01E-07	3.52E-04	1.79E-05	6.20E-06	5.01E-06	5.96E-05	1.68E-05	
757	24+25	24/12/96	9.18E-07	1.08E-07	3.60E-08	5.83E-09	2.19E-06	1.85E-08	4.24E-12	3.25E-17	4.90E-07	4.16E-06	5.61E-04	1.87E-05	5.77E-06	1.49E-05	7.62E-05	1.21E-05	
758	24+25+26	24/03/95	9.49E-19	1.44E-20	6.10E-22	4.46E-08	3.19E-06	4.60E-08	1.77E-11	2.26E-16	1.63E-06	1.32E-08	3.27E-04	1.62E-05	4.66E-06	7.52E-06	4.69E-05	1.45E-05	
759	24+25+26	02/05/95	9.45E-19	1.50E-20	6.66E-22	4.12E-08	1.62E-06	4.32E-08	3.08E-11	7.27E-16	0.00E+00	0.00E+00	3.14E-04	1.92E-05	4.94E-06	5.01E-06	4.69E-05	1.45E-05	
760	24+25+27	29/09/94	2.01E-07	1.15E-10	1.87E-13	1.43E-12	4.79E-08	1.26E-07	8.94E-09	2.10E-11	6.55E-06	7.33E-06	3.95E-04	1.66E-05	4.70E-06	5.50E-05	6.81E-05	2.03E-11	
761	24+26	19/09/95	9.51E-19	1.23E-20	4.42E-22	4.55E-08	9.03E-07	9.60E-09	2.72E-12	2.53E-17	0.00E+00	3.55E-06	2.62E-04	1.38E-05	4.01E-06	5.02E-06	2.99E-05	1.07E-05	
762	25+26	21/02/96	9.76E-19	9.76E-21	2.78E-22	8.64E-08	6.36E-06	1.66E-06	1.17E-08	2.73E-12	0.00E+00	4.25E-08	3.85E-04	3.06E-05	8.51E-06	7.50E-06	5.96E-05	1.67E-05	
763	25+27	02/02/95	5.71E-06	5.20E-08	1.33E-09	2.63E-08	8.80E-19	4.55E-32	6.30E-47	2.88E-63	0.00E+00	2.49E-06	3.25E-04	2.08E-05	6.14E-06	1.75E-05	5.97E-05	4.77E-06	
764	26+27	14/11/96	1.35E-06	5.01E-10	5.29E-13	3.02E-12	8.73E-09	1.80E-08	9.99E-10	1.86E-12	5.74E-07	2.21E-05	5.35E-04	2.32E-05	9.46E-06	1.02E-04	1.74E-04	1.38E-11	
765																			
766	Eaux gravitaires (B)																		
767	29	17/01/95	9.78E-19	8.14E-21	1.91E-22	4.20E-08	9.89E-19	4.84E-33	6.37E-49	2.78E-66	0.00E+00	3.20E-06	4.03E-04	4.26E-05	5.52E-06	6.00E-06	3.83E-05	1.23E-05	
768	33	01/02/94	1.08E-06	2.77E-09	2.03E-11	4.84E-11	1.58E-07	1.63E-06	4.57E-07	4.29E-09	1.88E-06	3.75E-07	5.91E-04	9.85E-05	8.23E-06	9.95E-06	7.20E-05	2.59E-09	
769	33	09/02/94	9.71E-19	6.72E-21	1.32E-22	1.38E-36							5.40E-04						
770	33+34	17/01/95	9.79E-19	6.47E-21	1.20E-22	3.58E-08	9.73E-19	1.12E-32	3.45E-48	3.54E-65	0.00E+00	2.90E-06	3.90E-04	4.00E-05	5.83E-06	1.00E-05	4.68E-05	7.00E-06	



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	N°	Date	Pluviométrie (mm)	pH	ANC	Al total	Ca	Cl	Fe	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	C org.	Al total	Al monomérique	Al 8-OH-O	Ca	Cl	C min	Fe
2			ou volume (ml)	20 °C	µéquival/L	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l
771	33+34	05/12/96	120	4.62	-31	0.375	1.77	1.24	0.000	0.17	0.50	0.16	0.25	1.50	2.57	0.00	1.05	7.83	2.3	1.39E-05	1.39E-05	1.16E-05	4.42E-05	3.50E-05	5.00E-05	0.00E+00
772																										
773	Eaux de rétention A1																									
774	EC3	02/05/94		3.87	-205	0.528	1.54	10.27	0.106	0.45	1.90	0.36	1.46	3.70	5.50	0.00	1.78	4.39	29.0	1.96E-05	1.96E-05	3.53E-06	3.84E-05	2.90E-04	1.42E-04	1.90E-06
775	EC3	02/06/94		3.85	-320	1.390	3.03	14.58	0.072	0.53	2.30	0.74	2.66	2.40	15.24	0.00	1.70	4.10	30.2	5.15E-05	5.15E-05	3.13E-05	7.56E-05	4.11E-04	1.42E-04	1.29E-06
776	EC3	11/10/94		4.15	-181	0.898	2.67	12.04	0.049	0.67	1.80	0.53	1.71	3.00	3.83	0.00	2.62	3.14	36.5	2.59E-05	2.59E-05	1.06E-05	6.66E-05	3.40E-04	1.30E-04	8.77E-07
777	EC3	02/05/95	1100	3.95	141	3.550	1.84	5.49	1.860	0.09	1.60	0.52	2.40	2.10	1.38	0.00	5.49	5.47	51.4	1.32E-04	3.36E-05	9.14E-06	4.59E-05	1.55E-04	1.30E-04	3.33E-05
778	EC3	02/05/96	135	4.06	-165	1.870	4.13	5.27	0.027	0.33	3.40	0.91	2.38	2.80	36.97	0.00	2.05	3.57	12.5	6.93E-05	6.93E-05	6.55E-05	1.03E-04	1.49E-04	5.00E-05	4.83E-07
779																										
780	Eaux de rétention A3																									
781	EC4	02/05/94		4.51	-141	0.136	0.59	5.87	0.023	0.54	1.50	0.19	0.27	2.70	0.80	0.00	2.14	5.34	10.9	5.04E-06	4.73E-06	1.26E-06	1.47E-05	1.66E-04	1.42E-04	4.12E-07
782	EC4	02/06/94		4.45	-217	1.120	1.72	8.87	0.021	0.53	1.30	0.46	0.69	2.50	9.82	0.00	2.16	3.94	18.3	4.15E-05	4.15E-05	3.28E-05	4.29E-05	2.50E-04	1.42E-04	3.76E-07
783	EC4	11/10/94		3.95	-167	0.563	2.06	9.85	0.013	0.37	1.90	0.50	0.46	2.57	5.72	0.00	1.98	4.67	11.3	2.09E-05	2.09E-05	1.33E-05	5.14E-05	2.78E-04	1.30E-04	2.33E-07
784	EC4	02/05/95	240	4.27	-113	0.192	1.78	4.24	0.026	0.91	0.80	0.47	0.22	2.60	1.36	0.00	1.72	6.53	18.8	7.12E-06	5.32E-06	1.44E-06	4.44E-05	1.20E-04	1.30E-04	4.66E-07
785	EC4	02/05/96	100	4.38	-79	0.547	2.19	3.01	0.001	0.00	1.30	0.56	0.75	2.40	14.07	0.00	2.24	4.83	7.9	2.03E-05	2.03E-05	1.61E-05	5.46E-05	8.49E-05	5.00E-05	1.79E-08
786																										
787	Source																									
788	i	01/02/94		5.88	107	0.152	4.13	2.91	0.003	0.06	2.00	2.18	0.02	1.50	2.15	0.00	2.98	12.91	4.4	5.63E-06	3.55E-07	3.55E-07	1.03E-04	8.20E-05	1.34E-04	5.37E-08
789	i	09/02/94		5.49	5	0.118	4.08	2.81	0.000	0.11	1.39	1.99	0.02	0.15	2.24	0.00	2.88	13.64	2.3	4.37E-06	8.64E-07	1.33E-07	1.02E-04	7.91E-05	1.23E-04	0.00E+00
790	i	03/03/94		5.46	1561	0.636	19.10	2.25	0.020	0.00	1.90	9.99	0.11	1.40	3.03	0.00	14.40	12.44	1.5	2.36E-05	5.15E-07	5.15E-07	4.77E-04	6.35E-05	1.23E-04	3.58E-07
791	i	24/03/94		5.47	77	0.108	3.65	2.35	0.002	0.09	2.15	1.79	0.02	1.49	3.00	0.00	2.59	11.88	3.6	4.00E-06	5.56E-07	1.36E-07	9.11E-05	6.63E-05	1.26E-04	3.58E-08
792	i	19/04/94		5.18	66	0.112	3.36	2.47	0.001	0.05	1.70	1.75	0.03	1.10	2.45	0.00	2.63	11.04	1.5	4.15E-06	2.71E-06	7.47E-07	8.38E-05	6.97E-05	1.33E-04	1.79E-08
793	i	02/05/94		5.30	76	0.116	3.75	2.46	0.002	0.01	1.80	1.79	0.03	1.20	2.64	0.00	2.70	12.06	0.6	4.30E-06	2.07E-06	1.00E-12	9.36E-05	6.94E-05	1.42E-04	3.58E-08
794	i	26/05/94		5.17	90	0.103	3.53	2.31	0.002	0.01	2.00	1.79	0.06	1.20	2.98	0.00	2.67	10.99	1.0	3.82E-06	1.85E-06	5.96E-07	8.81E-05	6.51E-05	1.42E-04	3.58E-08
795	i	02/06/94		5.30	105	0.130	3.88	2.33	0.008	0.34	2.60	1.94	0.02	1.40	3.41	0.00	2.86	11.71	0.9	4.82E-06	3.36E-06	1.00E-12	9.68E-05	6.57E-05	1.42E-04	1.43E-07
796	i	09/06/94		5.24	73	0.166	3.29	2.18	0.000	0.08	1.90	1.66	0.02	1.20	3.12	0.00	2.56	10.66	1.1	6.15E-06	2.53E-06	2.38E-07	8.21E-05	6.15E-05	1.25E-04	0.00E+00
797	i	07/07/94		5.61	74	0.044	3.64	2.34	0.004	0.24	2.10	1.80	0.02	1.20	3.49	0.00	2.79	10.95	0.9	1.65E-06	1.65E-06	3.97E-07	9.08E-05	6.60E-05	1.26E-04	7.16E-08
798	i	21/07/94		5.50	64	0.026	3.54	2.09	0.003	0.19	1.80	1.79	0.02	1.30	3.57	0.00	0.57	11.29	0.8	9.56E-07	9.56E-07	6.20E-08	8.83E-05	5.89E-05	1.30E-04	5.37E-08
799	i	02/08/94		5.30	49	0.100	3.47	2.18	0.001	0.25	1.80	1.75	0.02	1.20	3.61	0.00	0.65	11.07	2.5	3.69E-06	1.76E-06	2.64E-07	8.66E-05	6.15E-05	1.30E-04	1.79E-08
800	i	13/08/94		5.25	54	0.080	3.44	2.39	0.002	0.10	1.90	1.76	0.02	1.20	3.63	0.00	0.31	11.04	2.1	2.95E-06	1.64E-06	2.64E-07	8.58E-05	6.74E-05	1.30E-04	3.58E-08
801	i	09/09/94		5.31	20	0.036	3.62	4.40	0.000	0.16	2.10	1.77	0.02	1.31	3.74	0.00	2.81	10.58	1.9	1.32E-06	1.32E-06	1.00E-12	9.03E-05	1.24E-04	1.30E-04	0.00E+00
802	i	29/09/94		5.02	84	0.097	3.36	2.28	0.002	0.06	2.10	1.70	0.03	1.40	3.56	0.00	2.77	10.62	0.4	3.60E-06	1.64E-06	4.86E-08	8.38E-05	6.43E-05	1.30E-04	3.58E-08
803	i	02/11/94		4.95	80	0.044	3.64	2.40	0.009	0.00	1.50	1.86	0.02	1.20	3.07	0.00	2.87	10.81	1.9	1.64E-06	8.79E-07	5.02E-08	9.08E-05	6.77E-05	1.30E-04	1.61E-07
804	i	24/11/94		5.06	52	0.041	3.31	2.44	0.000	0.00	1.80	1.73	0.02	1.20	3.54	0.00	2.79	10.83	1.6	1.50E-06	1.50E-06	0.00E+00	8.26E-05	6.88E-05	1.30E-04	0.00E+00
805	i	13/12/94		5.47	50	0.066	3.16	2.29	0.000	0.04	2.00	1.59	0.02	1.10	3.14	0.00	2.64	10.49	1.9	2.43E-06	1.57E-06	2.58E-07	7.88E-05	6.46E-05	1.30E-04	0.00E+00
806	i	04/01/95		5.04	59	0.070	3.38	2.31	0.004	0.13	1.80	1.69	0.02	1.20	2.91	0.00	2.74	10.93	1.7	2.59E-06	1.59E-06	3.74E-07	8.43E-05	6.51E-05	1.30E-04	7.16E-08
807	i	15/01/95		5.49	64	0.104	3.53	2.46	0.000	0.06	1.90	1.73	0.06	1.20	1.84	0.00	2.78	12.29	2.0	3.85E-06	2.13E-06	6.42E-07	8.81E-05	6.94E-05	1.30E-04	0.00E+00
808	i	02/02/95		5.71	39	0.068	3.34	2.38	0.002	0.00	1.80	1.72	0.03	1.20	1.52	0.00	2.81	12.96	3.1	2.52E-06	2.20E-06	4.26E-07	8.33E-05	6.71E-05	1.30E-04	3.58E-08
809	i	27/02/95		4.97	43	0.085	3.40	2.67	0.004	0.06	1.70	1.73	0.03	1.30	1.69	0.00	2.73	12.43	3.0	3.15E-06	1.36E-06	9.29E-07	8.48E-05	7.53E-05	1.30E-04	7.16E-08
810	i	24/03/95		5.17	66	0.072	3.38	2.18	0.000	0.07	2.00	1.73	0.03	1.40	2.50	0.00	2.74	12.32	0.5	2.68E-06	1.06E-06	4.70E-07	8.43E-05	6.15E-05	1.30E-04	0.00E+00
811	i	07/04/95		5.44	28	0.063	3.40	2.49	0.001	0.18	1.70	1.71	0.03	1.30	2.24	0.00	2.61	12.35	3.7	2.34E-06	9.97E-07	5.26E-07	8.48E-05	7.02E-05	1.30E-04	1.79E-08
812	i	02/05/95		4.75	62	0.058	3.55	2.19	0.000	0.07	1.90	1.78	0.03	1.30	2.76	0.00	2.83	12.06	2.7	2.15E-06	1.44E-06	4.20E-07				



	1	2	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
1	N°	Date	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	Fulvate	Al 3+	Al(OH) 2+	Al(OH)2 +	Al(OH)3°	Al(OH)4 -	AlCl 2+	AlCl2 +	AlCl3°	AlSO4 +	Al(SO4)2 -
2			moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]
771	33+34	05/12/96	8.84E-06	1.28E-05	6.58E-06	4.57E-06	6.52E-05	4.14E-05	0.00E+00	3.74E-05	8.15E-05	8.38E-06	7.66E-06	2.09E-06	4.25E-07	2.43E-09	1.09E-10	2.33E-08	7.45E-12	2.49E-17	1.36E-06	3.05E-09
772																						
773	Eaux de rétention A1																					
774	EC3	02/05/94	2.39E-05	4.86E-05	1.49E-05	2.66E-05	1.61E-04	8.87E-05	0.00E+00	6.34E-05	4.57E-05	1.05E-04	3.03E-06	1.43E-07	5.10E-09	5.19E-12	4.19E-14	7.34E-08	1.89E-10	5.16E-15	2.79E-07	3.40E-10
775	EC3	02/06/94	2.79E-05	5.88E-05	3.05E-05	4.84E-05	1.04E-04	2.46E-04	0.00E+00	6.05E-05	4.27E-05	1.09E-04	2.71E-05	1.19E-06	3.99E-08	3.88E-11	3.04E-13	8.93E-07	3.16E-09	1.21E-13	2.04E-06	2.14E-09
776	EC3	11/10/94	3.54E-05	4.60E-05	2.18E-05	3.11E-05	1.30E-04	6.18E-05	0.00E+00	9.33E-05	3.27E-05	1.32E-04	8.90E-06	7.98E-07	5.40E-08	1.05E-10	1.62E-12	2.51E-07	7.53E-10	2.40E-14	5.70E-07	4.88E-10
777	EC3	02/05/95	4.84E-06	4.09E-05	2.12E-05	4.37E-05	9.13E-05	2.23E-05	0.00E+00	1.95E-04	5.69E-05	1.86E-04	7.69E-06	4.37E-07	1.87E-08	2.29E-11	2.22E-13	9.94E-08	1.37E-10	1.99E-15	8.68E-07	1.30E-09
778	EC3	02/05/96	1.72E-05	8.70E-05	3.74E-05	4.33E-05	1.22E-04	5.96E-04	0.00E+00	7.30E-05	3.72E-05	4.51E-05	5.71E-05	4.02E-06	2.17E-07	3.42E-10	4.37E-12	6.67E-07	8.45E-10	1.16E-14	3.44E-06	2.97E-09
779																						
780	Eaux de rétention A3																					
781	EC4	02/05/94	2.83E-05	3.84E-05	7.65E-06	4.95E-06	1.17E-04	1.29E-05	0.00E+00	7.62E-05	5.56E-05	3.95E-05	9.06E-07	1.92E-07	3.03E-08	1.35E-10	4.69E-12	1.31E-08	1.99E-11	3.16E-16	1.13E-07	1.75E-10
782	EC4	02/06/94	2.79E-05	3.32E-05	1.88E-05	1.25E-05	1.09E-04	1.58E-04	0.00E+00	7.69E-05	4.10E-05	6.60E-05	2.50E-05	4.50E-06	6.09E-07	2.36E-09	7.25E-11	5.22E-07	1.16E-09	2.72E-14	1.99E-06	2.10E-09
783	EC4	11/10/94	1.97E-05	4.86E-05	2.04E-05	8.32E-06	1.12E-04	9.22E-05	0.00E+00	7.05E-05	4.86E-05	4.08E-05	1.13E-05	6.42E-07	2.75E-08	3.37E-11	3.27E-13	2.63E-07	6.50E-10	1.70E-14	1.09E-06	1.40E-09
784	EC4	02/05/95	4.77E-05	2.05E-05	1.93E-05	3.93E-06	1.13E-04	2.19E-05	0.00E+00	6.12E-05	6.80E-05	6.80E-05	1.12E-06	1.35E-07	1.22E-08	3.11E-11	6.26E-13	1.15E-08	1.25E-11	1.42E-16	1.63E-07	3.04E-10
785	EC4	02/05/96	0.00E+00	3.32E-05	2.31E-05	1.37E-05	1.04E-04	2.27E-04	0.00E+00	7.97E-05	5.03E-05	2.84E-05	1.25E-05	1.93E-06	2.23E-07	7.35E-10	1.92E-11	8.99E-08	6.82E-11	5.47E-16	1.28E-06	1.70E-09
786																						
787	Source																					
788	i	01/02/94	3.16E-06	5.12E-05	8.96E-05	3.82E-07	6.52E-05	3.47E-05	0.00E+00	1.06E-04	1.34E-04	1.60E-05	1.32E-08	6.32E-08	2.29E-07	2.38E-08	1.98E-08	8.91E-11	6.43E-14	4.94E-19	3.46E-09	1.23E-11
789	i	09/02/94	5.89E-06	3.55E-05	8.18E-05	3.28E-07	6.70E-06	3.62E-05	0.00E+00	1.03E-04	1.42E-04	8.13E-06	2.08E-08	4.08E-08	6.04E-08	2.56E-09	8.66E-10	1.37E-10	9.56E-14	7.11E-19	5.89E-09	2.22E-11
790	i	03/03/94	0.00E+00	4.86E-05	4.11E-04	2.04E-06	6.09E-05	4.89E-05	0.00E+00	5.13E-04	1.29E-04	5.24E-06	9.26E-08	1.57E-07	2.08E-07	8.24E-09	2.70E-09	4.34E-10	2.25E-13	1.29E-18	1.74E-08	5.09E-11
791	i	24/03/94	4.47E-06	5.50E-05	7.36E-05	4.37E-07	6.48E-05	4.84E-05	0.00E+00	9.22E-05	1.24E-04	1.30E-05	2.27E-08	4.26E-08	6.03E-08	2.44E-09	7.87E-10	1.25E-10	7.37E-14	4.60E-19	5.65E-09	1.87E-11
792	i	19/04/94	2.63E-06	4.35E-05	7.20E-05	6.01E-07	4.78E-05	3.95E-05	0.00E+00	9.36E-05	1.15E-04	5.45E-06	2.52E-07	2.44E-07	1.78E-07	3.69E-09	6.08E-10	1.48E-09	9.17E-13	6.03E-18	5.93E-08	1.83E-10
793	i	02/05/94	6.84E-07	4.60E-05	7.36E-05	5.64E-07	5.22E-05	4.26E-05	0.00E+00	9.61E-05	1.26E-04	2.24E-06	2.60E-13	3.32E-13	3.18E-13	8.70E-15	1.89E-15	1.51E-15	9.32E-19	6.10E-24	6.64E-14	2.24E-16
794	i	26/05/94	5.26E-07	5.12E-05	7.36E-05	1.00E-06	5.22E-05	4.81E-05	0.00E+00	9.51E-05	1.14E-04	3.76E-06	2.05E-07	1.94E-07	1.38E-07	2.80E-09	4.52E-10	1.12E-09	6.50E-13	3.99E-18	4.76E-08	1.46E-10
795	i	02/06/94	1.79E-05	6.65E-05	7.99E-05	4.19E-07	6.09E-05	5.50E-05	0.00E+00	1.02E-04	1.22E-04	3.18E-06	2.62E-13	3.32E-13	3.18E-13	8.70E-15	1.90E-15	1.43E-15	8.33E-19	5.15E-24	6.39E-14	2.08E-16
796	i	09/06/94	4.00E-06	4.86E-05	6.83E-05	4.37E-07	5.22E-05	5.03E-05	0.00E+00	9.11E-05	1.11E-04	3.94E-06	7.12E-08	7.93E-08	6.83E-08	1.58E-09	2.99E-10	3.69E-10	2.02E-13	1.18E-18	1.62E-08	4.86E-11
797	i	07/07/94	1.25E-05	5.37E-05	7.40E-05	3.82E-07	5.22E-05	5.63E-05	0.00E+00	9.93E-05	1.14E-04	3.39E-06	4.21E-08	1.09E-07	2.14E-07	1.20E-08	5.32E-09	2.33E-10	1.36E-13	8.49E-19	9.73E-09	2.97E-11
798	i	21/07/94	9.79E-06	4.60E-05	7.36E-05	2.91E-07	5.65E-05	5.76E-05	0.00E+00	2.03E-05	1.18E-04	2.85E-06	9.50E-09	1.92E-08	2.91E-08	1.27E-09	4.36E-10	4.69E-11	2.46E-14	1.36E-19	2.28E-09	7.21E-12
799	i	02/08/94	1.33E-05	4.60E-05	7.20E-05	2.91E-07	5.22E-05	5.82E-05	0.00E+00	2.30E-05	1.15E-04	9.17E-06	6.97E-08	8.88E-08	8.52E-08	2.33E-09	5.08E-10	3.59E-10	1.97E-13	1.14E-18	1.63E-08	5.03E-11
800	i	13/08/94	5.42E-06	4.86E-05	7.24E-05	2.73E-07	5.22E-05	5.85E-05	0.00E+00	1.11E-05	1.15E-04	7.48E-06	7.81E-08	8.87E-08	7.59E-08	1.85E-09	3.59E-10	4.42E-10	2.65E-13	1.68E-18	1.83E-08	5.64E-11
801	i	09/09/94	8.37E-06	5.37E-05	7.28E-05	4.00E-07	5.70E-05	6.03E-05	0.00E+00	1.00E-04	1.10E-04	6.90E-06	2.56E-13	3.34E-13	3.27E-13	9.16E-15	2.04E-15	2.66E-15	2.92E-18	3.41E-23	5.69E-14	1.67E-16
802	i	29/09/94	3.32E-06	5.37E-05	6.99E-05	5.28E-07	6.09E-05	5.74E-05	0.00E+00	9.86E-05	1.11E-04	1.55E-06	2.14E-08	1.43E-08	7.23E-09	1.04E-10	1.18E-11	1.16E-10	6.63E-14	4.03E-19	4.86E-09	1.45E-11
803	i	02/11/94	0.00E+00	3.84E-05	7.65E-05	4.37E-07	5.22E-05	4.95E-05	0.00E+00	1.02E-04	1.13E-04	6.83E-06	2.42E-08	1.38E-08	5.91E-09	7.23E-11	7.02E-12	1.37E-10	8.28E-14	5.29E-19	5.56E-09	1.68E-11
804	i	24/11/94	0.00E+00	4.60E-05	7.11E-05	3.46E-07	5.22E-05	5.71E-05	0.00E+00	9.93E-05	1.13E-04	5.81E-06	4.14E-19	3.05E-19	1.68E-19	2.65E-21	3.32E-22	2.40E-21	1.47E-24	9.55E-30	9.59E-20	2.91E-22
805	i	13/12/94	1.89E-06	5.12E-05	6.54E-05	3.64E-07	4.78E-05	5.06E-05	0.00E+00	9.40E-05	1.09E-04	6.75E-06	4.28E-08	8.11E-08	1.15E-07	4.67E-09	1.50E-09	2.33E-10	1.35E-13	8.22E-19	9.63E-09	2.83E-11
806	i	04/01/95	6.79E-06	4.60E-05	6.95E-05	4.00E-07	5.22E-05	4.69E-05	0.00E+00	9.75E-05	1.14E-04	6.28E-06	1.60E-07	1.12E-07	5.91E-08	8.90E-10	1.06E-10	8.74E-10	5.07E-13	3.12E-18	3.72E-08	1.14E-10
807	i	15/01/95	2.89E-06	4.86E-05	7.11E-05	1.02E-06	5.22E-05	2.97E-05	0.00E+00	9.90E-05	1.28E-04	7.33E-06	1.00E-07	1.98E-07	2.94E-07	1.25E-08	4.20E-09	5.83E-10	3.59E-13	2.35E-18	2.60E-08	8.92E-11
808	i	02/02/95	0.00E+00	4.86E-05	7.07E-05	4.73E-07	5.22E-05	2.45E-05	0.00E+00	1.00E-04	1.35E-04	1.11E-05	3.13E-08	1.02E-07	2.52E-07	1.78E-08	9.93E-09	1.76E-10	1.05E-13	6.61E-19	8.55E-09	3.10E-11
809	i	27/02/95	2.89E-06	4.35E-05	7.11E-05	4.73E-07	5.65E-05	2.73E-05	0.00E+00	9.72E-05	1.29E-04	1.07E-05	4.31E-07	2.57E-07	1.15E-07	1.47E-09	1.50E-10	2.72E-09	1.82E-12	1.29E-17	1.13E-07	3.90E-10
810	i	24/03/95	3.89E-06	5.12E-05	7.11E-05	5.64E-07	6.09E-05	4.03E-05	0.00E+00	9.75E-05	1.28E-04	1.73E-06	1.60E-07	1.51E-07	1.08E-07	2.19E-09	3.52E-10	8.27E-10	4.52E-13	2.62E-18	4.17E-08	1.43E-10
811	i	07/04/95	9.47E-06	4.35E-05	7.03E-05	4.91E-07	5.65E-05	3.61E-05	0.00E+00	9.29E-05	1.29E-04	1.32E-05	9.53E-08	1.67E-07	2.21E-07	8.37E-09	2.51E-09	5.59E-10	3.49E-13	2.31E-18	2.49E-08	8.60E-11
812	i	02/05/95	3.63E-06	4.86E-05	7.32E-05	5.28E-07	5.65E-05	4.45E-05	0.00E+00	1.01E-04	1											



	1	2	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	
1	N°	Date	AlPD4°	AlHPD4 +	AlH2PD4 2+	AlOSi(OH)3 2+	AlF 2+	AlF2 +	AlF3 °	AlF4 -	Polymères	Al organique	Force ionique	Activités (moles/l)					
2			[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[moles d'Al/l]	[moles d'Al/l]	moles/l	{Ca 2+}	{Mg 2+}	{K +}	{Na +}	{Al 3+}	
771	33+34	05/12/96	9.74E-19	6.90E-21	1.38E-22	2.87E-08	1.80E-06	4.76E-07	3.39E-09	7.95E-13	0.00E+00	2.83E-08	3.80E-04	4.05E-05	6.03E-06	1.25E-05	6.38E-05	6.29E-06	
772																			
773	Eaux de rétention A1																		
774	EC3	02/05/94	3.72E-19	1.48E-20	1.68E-21	3.32E-09	6.24E-06	6.98E-06	2.12E-07	2.18E-10	0.00E+00	2.60E-06	6.83E-04	3.42E-05	1.33E-05	4.72E-05	1.56E-04	2.33E-06	
775	EC3	02/06/94	7.94E-19	3.31E-20	3.99E-21	2.64E-08	1.43E-05	5.78E-06	6.39E-08	2.41E-11	0.00E+00	4.10E-08	9.67E-04	6.59E-05	2.66E-05	5.68E-05	1.01E-04	1.99E-05	
776	EC3	11/10/94	8.50E-19	1.78E-20	1.06E-21	2.72E-08	4.92E-06	9.81E-06	5.32E-07	9.73E-10	0.00E+00	0.00E+00	7.17E-04	5.92E-05	1.94E-05	4.47E-05	1.27E-04	6.81E-06	
777	EC3	02/05/95	6.70E-19	2.22E-20	2.10E-21	3.10E-08	2.95E-06	6.12E-07	3.45E-09	6.55E-13	9.80E-05	2.09E-05	6.72E-04	4.09E-05	1.89E-05	3.97E-05	8.87E-05	5.94E-06	
778	EC3	02/05/96	9.37E-19	2.41E-20	1.80E-21	1.07E-07	3.62E-06	2.10E-07	3.38E-10	1.86E-14	0.00E+00	0.00E+00	1.07E-03	8.93E-05	3.24E-05	8.39E-05	1.17E-04	4.13E-05	
779																			
780	Eaux de rétention A3																		
781	EC4	02/05/94	7.82E-19	7.13E-21	1.83E-22	5.37E-09	3.20E-07	2.58E-06	5.59E-07	4.01E-09	3.14E-07	1.45E-09	3.84E-04	1.35E-05	7.01E-06	3.75E-05	1.15E-04	7.43E-07	
782	EC4	02/06/94	9.76E-19	1.02E-20	3.06E-22	1.26E-07	4.58E-06	4.07E-06	9.79E-08	7.88E-11	0.00E+00	8.02E-09	5.81E-04	3.86E-05	1.69E-05	3.24E-05	1.06E-04	1.96E-05	
783	EC4	11/10/94	7.46E-19	2.47E-20	2.33E-21	1.66E-08	4.80E-06	2.72E-06	4.19E-08	2.17E-11	0.00E+00	0.00E+00	6.20E-04	4.60E-05	1.82E-05	4.73E-05	1.09E-04	8.81E-06	
784	EC4	02/05/95	5.90E-19	9.36E-21	4.20E-22	3.02E-09	1.79E-07	2.64E-06	1.05E-06	1.40E-08	1.79E-06	0.00E+00	4.90E-04	4.02E-05	1.75E-05	2.00E-05	1.10E-04	8.97E-07	
785	EC4	02/05/96	9.53E-19	1.17E-20	4.10E-22	5.63E-08	9.40E-19	2.35E-32	1.58E-47	3.58E-64	0.00E+00	4.18E-06	5.48E-04	4.92E-05	2.08E-05	3.24E-05	1.02E-04	9.89E-06	
786																			
787	Source																		
788	I	01/02/94	9.63E-19	3.75E-22	4.18E-25	2.45E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	5.28E-06	4.37E-10	8.11E-04	9.09E-05	7.90E-05	4.96E-05	6.32E-05	9.94E-09	
789	I	09/02/94	8.77E-19	8.37E-22	2.29E-24	1.54E-09	1.06E-07	2.40E-07	1.47E-08	3.05E-11	3.51E-06	3.70E-07	7.38E-04	9.03E-05	7.26E-05	3.45E-05	6.50E-06	1.59E-08	
790	I	03/03/94	9.58E-19	9.81E-22	2.99E-24	2.90E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.31E-05	0.00E+00	2.11E-03	3.91E-04	3.37E-04	4.62E-05	5.79E-05	5.94E-08	
791	I	24/03/94	8.77E-19	8.77E-22	2.51E-24	1.44E-09	4.65E-08	8.46E-08	4.20E-09	7.02E-12	3.45E-06	2.85E-07	7.12E-04	8.09E-05	6.54E-05	5.34E-05	6.29E-05	1.74E-08	
792	I	19/04/94	9.53E-19	1.86E-21	1.03E-23	8.36E-09	5.25E-07	3.25E-07	5.46E-09	3.08E-12	1.45E-06	1.10E-06	6.45E-04	7.49E-05	6.43E-05	4.23E-05	4.65E-05	1.96E-07	
793	I	02/05/94	3.80E-23	5.62E-26	2.37E-28	1.17E-14	2.76E-07	3.90E-08	1.50E-10	1.95E-14	2.23E-06	1.75E-06	6.89E-04	8.33E-05	6.55E-05	4.47E-05	5.07E-05	2.00E-13	
794	I	26/05/94	9.41E-19	1.88E-21	1.07E-23	6.75E-09	1.66E-07	2.24E-08	8.24E-11	1.02E-14	1.96E-06	1.07E-06	6.60E-04	7.86E-05	6.57E-05	4.97E-05	5.07E-05	1.59E-07	
795	I	02/06/94	3.79E-23	5.61E-26	2.37E-28	1.24E-14	4.65E-07	2.34E-06	3.21E-07	1.49E-09	1.46E-06	2.32E-07	7.27E-04	8.59E-05	7.08E-05	6.45E-05	5.91E-05	2.00E-13	
796	I	09/06/94	8.87E-19	1.51E-21	7.29E-24	2.64E-09	6.21E-07	5.81E-07	1.48E-08	1.26E-11	3.62E-06	1.07E-06	6.32E-04	7.34E-05	6.10E-05	4.72E-05	5.08E-05	5.54E-08	
797	I	07/07/94	9.61E-19	6.96E-22	1.44E-24	3.98E-09	2.16E-07	9.24E-07	1.08E-07	4.26E-10	0.00E+00	7.92E-10	6.81E-04	8.09E-05	6.59E-05	5.22E-05	5.07E-05	3.24E-08	
798	I	21/07/94	7.75E-19	7.23E-22	1.93E-24	1.43E-10	1.57E-07	5.64E-07	5.51E-08	1.81E-10	0.00E+00	1.18E-07	6.74E-04	7.87E-05	6.56E-05	4.47E-05	5.49E-05	7.33E-09	
799	I	02/08/94	9.09E-19	1.35E-21	5.68E-24	7.49E-10	2.29E-07	1.04E-06	1.29E-07	5.38E-10	1.94E-06	9.28E-08	6.69E-04	7.72E-05	6.42E-05	4.47E-05	5.07E-05	5.38E-08	
800	I	13/08/94	9.00E-19	1.49E-21	7.07E-24	3.61E-10	2.97E-07	5.13E-07	2.41E-08	3.82E-11	1.32E-06	5.37E-07	6.66E-04	7.65E-05	6.45E-05	4.72E-05	5.07E-05	6.04E-08	
801	I	09/09/94	3.90E-23	5.64E-26	2.33E-28	1.22E-14	2.20E-07	6.34E-07	4.99E-08	1.32E-10	0.00E+00	4.19E-07	7.02E-04	8.03E-05	6.47E-05	5.21E-05	5.53E-05	1.97E-13	
802	I	29/09/94	4.65E-19	1.31E-21	1.05E-23	5.17E-10	6.74E-07	4.79E-07	9.25E-09	6.01E-12	1.96E-06	4.27E-07	6.49E-04	7.49E-05	6.24E-05	5.22E-05	5.92E-05	1.66E-08	
803	I	02/11/94	4.15E-19	1.37E-21	1.30E-23	5.14E-10	1.85E-19	6.42E-32	6.07E-46	1.93E-61	7.59E-07	8.29E-07	6.67E-04	8.10E-05	6.82E-05	3.73E-05	5.07E-05	1.87E-08	
804	I	24/11/94	2.03E-29	5.21E-32	3.82E-34	1.11E-20	2.68E-19	8.40E-32	7.17E-46	2.06E-61	0.00E+00	1.50E-06	6.47E-04	7.38E-05	6.35E-05	4.47E-05	5.07E-05	3.21E-19	
805	I	13/12/94	9.31E-19	9.31E-22	2.65E-24	2.79E-09	1.25E-07	8.61E-08	1.60E-09	1.01E-12	8.66E-07	1.09E-06	6.21E-04	7.06E-05	5.85E-05	4.97E-05	4.65E-05	3.34E-08	
806	I	04/01/95	8.75E-19	2.35E-21	1.81E-23	4.00E-09	3.78E-07	7.68E-07	4.25E-08	7.89E-11	9.97E-07	3.09E-08	6.47E-04	7.53E-05	6.21E-05	4.47E-05	5.07E-05	1.24E-07	
807	I	15/01/95	9.71E-19	9.27E-22	2.53E-24	7.16E-09	2.07E-07	2.01E-07	5.34E-09	4.77E-12	1.72E-06	1.07E-06	6.82E-04	7.84E-05	6.34E-05	4.72E-05	5.07E-05	7.71E-08	
808	I	02/02/95	9.67E-19	5.56E-22	9.14E-25	3.74E-09	4.19E-20	1.73E-32	1.94E-46	7.35E-62	3.20E-07	1.78E-06	6.90E-04	7.42E-05	6.30E-05	4.47E-05	5.07E-05	2.41E-08	
809	I	27/02/95	9.30E-19	2.94E-21	2.66E-23	9.13E-09	2.25E-07	2.04E-07	5.00E-09	4.14E-12	1.79E-06	0.00E+00	6.78E-04	7.56E-05	6.34E-05	4.22E-05	5.49E-05	3.32E-07	
810	I	24/03/95	9.26E-19	1.85E-21	1.05E-23	5.40E-09	2.69E-07	3.10E-07	9.68E-09	1.02E-11	1.62E-06	8.83E-10	6.73E-04	7.52E-05	6.34E-05	4.97E-05	5.92E-05	1.23E-07	
811	I	07/04/95	9.62E-19	1.03E-21	3.16E-24	5.69E-09	9.42E-08	3.43E-07	3.39E-08	1.13E-10	1.35E-06	7.04E-10	6.91E-04	7.55E-05	6.26E-05	4.22E-05	5.49E-05	7.33E-08	
812	I	02/05/95	7.36E-19	3.86E-21	5.79E-23	3.22E-09	4.27E-07	4.20E-07	1.12E-08	1.01E-11	7.14E-07	1.61E-07	6.89E-04	7.88E-05	6.52E-05	4.72E-05	5.49E-05	1.87E-07	
813	I	02/06/95	9.90E-19	1.80E-22	9.38E-26	4.42E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	3.53E-07	3.45E-09	7.10E-04	7.36E-05	6.21E-05	4.22E-05	5.07E-05	9.28E-09	
814	I	28/06/95	6.71E-19	1.73E-21	1.27E-23	1.03E-09	1.90E-07	4.24E-07	2.57E-08	5.24E-11	7.44E-07	4.68E-07	6.54E-04	7.22E-05	5.95E-05	4.47E-05	5.07E-05	3.26E-08	
815	I	18/07/95	8.94E-19	2.64E-21	2.22E-23	5.60E-09	2.51E-19	8.03E-32	6.99E-46	2.05E-61	0.00E+00	9.44E-07	6.58E-04	7.93E-05	6.46E-05	4.72E-05	5.50E-05	1.82E-07	
816	I	17/08/95	9.49E-19	4.87E-22	7.05E-25	2.17E-09	4.25E-20	1.79E-32	2.04E-46	7.70E-62	0.00E+00	1.15E-06	4.48E-04	7.92E-05	6.47E-05	4.25E-05	5.95E-05	1.24E-08	
817	I	19/09/95	9.32E-19	8.12E-22	2.02E-24	2.63E-09	3.32E-08	1.34E-08	1.48E-10	5.49E-14	3.85E-08	7.98E-07	6.48E-04	7.84E-05	6.13E-05	4.72E-05	5.07E-05	2.57E-08	
818	I	10/10/95	9.57E-19	1.05E-21	3.28E-24	5.40E-09	2.15E-07	3.94E-07	1.96E-08	3.30E-11	0.00E+00	2.91E-07	6.64E-04	7.70E-05	6.27E-05	5.22E-05	5.49E-05	6.68E-08	



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	N°	Date	Pluviométrie (mm)	pH	ANC	Al total	Ca	Cl	Fe	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	C org.	Al total	Al monomérique	Al 8-OH-O	Ca	Cl	C min	Fe
2			ou volume (ml)	20 °C	µequiv/L	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l
819	i	06/11/95		5.45	65	0.041	3.27	2.21	0.000	0.06	1.70	1.69	0.02	1.30	2.92	0.00	2.78	10.59	2.7	1.50E-06	1.50E-06	4.74E-07	8.16E-05	6.23E-05	1.57E-04	0.00E+00
820	i	05/12/95		5.81	100	0.063	3.52	2.25	0.000	0.10	2.30	1.78	0.04	1.50	3.25	0.00	2.86	10.72	2.3	2.32E-06	1.89E-06	4.68E-07	8.78E-05	6.35E-05	1.30E-04	0.00E+00
821	i	31/01/96		6.50	84	0.014	3.69	2.26	0.000	0.03	1.80	1.81	0.04	1.30	2.72	0.00	2.82	11.30	2.6	5.19E-07	5.19E-07	3.08E-07	9.21E-05	6.37E-05	1.30E-04	0.00E+00
822	i	21/02/96		6.17	84	0.038	3.60	2.35	0.008	0.00	1.90	1.77	0.02	1.50	2.58	0.00	2.70	11.59	2.5	1.42E-06	1.42E-06	1.30E-07	8.98E-05	6.63E-05	5.00E-05	1.43E-07
823	i	03/04/96		6.39	93	0.020	3.60	2.27	0.000	0.00	1.70	1.80	0.03	1.50	2.41	0.00	2.64	11.35	1.9	7.45E-07	7.45E-07	2.25E-07	8.98E-05	6.40E-05	5.00E-05	0.00E+00
824	i	02/05/96		5.37	53	0.026	3.51	2.39	0.000	0.06	2.10	1.77	0.08	1.40	3.31	0.00	2.66	12.21	2.5	9.49E-07	1.42E-07	1.42E-07	8.76E-05	6.74E-05	5.00E-05	0.00E+00
825	i	30/05/96		5.59	271	0.031	3.61	1.09	0.001	0.02	2.30	1.74	0.04	1.50	3.95	0.00	2.63	3.64	2.2	1.15E-06	1.15E-06	1.48E-07	9.01E-05	3.09E-05	5.00E-05	1.79E-08
826	i	12/06/96		5.57	74	0.031	3.45	2.11	0.000	0.15	1.70	1.72	0.03	1.20	2.54	0.00	2.66	10.74	2.0	1.14E-06	5.24E-07	5.24E-07	8.61E-05	5.95E-05	5.00E-05	0.00E+00
827	i	25/06/96		5.51	59	0.029	3.46	2.30	0.000	0.32	2.00	1.70	0.05	1.40	2.66	0.00	2.59	11.26	2.8	1.07E-06	1.07E-06	0.00E+00	8.63E-05	6.49E-05	5.00E-05	0.00E+00
828	i	08/07/96		5.37	68	0.042	3.27	2.22	0.000	0.22	2.00	1.74	0.03	1.30	2.52	0.00	2.72	10.90	2.3	1.57E-06	1.57E-06	2.20E-07	8.16E-05	6.26E-05	5.00E-05	0.00E+00
829	i	31/07/96		5.40	75	0.027	3.44	2.23	0.000	0.29	2.20	1.79	0.04	1.40	2.63	0.00	2.79	11.55	1.3	1.02E-06	1.02E-06	1.42E-07	8.58E-05	6.29E-05	5.00E-05	0.00E+00
830	i	15/08/96		5.65	93	0.018	3.60	2.32	0.000	0.20	2.30	1.85	0.04	1.50	2.61	0.00	2.92	11.66	1.6	6.67E-07	6.44E-07	6.44E-07	8.98E-05	6.54E-05	5.00E-05	0.00E+00
831	i	16/09/96		5.66	90	0.027	3.23	2.09	0.003	0.08	2.20	1.71	0.06	1.30	2.51	0.00	2.66	10.57	1.6	9.90E-07	9.90E-07	7.51E-07	8.06E-05	5.89E-05	5.00E-05	5.37E-08
832	i	03/10/96		5.47	78	0.015	3.23	2.10	0.000	0.15	2.30	1.72	0.02	1.30	2.73	0.00	2.67	10.85	1.4	5.45E-07	5.45E-07	5.45E-07	8.06E-05	5.92E-05	5.00E-05	0.00E+00
833	i	14/11/96		5.36	84	0.116	3.44	2.66	0.000	0.11	1.80	1.76	0.03	1.70	1.64	0.00	3.11	11.76	2.5	4.31E-06	3.40E-06	1.86E-06	8.58E-05	7.50E-05	5.00E-05	0.00E+00
834	i	05/12/96		5.25	62	0.058	3.61	2.52	0.000	0.13	2.00	1.82	0.04	1.50	1.97	0.00	2.82	13.27	1.6	2.16E-06	1.50E-06	1.50E-06	9.01E-05	7.11E-05	5.00E-05	0.00E+00
835	i	11/02/97		5.56	71	0.040	3.56	2.20	0.007	0.09	2.10	1.73	0.04	1.60	3.03	0.00	2.55	12.26	1.5	1.49E-06	6.26E-07	0.00E+00	8.88E-05	6.20E-05	5.00E-05	1.25E-07
836	i	28/02/97		5.53	60	0.039	3.32	2.19	0.000	0.15	1.80	1.72	0.08	1.40	2.54	0.00	2.53	11.72	1.7	1.43E-06	1.43E-06	7.59E-07	8.28E-05	6.18E-05	5.00E-05	0.00E+00

	1	2	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	
1	N°	Date	F	K	Mg	Mn	Na	NO3	PO4	Si	SO4	Fulvate	Al 3+	AlOH 2+	Al(OH)2 +	Al(OH)3°	Al(OH)4 -	AlCl 2+	AlCl2 +	AlCl3°	AlSO4 +	Al(SO4)2 -	
2			moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]
819		06/11/95	3.05E-06	4.35E-05	6.95E-05	3.82E-07	5.65E-05	4.71E-05	0.00E+00	9.90E-05	1.10E-04	9.71E-06	8.35E-08	1.51E-07	2.05E-07	7.91E-09	2.43E-09	4.38E-10	2.43E-13	1.43E-18	1.89E-08	5.58E-11	
820		05/12/95	5.21E-06	5.88E-05	7.32E-05	6.55E-07	6.52E-05	5.24E-05	0.00E+00	1.02E-04	1.12E-04	8.31E-06	2.32E-08	9.54E-08	2.96E-07	2.62E-08	1.85E-08	1.23E-10	6.94E-14	4.15E-19	5.25E-09	1.58E-11	
821		31/01/96	1.37E-06	4.60E-05	7.44E-05	8.01E-07	5.65E-05	4.39E-05	0.00E+00	1.00E-04	1.18E-04	9.50E-06	3.37E-10	6.76E-09	1.02E-07	4.45E-08	1.54E-07	1.78E-12	1.00E-15	6.01E-21	7.93E-11	2.49E-13	
822		21/02/96	0.00E+00	4.86E-05	7.28E-05	4.19E-07	6.52E-05	4.16E-05	0.00E+00	9.61E-05	1.21E-04	9.03E-06	1.15E-09	1.08E-08	7.67E-08	1.56E-08	2.51E-08	6.35E-12	3.73E-15	2.33E-20	2.80E-10	9.06E-13	
823		03/04/96	0.00E+00	4.35E-05	7.40E-05	5.82E-07	6.52E-05	3.89E-05	0.00E+00	9.40E-05	1.18E-04	6.75E-06	5.22E-10	8.18E-09	9.64E-08	3.25E-08	8.70E-08	2.80E-12	1.59E-15	9.58E-21	1.25E-10	3.94E-13	
824		02/05/96	3.16E-06	5.37E-05	7.28E-05	1.44E-06	6.09E-05	5.34E-05	0.00E+00	9.47E-05	1.27E-04	9.03E-06	3.12E-08	4.65E-08	5.24E-08	1.69E-09	4.31E-10	1.75E-10	1.05E-13	6.66E-19	7.99E-09	2.71E-11	
825		30/05/96	1.00E-06	5.88E-05	7.15E-05	7.10E-07	6.52E-05	6.37E-05	0.00E+00	9.36E-05	3.79E-05	7.91E-06	1.68E-08	4.24E-08	7.98E-08	4.26E-09	1.80E-09	4.45E-11	1.24E-14	3.64E-20	1.35E-09	1.39E-12	
826		12/06/96	7.95E-06	4.35E-05	7.07E-05	6.19E-07	5.22E-05	4.10E-05	0.00E+00	9.47E-05	1.12E-04	7.08E-06	6.35E-08	1.51E-07	2.70E-07	1.38E-08	5.57E-09	3.18E-10	1.69E-13	9.47E-19	1.46E-08	4.39E-11	
827		25/06/96	1.71E-05	5.12E-05	6.99E-05	8.37E-07	6.09E-05	4.29E-05	0.00E+00	9.22E-05	1.17E-04	1.00E-05	1.47E-19	3.04E-19	4.74E-19	2.10E-20	7.42E-21	8.02E-22	4.62E-25	2.83E-30	3.50E-20	1.10E-22	
828		08/07/96	1.14E-05	5.12E-05	7.15E-05	5.10E-07	5.65E-05	4.06E-05	0.00E+00	9.68E-05	1.13E-04	8.23E-06	4.83E-08	7.25E-08	8.18E-08	2.63E-09	6.72E-10	2.54E-10	1.42E-13	8.39E-19	1.12E-08	3.40E-11	
829		31/07/96	1.52E-05	5.63E-05	7.36E-05	7.64E-07	6.09E-05	4.24E-05	0.00E+00	9.93E-05	1.20E-04	4.51E-06	2.88E-08	4.62E-08	5.57E-08	1.92E-09	5.26E-10	1.52E-10	8.48E-14	5.03E-19	7.01E-09	2.26E-11	
830		15/08/96	1.03E-05	5.88E-05	7.61E-05	6.37E-07	6.52E-05	4.21E-05	0.00E+00	1.04E-04	1.21E-04	5.74E-06	5.93E-08	1.69E-07	3.62E-07	2.22E-08	1.08E-08	3.24E-10	1.88E-13	1.16E-18	1.45E-08	4.68E-11	
831		16/09/96	4.21E-06	5.63E-05	7.03E-05	1.13E-06	5.65E-05	4.05E-05	0.00E+00	9.47E-05	1.10E-04	5.85E-06	6.64E-08	1.94E-07	4.28E-07	2.68E-08	1.34E-08	3.29E-10	1.73E-13	9.63E-19	1.50E-08	4.44E-11	
832		03/10/96	7.79E-06	5.88E-05	7.07E-05	2.73E-07	5.65E-05	4.40E-05	0.00E+00	9.51E-05	1.13E-04	4.97E-06	9.05E-08	1.71E-07	2.43E-07	9.84E-09	3.16E-09	4.51E-10	2.38E-13	1.33E-18	2.10E-08	6.36E-11	
833		14/11/96	5.95E-06	4.60E-05	7.24E-05	5.82E-07	7.39E-05	2.64E-05	0.00E+00	1.11E-04	1.22E-04	9.12E-06	4.18E-07	6.11E-07	6.73E-07	2.12E-08	5.29E-09	2.63E-09	1.75E-12	1.24E-17	1.03E-07	3.38E-10	
834		05/12/96	7.00E-06	5.12E-05	7.48E-05	6.92E-07	6.52E-05	3.18E-05	0.00E+00	1.00E-04	1.38E-04	5.87E-06	4.35E-07	4.92E-07	4.20E-07	1.02E-08	1.99E-09	2.58E-09	1.62E-12	1.09E-17	1.20E-07	4.43E-10	
835		11/02/97	4.53E-06	5.37E-05	7.11E-05	7.83E-07	6.96E-05	4.89E-05	0.00E+00	9.08E-05	1.28E-04	5.47E-06	1.25E-19	2.90E-19	5.06E-19	2.52E-20	1.00E-20	6.50E-22	3.58E-25	2.09E-30	3.24E-20	1.11E-22	
836		28/02/97	7.63E-06	4.60E-05	7.07E-05	1.42E-06	6.09E-05	4.10E-05	0.00E+00	9.01E-05	1.22E-04	6.22E-06	1.05E-07	2.27E-07	3.70E-07	1.72E-08	6.35E-09	5.43E-10	2.99E-13	1.74E-18	2.60E-08	8.54E-11	



	1	2	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
1	N°	Date	AlPO4°	AlHPO4 +	AlH2PO4 2+	AlOSi(OH)3 2+	AlF 2+	AlF2 +	AlF3 °	AlF4 -	Polymères	Al organique	Force ionique	Activités (moles/l)				
2			[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	[moles/l]	moles/l	moles/l	moles/l	moles/l	[moles d'Al/l]	[moles d'Al/l]	moles/l	{Ca 2+}	{Mg 2+}	{K +}	{Na +}	{Al 3+}
819	I	06/11/95	9.60E-19	1.00E-21	3.00E-24	5.46E-09	1.28E-07	1.45E-07	4.45E-09	4.59E-12	0.00E+00	7.49E-07	6.39E-04	7.29E-05	6.21E-05	4.23E-05	5.50E-05	6.49E-08
820	I	05/12/95	9.71E-19	4.44E-22	5.80E-25	3.56E-09	1.37E-07	2.66E-07	1.40E-08	2.49E-11	4.37E-07	1.00E-06	6.87E-04	7.82E-05	6.52E-05	5.71E-05	6.34E-05	1.79E-08
821	I	31/01/96	9.09E-19	8.49E-23	2.27E-26	2.47E-10	2.90E-09	1.70E-09	2.71E-11	1.46E-14	0.00E+00	2.06E-07	7.45E-04	8.16E-05	6.60E-05	4.47E-05	5.49E-05	2.57E-10
822	I	21/02/96	8.93E-19	1.78E-22	1.02E-25	3.80E-10	1.39E-20	5.93E-33	6.86E-47	2.68E-62	0.00E+00	1.29E-06	6.99E-04	7.99E-05	6.47E-05	4.72E-05	6.34E-05	8.83E-10
823	I	03/04/96	9.08E-19	1.09E-22	3.75E-26	2.81E-10	5.43E-21	2.33E-33	2.72E-47	1.07E-62	0.00E+00	5.20E-07	6.91E-04	7.99E-05	6.59E-05	4.22E-05	6.34E-05	4.02E-10
824	I	02/05/96	8.61E-19	1.08E-21	3.90E-24	1.61E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	8.07E-07	6.43E-11	7.01E-04	7.79E-05	6.47E-05	5.21E-05	5.91E-05	2.40E-08
825	I	30/05/96	9.04E-19	6.86E-22	1.47E-24	1.45E-09	3.47E-08	1.42E-08	1.57E-10	5.79E-14	0.00E+00	9.52E-07	5.22E-04	8.13E-05	6.46E-05	5.73E-05	6.36E-05	1.34E-08
826	I	12/06/96	9.69E-19	7.70E-22	1.74E-24	5.23E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.14E-07	3.73E-11	6.46E-04	7.69E-05	6.32E-05	4.23E-05	5.07E-05	4.93E-08
827	I	25/06/96	5.61E-29	5.12E-32	1.33E-34	1.03E-20	9.73E-08	6.44E-07	1.16E-07	7.02E-10	0.00E+00	2.09E-07	6.75E-04	7.69E-05	6.23E-05	4.97E-05	5.92E-05	1.13E-19
828	I	08/07/96	9.06E-19	1.14E-21	4.09E-24	2.57E-09	2.13E-07	8.45E-07	9.13E-08	3.31E-10	0.00E+00	2.02E-07	6.48E-04	7.29E-05	6.39E-05	4.97E-05	5.50E-05	3.75E-08
829	I	31/07/96	8.68E-19	1.02E-21	3.42E-24	1.68E-09	1.14E-07	6.56E-07	1.03E-07	5.41E-10	0.00E+00	0.00E+00	6.77E-04	7.65E-05	6.56E-05	5.47E-05	5.92E-05	2.22E-08
830	I	15/08/96	9.76E-19	6.45E-22	1.22E-24	6.42E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	2.33E-08	0.00E+00	6.98E-04	7.99E-05	6.77E-05	5.71E-05	6.34E-05	4.56E-08
831	I	16/09/96	9.80E-19	6.33E-22	1.16E-24	6.74E-09	8.87E-08	1.44E-07	6.37E-09	9.48E-12	0.00E+00	0.00E+00	6.36E-04	7.21E-05	6.29E-05	5.47E-05	5.50E-05	5.16E-08
832	I	03/10/96	9.66E-19	9.66E-22	2.75E-24	5.95E-09	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.43E-04	7.20E-05	6.32E-05	5.72E-05	5.50E-05	7.02E-08
833	I	14/11/96	9.86E-19	1.27E-21	4.67E-24	2.48E-08	4.88E-07	7.92E-07	3.49E-08	5.19E-11	9.14E-07	2.26E-07	6.77E-04	7.65E-05	6.45E-05	4.47E-05	7.18E-05	3.22E-07
834	I	05/12/96	9.79E-19	1.62E-21	7.71E-24	1.80E-08	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	6.53E-07	4.30E-09	7.17E-04	8.00E-05	6.65E-05	4.96E-05	6.33E-05	3.33E-07
835	I	11/02/97	5.98E-29	4.86E-32	1.13E-34	9.65E-21	8.05E-08	1.43E-07	6.95E-09	1.14E-11	8.67E-07	3.96E-07	6.97E-04	7.90E-05	6.33E-05	5.21E-05	6.76E-05	9.61E-20
836	I	28/02/97	9.77E-19	8.51E-22	2.11E-24	7.48E-09	1.74E-07	4.68E-07	3.43E-08	8.43E-11	0.00E+00	0.00E+00	6.64E-04	7.39E-05	6.31E-05	4.47E-05	5.92E-05	8.12E-08

## **ANNEXE 10**

**Articles publiés sur ce travail**





## Validation of an operational procedure for aluminium speciation in soil solutions and surface waters

Jean-Pierre Boudot\*, Denis Merlet, James Rouiller, Ouafae Maitat

CNRS, Centre de Pédologie Biologique, UPR 6831, University of Nancy I, 17 rue Notre-Dame des Pauvres, BP 5, F-54501 Vandoeuvre-les-Nancy, Cédex, France

Received 11 February 1994; accepted 16 May 1994

### Abstract

Based on various methods, this paper proposes an optimized procedure to assess Al speciation in soil and surface waters. A 5-s flash extraction of some Al inorganic species by 8-hydroxyquinoline is proposed to replace the widely used rapid extraction (15 s) procedure. All species of Al relevant to natural waters were checked for extractability under the recommended conditions. The speciation of this pool may be computed by equilibrium modelling. The Al-F species were not extracted and must be computed separately by equilibrium modelling without too many uncertainties. They cannot be determined using the free F-selective electrode method, because of interferences with other ions that are too strong. The polymeric and colloidal Al species are derived from the unrecovered Al in ion chromatography using a Dionex CS-3 cationic analytical column, for which the dimeric Al-Si species extracted during the 8-hydroxyquinoline extraction step must be added. Organic Al was considered as being the amount of Al not accounted for by these combined procedures. An example of speciation is given with respect to some spring waters from the Vosges mountains in France. Often less than one-third of Al was found as toxic species, which identifies the need of such determinations to assess Al toxicity in acidified ecosystems. Among the non-toxic species, the Al-Si complexes were found to sometimes reach up to 50% of the total Al, which emphasizes the great influence of silica on Al toxicity in surface waters.

*Keywords:* Al speciation; Al toxicity; Soil acidification; Surface waters acidification

### 1. Introduction

As a consequence of acid atmospheric inputs, soluble aluminium has been increasingly recorded during the two last decades in soil solutions and flowing waters, even in non-podzolic ecosystems

(Ulrich et al., 1980; Van Breemen et al., 1987; Henriksen et al., 1988; Driscoll, 1989; Probst et al., 1990; Rosseland and Henriksen, 1990; Soveri and Ahlberg, 1990; Baur and Feger, 1992; Cumming et al., 1992; Driscoll and Van Dreason, 1993). Soluble aluminium in natural waters occurs as a number of chemical species, some of which are toxic either to plants or to aquatic organisms. Consequently, Al toxicity has been repeatedly ei-

\* Corresponding author.



ther hypothesized or demonstrated to be involved in forest decline and the disappearance of aquatic organisms.

Toxic forms of Al with respect to plants are believed to include both the  $Al_{13}$  polymer (but not Al- $PO_4$  or Al-Si polymers (Blamey et al., 1983; Barcelo et al., 1993)) and the following monomeric species:  $Al^{3+}$ ,  $AlOH^{2+}$ ,  $Al(OH)_2^+$ ,  $Al(OH)_4^-$  (due to its polymerisation to  $Al_{13}$  once absorbed by roots) and  $AlSO_4^+$  (Kinraide, 1991; Boudot et al., 1994). The  $Al(OH)_3^o$  species, the fluoride complexes of Al in the acid range (namely,  $AlF_2^+$ ,  $AlF_2^+$ ,  $AlF_3^o$  and, more rarely,  $AlF_4^-$ ) and organic Al have been proved to be non-toxic to plants (Brogan, 1964; Bartlett and Riego, 1972; Rost-Siebert, 1983; Van Praag and Weissen, 1985; Van Praag et al., 1985; Alva et al., 1986; Cameron et al., 1986; Hue et al., 1986; Suhayda and Haug, 1986; Tan and Binger, 1986; Tanaka et al., 1987; Arp and Strucel, 1989; Asp and Berggren, 1990; Suthipradit et al., 1990; MacLean et al., 1992). The toxicity of the monomeric Al-Si and Al- $PO_4$  complexes to terrestrial plants remains mostly unknown. Their non-toxicity have been proved with respect to *Chlorella pyrenoidosa* (Helliwell et al., 1983), and the same situation can be eventually expected for other plant species.

With respect to fish, the main difference in the distribution of soluble Al into toxic and non-toxic species lies in the fact that  $AlF_2^+$  remains toxic, although its injurious effect is about half than that of  $Al^{3+}$  (Wilkinson et al., 1990; Parkhurst et al., 1990). Other Al-F complexes and organic or Si complexes of Al are not significantly toxic to fish (Driscoll et al., 1980; Neville, 1985; Peterson et al., 1989; Witters et al., 1990; Birchall et al., 1989; Wilkinson et al., 1990; Parkhurst et al., 1990; Lydersen et al., 1990a). Similarly, data produced by Murungi and Robinson (1992) are compatible with a non-toxicity of some Al- $PO_4$  complexes. Nothing is known about the toxicity of Al- $SO_4$  species to fish. The strong toxicity of aluminium-rich stream waters in area of ongoing polymerisation is well documented (Baker and Schofield, 1982; Skogheim et al., 1984; Rosseland et al., 1992). The fact that this toxicity disappears

once these waters are equilibrated and conserve a constant amount of colloidal, amorphous,  $Al(OH)_3$  (Rosseland et al., 1992) suggests that this toxicity results mainly from the formation of Al polymers rather than from the formation of colloidal Al, that is again attested by the fact that at least the organic precipitates of Al have been recognized as non-toxic (Fivelstad and Leivestad, 1984).

All these data show that the determination of the speciation of Al is a pre-requisite to assess Al toxicity in soil and surface waters. Available procedures for Al speciation have until now remained mostly unsatisfactory. The most widely used method is that developed by Driscoll (1984), with or without some minor operational changes (Berggren, 1989; McAvoy et al., 1992). This method is founded upon (i) the use of a strong cationic exchange resin, set to sample pH and ionic strength, to separate organically complexed Al from inorganic Al, (ii) a rapid extraction (15 s) of both inorganic and organic monomeric Al by a 8-hydroxyquinoline solution buffered at pH 8.3. With respect to the resin step, inorganic Al was assumed to be fixed by the resin, and organic Al to pass through quantitatively. Variable decomplexation of organic Al complexes have been repeatedly reported, however, ranging from virtually 0% up to 34%, depending mainly on the Al/C ratio of the water samples (Backes and Tipping, 1987; Berggren, 1989; Dahlgren and Ugolini, 1989; Kerven et al., 1989; Van Benschoten and Edzwald, 1990). Decomplexation was found to be negligible at low Al/C ratios, as is the case in podzol solutions, and to increase progressively once the Al/C ratio exceeds 300-500  $\mu M$  Al/g<sup>-1</sup> organic matter, and reaches 25% of the initial organic Al for values of this ratio of around 1000. As this ratio usually ranges from 3000 to 12000 in acid brown soils and from 150 to 10000 in acid flowing waters, the resin method obviously cannot be used universally. Moreover, uncharged or negatively charged monomeric and polymeric colloidal inorganic species cannot be fixed by the resin and are recovered as organic Al (Lydersen et al., 1990b; Alvarez et al., 1992), while cationic organo-Al complexes may be fixed



and recovered as inorganic Al. The same imperfections were noticed with chelating resins (Campbell et al., 1983; Hodges, 1987; Kerven et al., 1989). In addition, it was shown that the 8-hydroxyquinoline extraction at pH 8.3 failed to recover quantitatively organic Al (Lalande and Hendershot, 1986; Roysset and Sullivan, 1986), and may be strongly biased owing to inevitable interferences with Mn and many other elements when detection is to be performed by spectrophotometry. The cumulative effect of all these imperfections will result, thus, in strong uncertainties with respect to the reliability of this procedure.

Alternatively, various methods involving the extraction of several Al species by a 8-hydroxyquinoline solution buffered either at pH 5 (James et al., 1983) or at pH 8.3 (Barnes, 1975; LaZerte, 1984) have been used. The pH 5 extraction was believed to recover all the inorganic monomeric species except for the Al-F ones, and the pH 8.3 extraction to extract all species of monomeric, both inorganic and organic, Al. The difference between these two extractions would be regarded as a good assessment of the sum of the organic and fluoride-bound Al species (Lalande and Hendershot, 1986). As extraction at pH 8.3 for 15 s fails to recover quantitatively organic-Al, this procedure can be interpreted only for non-organic samples, which precludes its use in most of the natural waters. With respect to the pH 5 extraction, the original procedure involved a 15-s extraction step ('rapid extraction procedure') (James et al., 1983; Noble et al., 1988). Under these conditions, some Al-F complexes (8%) and various amounts (25–50%) of organically complexed Al are extracted however, and this reduces strongly the usefulness of the method (Lalande and Hendershot, 1986; Kerven et al., 1989; Whitten et al., 1992; Luster et al., 1993). In addition, the extractibility of the Al-PO<sub>4</sub> and Al-Si complexes remains unknown or uncertain. Moreover, although interferences during the spectrophotometric detection step can be lower in the pH 5 than in the pH 8.3 extraction, some of them can be suspected to be maintained, depending on the sample concentration in trace elements. In order to resolve these imperfections, Clarke et al. (1992) used a flow injection analysis (FIA) system to

reduce the extraction time to 2.3 s and to increase the repetitivity of the procedure. Under these conditions the Al-F complexes were mostly not extracted and the very weak organic complexes of Al only (i.e. Al-acetate, Al-glycine) were considered to be extracted. The extractibility of the Al-Si and Al-PO<sub>4</sub> complexes were not assessed, however, and a number of interferences were either not fully resolved or remained obscure. A number of other procedures have been attempted, most of them suffering of various defects that hinder their use in complex natural waters satisfactorily (Boudot et al., 1994).

The present paper gives an operational procedure in which some of the best available methods were selected, optimized and combined in order to be suitable for the speciation of Al in natural waters.

## 2. Improved procedure for Al speciation

### 2.1. Total Al determination

Total Al may be determined by inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy (ICPAES) on pre-acidified samples (pH = 2).

### 2.2. Flash extraction procedure of Al by 8-hydroxyquinoline

Several species of Al can be recovered by a 8-hydroxyquinoline extraction at pH 5, but undesirable artefacts are inherent in the usual procedures (see above). In order to limit as far as possible the extraction of organic Al and to avoid significant interferences by major or trace elements, we retained the suggestion of Clarke et al. (1992) of shortening considerably the time of extraction and using both hydroxylamine chlorhydrate and 1,10-orthophenanthroline as masking reagents. Hand extraction was preferred to the FIA system of Clarke et al. (1992), however, as it can be performed in the field when necessary, and also because the interferences were much more satisfactorily suppressed. Other suggestions are adapted from James et al. (1983) and Lalande and Hendershot (1986).



### Detailed procedure

- Add 500  $\mu\text{l}$  ultra pure water in a 16-ml polyethylene culture tube.
- Add 200  $\mu\text{l}$  of a 1% 8-hydroxyquinoline solution (i.e. 10 g dissolved in 20 ml of glacial acetic acid, then adjusted to 1 l with ultra pure water).
- Add 200  $\mu\text{l}$  of a 1-M Na acetate solution containing 10 g/l of 1,10-orthophenanthroline and 35 g/l of hydroxylamine chlorhydrate.
- Add 5 ml of the sample to be analysed forcefully by a piston pipette, taking care to assure sufficient turbulences to achieve a complete mixing of the sample with the buffered 8-hydroxyquinoline. The final pH should be close to 5.
- Stop the reaction by immediately and forcefully inject 4.5 ml of methyl isobutyl ketone (MIBK) with a second pre-filled piston pipette. Strong turbulence is required to achieve most of the extraction of the Al-quinolate. The end of this injection must be terminated 5 s after the beginning of the injection of the sample in the buffered 8-hydroxyquinoline.
- Immediately, cap the tube and achieve the extraction of Al-quinolate with MIBK by shaking it vigorously for up to 15 s (counted from the beginning of the injection of the sample in the buffered 8-hydroxyquinoline).
- Once the two phases have separated, read the absorption of the MIBK phase both at 390 nm and 600 nm. When this cannot be performed immediately (extractions in the field), store the MIBK phase separately in a 4-ml inert high density polyethylene vial and store as cold as possible until the determination of the absorbance can be performed.
- Blank and standards must be analysed similarly to the unknown water samples and strictly at the same temperature. The calibration curve, which is strongly dependent of the temperature of the standards, appears to be almost linear in the range 0-1500  $\mu\text{g/l}$  but fits better to a second-order polynomial curve in the range 0-5000  $\mu\text{g/l}$ . With experience, the repeatability of the extraction, determined on known samples, is usually  $\pm 5\%$ .

- In organic-rich samples, some organic molecules may be extracted by the MIBK, that create some (usually low) interferences. The latter can be corrected by making up a parallel supplementary extraction in which the 8-hydroxyquinoline is omitted in the acid reagent (therefore the latter is constituted of 20 ml glacial acetic acid in 1 l water). All absorbance in this extraction must be then subtracted from the corresponding one in the normal flash 8-hydroxyquinoline extraction.

### Validation of the method

*Possible interferences.* As, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Sc, Sb, Se, Sn, Y and Zn created no detectable interference at the level of 500  $\mu\text{g/l}$ , nor did Mn at the level of 100 mg/l. Conversely, the interference originating from the presence of Fe cannot be totally eliminated and must be corrected from the value of the absorbance at 600 nm (James et al., 1983). In this procedure, the Fe-quinolate is the only complex which absorbs both at 390 nm and 600 nm. The following relation has been found in the range 0-1000  $\mu\text{g/l}$  Fe: absorbance at 390 nm =  $1.2 \times$  absorbance at 600 nm. Thus, Fe interference in an unknown sample can be corrected by subtracting  $1.2 \times$  the value of the absorbance at 600 nm from the absorbance at 390 nm. Significant interference is created by Ag over 250  $\mu\text{g/l}$  and by Mo over 100  $\mu\text{g/l}$ , which is not relevant to natural waters. More inopportune is the significant interference originating from the occurrence of  $> 50 \mu\text{g/l}$  Ni, 8  $\mu\text{g/l}$  Ti or 5  $\mu\text{g/l}$  V. The concentration of such elements must be known, thus, before applying this procedure. A correction by known standards may be envisaged in waters too concentrated in these elements.

*Identity of the extracted species of Al.* The identity of the species of Al which are extracted by this procedure was obtained by comparing the amount of Al extracted in known samples with their theoretical speciation calculated with the MINEQL<sup>+</sup> V 2.2 chemical equilibrium program (Schecher and McAvoy, 1992). The program database was updated and the revised formation constants listed in Tables 1 and 2 were used throughout.



Table 1

Soluble inorganic Al species and formation constants (log form) used for Al speciation with MINEQL<sup>+</sup> (corrected to zero ionic strength and 25°C when necessary, according to Stumm and Morgan (1981); others are those of the original database)

Species	log <i>K</i>	Source
Al <sup>3+</sup>		
AlOH <sup>2+</sup>	-5	Nordstrom and May (1989)
Al(OH) <sub>2</sub> <sup>+</sup>	-10.1	Nordstrom and May (1989)
Al(OH) <sub>3</sub> <sup>0</sup>	-16.8	Nordstrom and May (1989)
Al(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	-22.7	Nordstrom and May (1989)
AlSO <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3.5	Nordstrom and May (1989)
Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> <sup>-</sup>	5	Nordstrom and May (1989)
AlF <sup>2+</sup>	7	Nordstrom and May (1989)
AlF <sub>2</sub> <sup>+</sup>	12.7	Nordstrom and May (1989)
AlF <sub>3</sub> <sup>0</sup>	16.8	Nordstrom and May (1989)
AlF <sub>4</sub> <sup>-</sup>	19.4	Nordstrom and May (1989)
AlF <sub>5</sub> <sup>2-</sup>	20.6	Nordstrom and May (1989)
AlF <sub>6</sub> <sup>3-</sup>	20.6	Nordstrom and May (1989)
AlPO <sub>4</sub> <sup>0</sup>	16.76	Duffield et al. (1991)
AlHPO <sub>4</sub> <sup>+</sup>	19.1	Duffield et al. (1991)
AlH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	21.83	Duffield et al. (1991)
Al <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>3+</sup>	18.87	Duffield et al. (1991)
Al <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>+</sup>	14.14	Duffield et al. (1991)
Al <sub>2</sub> (OH) <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	-7.7	Stumm and Morgan (1981)
AlO <sub>4</sub> Al <sub>12</sub> (OH) <sub>29</sub> <sup>2+</sup>	-127	Bottero et al. (1982) (charge and log <i>K</i> depending on Al concentration)
Si <sub>4</sub> O <sub>6</sub> (OH) <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	-12.57	Alchemi V. 4.1 (Schecher, 1989, Alchemi 4.1 program. pers. commun.)
H <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-22.02	Alchemi V. 4.1 (Schecher, 1989, Alchemi 4.1 program. pers. commun.)
H <sub>3</sub> SiO <sub>4</sub>	-9.46	Alchemi V. 4.1 (Schecher, 1989, Alchemi 4.1 program. pers. commun.)
AlOSi(OH) <sub>3</sub> <sup>2+</sup>	-1.07	Browne and Driscoll (1992)
Al <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> OSi(OH) <sub>3</sub> <sup>3+</sup>	-5.11	Browne and Driscoll (1992)
Al <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> (OSi(OH) <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	-6.72	Browne and Driscoll (1992)

Figs. 1–5 show that the inorganic monomeric species of Al are all quantitatively extracted with the exception of the Al–F complexes, which are not at all recovered. In addition, what can be calculated as dimeric Al–Si species using the equilibrium constants determined by Browne and Driscoll (1992) are also extracted, in contrast to the dimeric Al–PO<sub>4</sub> ones, which were not recovered. With respect to organic Al, and for the experimental conditions under which both inorganic and organic Al were likely to coexist, the results of the theoretical speciation did not always identify whether or not organic Al was partially extracted (Figs. 6–10). Under these conditions, either aberrant or contradictory data were obtained, depending of the equilibrium constants used. To overcome this problem which was thought to result from important uncertainties concerning the organic Al equilibrium constants, only the data obtained under the conditions in

which only organic Al occurred whatever the equilibrium constants selected were interpreted, (i.e. in conditions of high to very high ligand/Al ratio and pH set in the range 4.5–5). For these conditions, a low or very low and constant rate of Al was extracted by the buffered 8-hydroxyquinoline, and this rate is thought to represent the part of organic Al which was undesirably extracted. From these considerations, it can be deduced that organically complexed Al remains poorly extractable under the prevailing conditions, with a maximal artefact reaching about 8% in the case of soil organic Al.

#### *Speciation of the Al recovered by the 8-hydroxyquinoline flash extraction procedure*

Each species of Al extracted by the procedure described above can be individually determined by equilibrium calculations with MINEQL<sup>+</sup>, enter-

Table 2  
Soluble organic Al species and formation constants (log form) used for Al speciation with MINEQL<sup>+</sup> (corrected to zero ionic strength and 25°C when necessary, according to Stumm and Morgan (1981))

Species	log K	Source
HFulvate <sup>-</sup>	6.22	Alchemi V. 4.1 (Schecher, 1989, program. pers. commun.)
H <sub>2</sub> Fulvate <sup>o</sup>	9.59	Alchemi V. 4.1 (Schecher, 1989, program. pers. commun.)
AlFulvate <sup>+</sup>	6.48	Alchemi V. 4.1 (Schecher, 1989, program. pers. commun.)
AlOHFulvate <sup>o</sup>	1.74	Alchemi V. 4.1 (Schecher, 1989, program. pers. commun.)
AlFulvateHPO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	27.69	Arp and Meyer, 1985
HTartrate <sup>-</sup>	4.3	Motekaitis and Martell (1984)
H <sub>2</sub> Tartrate <sup>o</sup>	7.21	Motekaitis and Martell (1984)
AlOHTartrate <sup>o</sup>	1.79	Motekaitis and Martell (1984)
Al(OH) <sub>2</sub> Tartrate <sup>-</sup>	-3.36	Motekaitis and Martell (1984)
Al(Tartrate) <sub>2</sub> <sup>-</sup>	8.51	Motekaitis and Martell (1984)
AlOH(Tartrate) <sub>2</sub> <sup>2-</sup>	4.54	Motekaitis and Martell (1984)
Al(OH) <sub>3</sub> (Tartrate) <sub>2</sub> <sup>4-</sup>	-9.35	Motekaitis and Martell (1984)
Al(OH) <sub>4</sub> (Tartrate) <sub>3</sub> <sup>7-</sup>	-19.95	Motekaitis and Martell (1984)
Al(OH) <sub>5</sub> (Tartrate) <sub>3</sub> <sup>8-</sup>	-32.55	Motekaitis and Martell (1984)
Al(OH) <sub>6</sub> (Tartrate) <sub>3</sub> <sup>9-</sup>	-47.21	Motekaitis and Martell (1984)
HSalicylate <sup>-</sup>	13.7	Geochem-PC Parker et al. (1992)
H <sub>2</sub> Salicylate <sup>o</sup>	16.7	Geochem-PC Parker et al. (1992)
AlSalicylate <sup>+</sup>	12.9	Geochem-PC Parker et al. (1992)
Al(Salicylate) <sub>2</sub> <sup>-</sup>	23.2	Geochem-PC Parker et al. (1992)
Al(Salicylate) <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	29.8	Geochem-PC (Parker et al., 1992)
HOxalate <sup>-</sup>	4.13	Mean of Geochem-PC and MINEQL + (Martell and Smith, 1977)
H <sub>2</sub> Oxalate <sup>o</sup>	5.38	Mean of Geochem-PC and MINEQL + (Martell and Smith, 1977)
AlOxalate <sup>+</sup>	7.8	Mean of Geochem (Sposito and Mattigod 1980; Nordstrom and May, 1989; Martell and Smith, 1977)
Al(Oxalate) <sub>2</sub> <sup>-</sup>	13.38	Mean of Geochem-PC, MINEQL + (Nordstrom and May, 1989; Martell and Smith, 1977)
Al(Oxalate) <sub>3</sub> <sup>3-</sup>	16.68	Martell and Smith (1977)
HCitrate <sup>2-</sup>	6.37	Findlow et al. (1990)
H <sub>2</sub> Citrate <sup>-</sup>	11.12	Findlow et al. (1990)
H <sub>3</sub> Citrate <sup>o</sup>	14.17	Findlow et al. (1990)
AlOHCitrate <sup>-</sup>	6.66	Findlow et al. (1990)
AlHCitrate <sup>+</sup>	12.04	Findlow et al. (1990)
AlCitrate <sup>o</sup>	9.72	Findlow et al. (1990)
Al(Citrate) <sub>2</sub> <sup>3-</sup>	14.98	Findlow et al. (1990)
AlOH(Citrate) <sub>2</sub> <sup>4-</sup>	8.49	Findlow et al. (1990)
AlCitrate(OH) <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.43	Findlow et al. (1990)

ing the extracted Al under 'total Al' and allowing the formation of the extractable species only (see formation constants in Table 1). Total concentrations of all other elements must also be entered in the computation in order to maintain the control of the ionic strength on speciation.

### 2.3. Determination of the Al-F species

The Al-F species cannot be determined directly by ion chromatography in samples contain-

ing both F and organic anions, as both Al-F complexes and cationic organo-Al species were found to be able to coelute in each of the first two peaks. In addition, a significant decomplexation and redistribution between the Al-F species has been outlined by Bertsch and Anderson (1989), producing poorly reliable results for individual species in some instances.

Although the determination of the total speciation of Al using the F<sup>-</sup> selective electrode method (Driscoll, 1984) does not seem to be always reli-



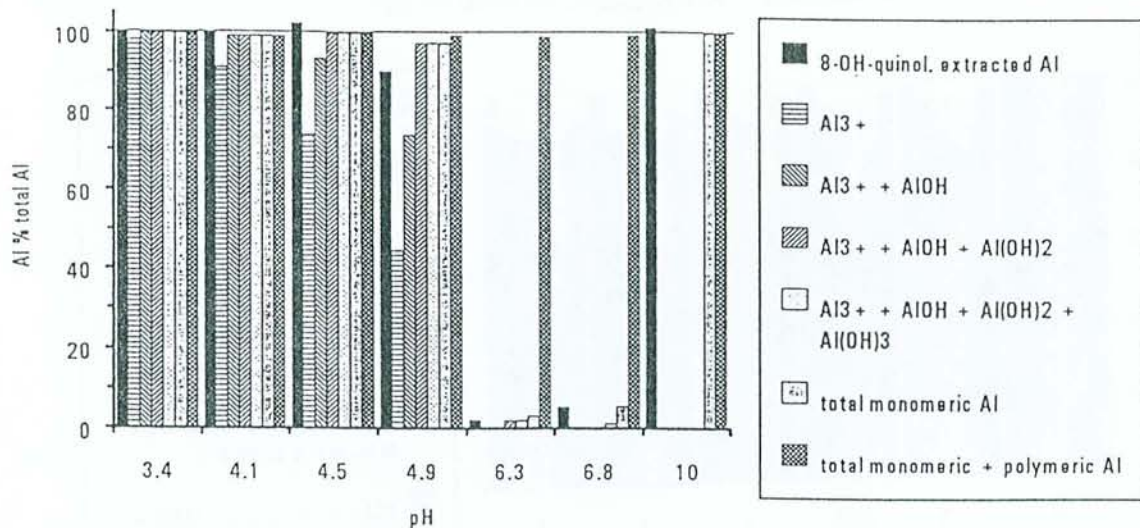


Fig. 1. Response of the hydroxy-Al species during the flash extraction procedure (Al = 1 mg/l; 16 h equilibrium at the indicated pH). The black histograms are experimental data, others are computed data according to the stability constants listed in Table 1.

able (LaZerte, 1984; Munns et al., 1992), the Al-F species alone would be theoretically accounted for using the free  $F^-$  values measured by this method, based on the mass action law (Driscoll, 1984). Unfortunately, we found that this method suffered from interference by other ions, that were too strong and produced even negative

values for free  $F^-$  in very simple synthetic Al-F-Na systems with a calculated activity of  $10^{-3}$  M free  $F^-$  (basing on equilibrium modelling with MINEQL+).

It may be possible to bypass this problem, however, by taking advantage of the fact that F has a very stronger affinity for Al than many other

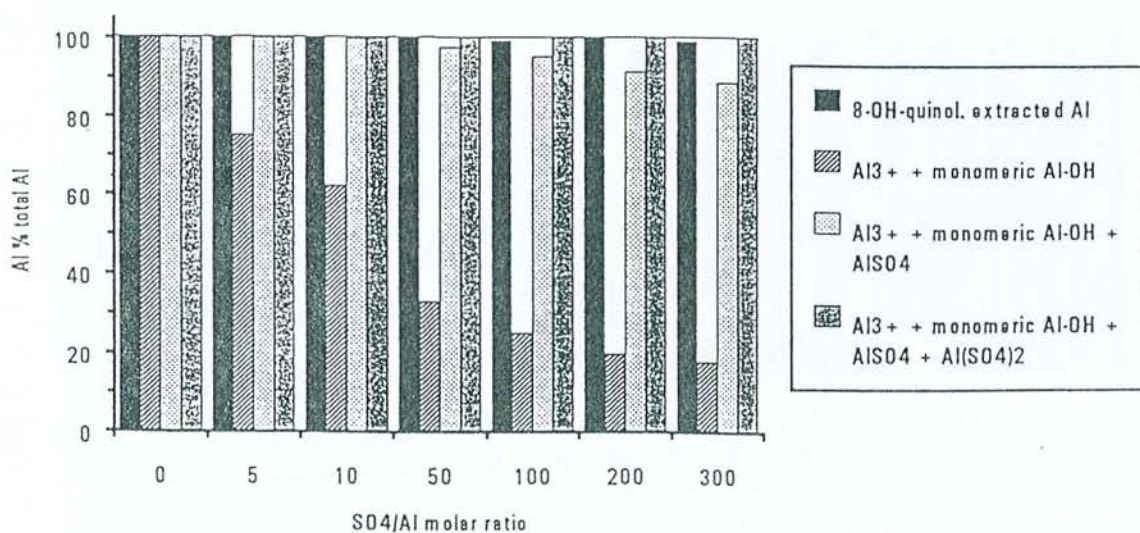


Fig. 2. Response of the Al-SO<sub>4</sub> species during the flash extraction procedure (Al, 1 mg/l; pH 3.3-3.5, 24 h equilibrium). The black histograms are experimental data, others are computed data according to the stability constants listed in Table 1.

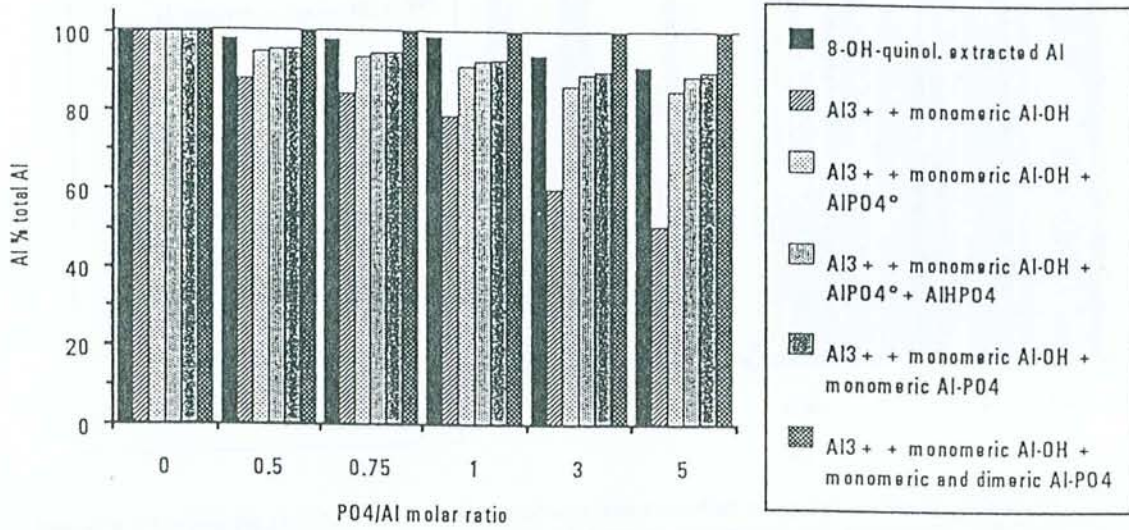


Fig. 3. Response of the Al-PO<sub>4</sub> species during the flash extraction procedure (Al, 1 mg/l; pH 3.3, 24 h equilibrium). The black histograms are experimental data, others are computed data according to the stability constants listed in Table 1.

ligands. When speciation is determined by chemical equilibrium calculations, the strongest uncertainty originates clearly from the equilibrium constants used for organic Al formation and organic matter protonation. This should result in strong errors with respect to the calculated amounts of

those of Al species which have an affinity for Al that is weaker than or comparable with natural organic matter, but this may be not true for those having a stronger affinity for Al, such as F. That means that the calculated Al-F species would be poorly sensitive to uncertainties for organic mat-

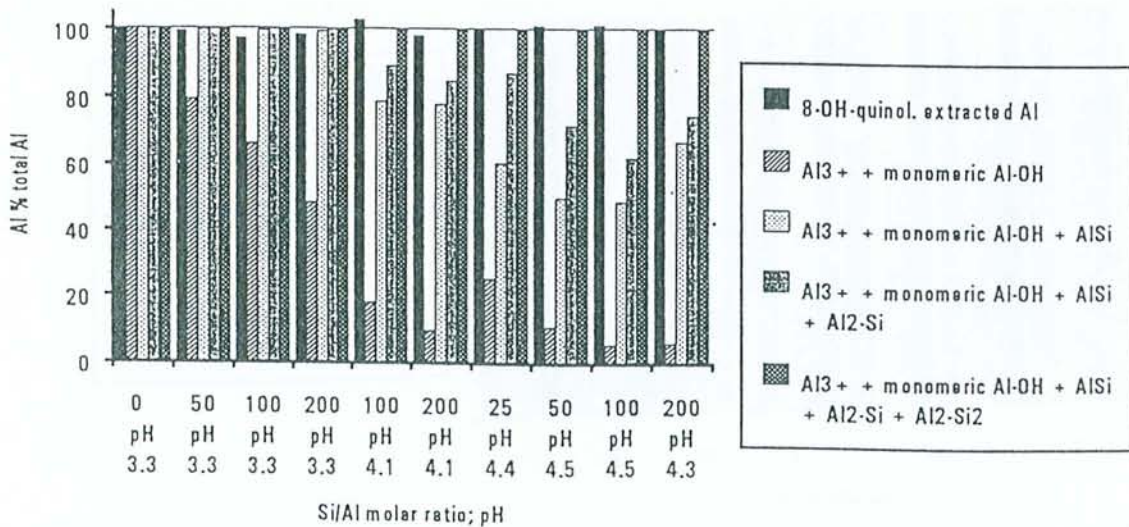


Fig. 4. Response of the Al-Si species during the flash extraction procedure (Al, 1 mg/l; 16 h equilibrium, pH indicated). The black histograms are experimental data, others are computed data according to the stability constants listed in Table 1.



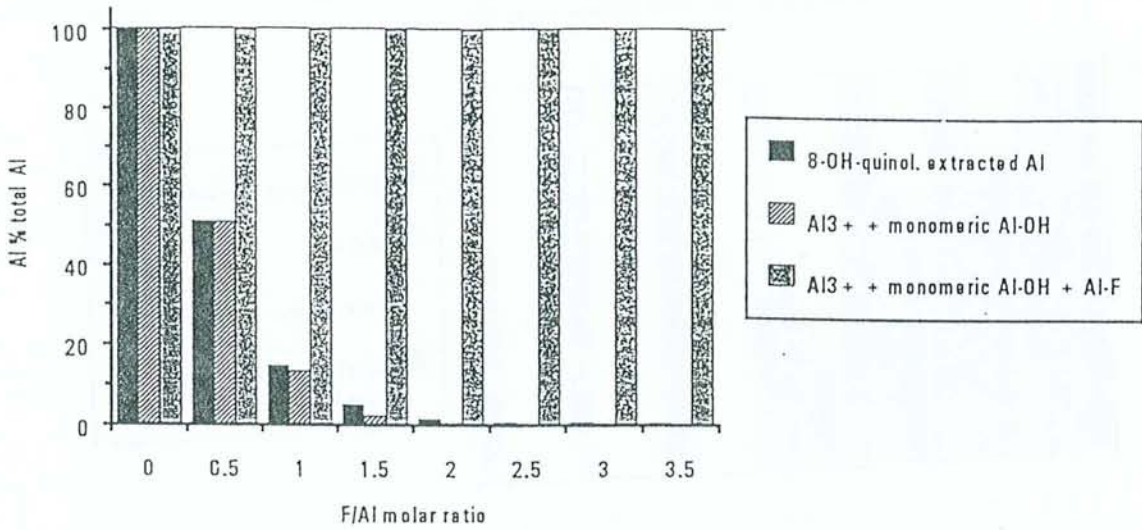


Fig. 5. Response of the Al-F species during the flash extraction procedure (Al, 1 mg/l; pH 3.3, 64 h equilibrium). The black histograms are experimental data, others are computed data according to the stability constants listed in Table 1.

ter and organic Al equilibrium constants. This was investigated using both lysimetric solutions from an acid brown soil and a podzol, and several acid to neutral spring waters, all from the Vosges mountains (eastern France). The use of the vari-

ous available constants (Lövgren et al., 1987; Schecher, 1989, Alchemi 4.1 program. pers. commun.) produced 0-20% variations in the calculated Al-F species, and the results were, in a number of cases, very similar to those obtained

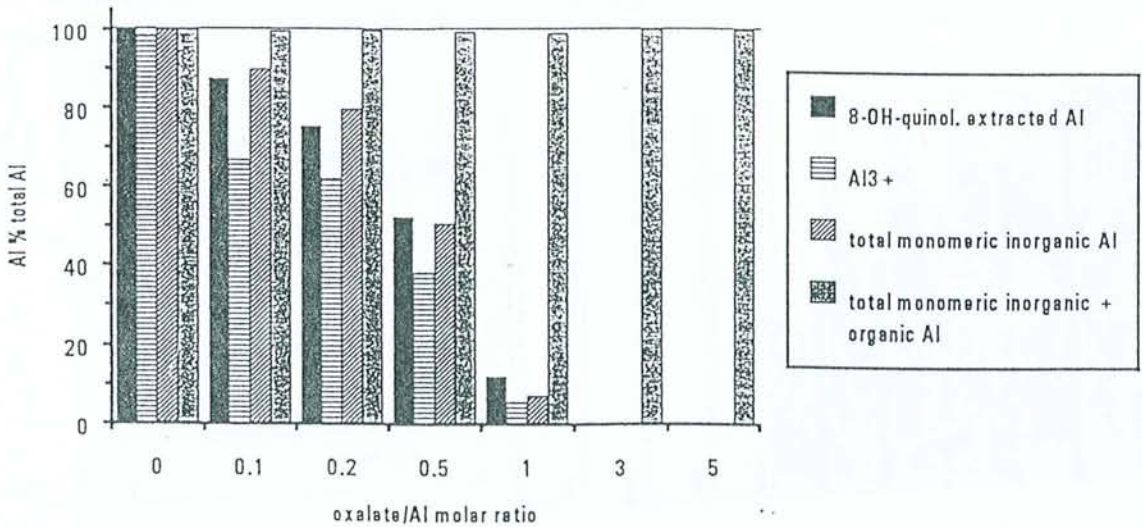


Fig. 6. Response of the Al-oxalate complexes during the flash extraction procedure (Al, 1 mg/l; pH 4.5 except for the control which is at pH 3.3; 5 h equilibrium). The black histograms are experimental data, others are computed data according to the stability constants listed in Tables 1 and 2.

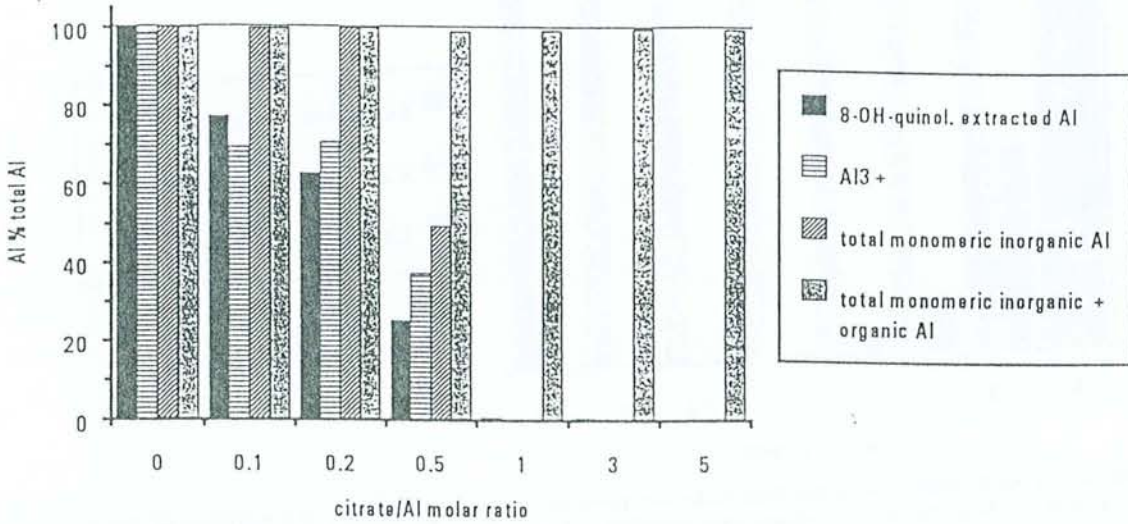


Fig. 7. Response of the Al-citrate complexes during the flash extraction procedure (Al, 1 mg/l; pH 4.5 except for the control which is at pH 3.3; 5 h equilibrium). The black histograms are experimental data, others are computed data according to the stability constants listed in Tables 1 and 2.

without allowing the formation of organic Al (Figs. 11 and 12). This verifies the above hypothesis to some extent and such an estimation can be used in water samples such as those encountered in acidic oligotrophic ecosystems.

#### 2.4. Determination of total monomeric versus polymeric / colloidal Al by ion chromatography

Making use of a Dionex CS-3 cationic column coupled to a post-column detector using Tiron,

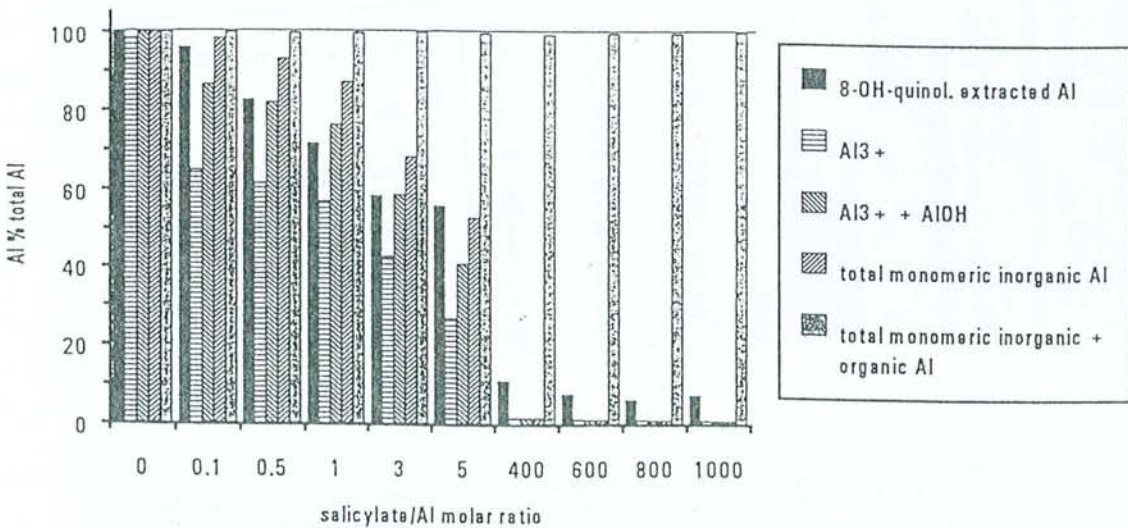


Fig. 8. Response of the Al-salicylate complexes during the flash extraction procedure (Al, 1 mg/l; pH 4.6-4.9 except for the control which is at pH 3.3; 5 h equilibrium). The black histograms are experimental data, others are computed data according to the stability constants listed in Tables 1 and 2.



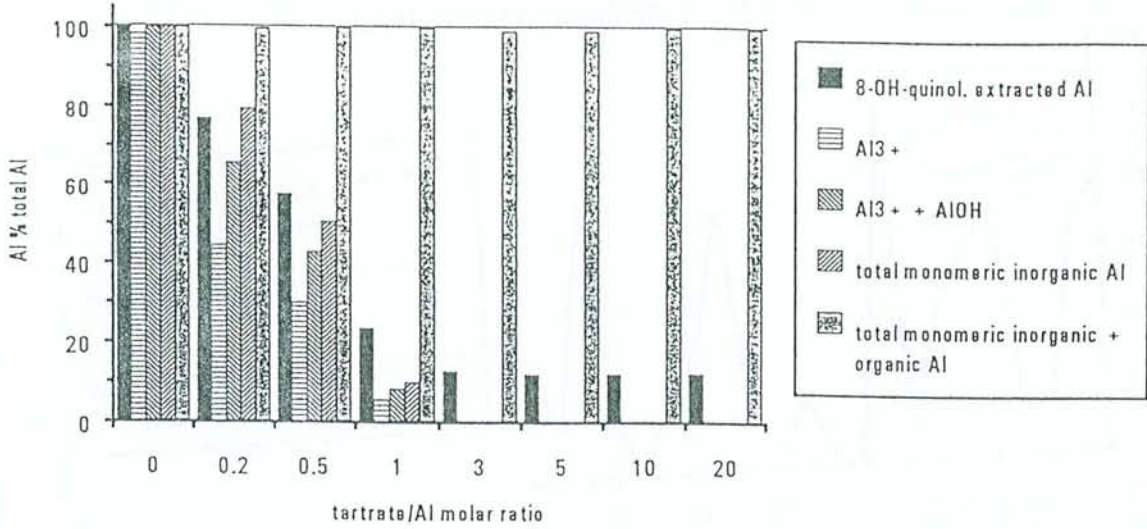


Fig. 9. Response of the Al-tartrate complexes during the flash extraction procedure (Al, 1 mg/l; pH 4.8 except for the control which is at pH 3.3; 5 h equilibrium). The black histograms are experimental data, others are computed data according to the stability constants listed in Tables 1 and 2.

Anderson and Bertsch (1988) and Bertsch and Anderson (1989) showed that ion chromatography was able to recover quantitatively organic and inorganic monomeric species of Al in several peaks, and that polymeric and colloidal species were not accounted for in the chromatogram.

Although this method is not suitable for the overall speciation of monomeric Al in natural waters, owing to both the occurrence of some redistribution between species during chromatography and the frequent coelution of both organic Al and Al-F complexes in each of the two first peaks in

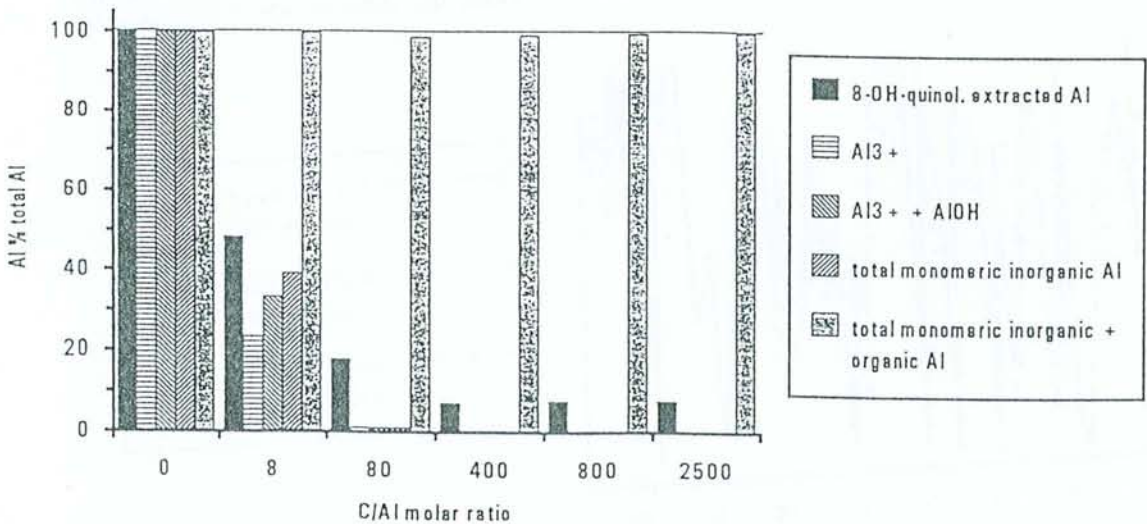


Fig. 10. Response of the Al-fulvate complexes during the flash extraction procedure (Al, 1 mg/l; pH 4.8 except for the control which is at pH 3.3; 5 h equilibrium). The black histograms are experimental data, others are computed data according to the stability constants listed in Tables 1 and 2.

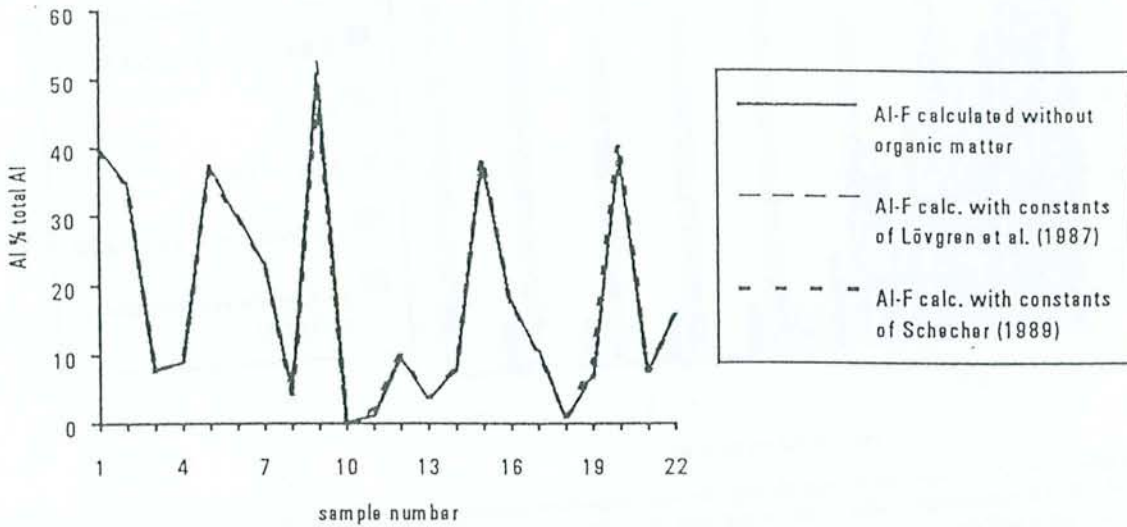


Fig. 11. Computed Al-F values calculated with various equilibrium constants for organic Al formation and organic matter protonation, or without allowing the formation of organic Al:soil solutions from an acid brown soil (Nos. 1-10) and from a podzol (Nos. 11-22), both on sandstone in the Vosges mountains.

samples containing both fluoride and organic anions, unrecovered Al may be regarded as being of polymeric and/or colloidal nature, recovered Al as integrating total monomeric species, both inorganic and organic (Bertsch and Anderson, 1989). In this context, we have found that the Al-Si and

Al-PO<sub>4</sub> monomers and the Al-Si dimeric species, according to the equilibrium constants listed in Table 1, were all dissociated and recovered in the third peak under Al<sup>3+</sup>. Conversely, larger Al-Si polymers and Al-PO<sub>4</sub> polymers remained unrecovered. Thus, the dimeric Al-Si species calcu-

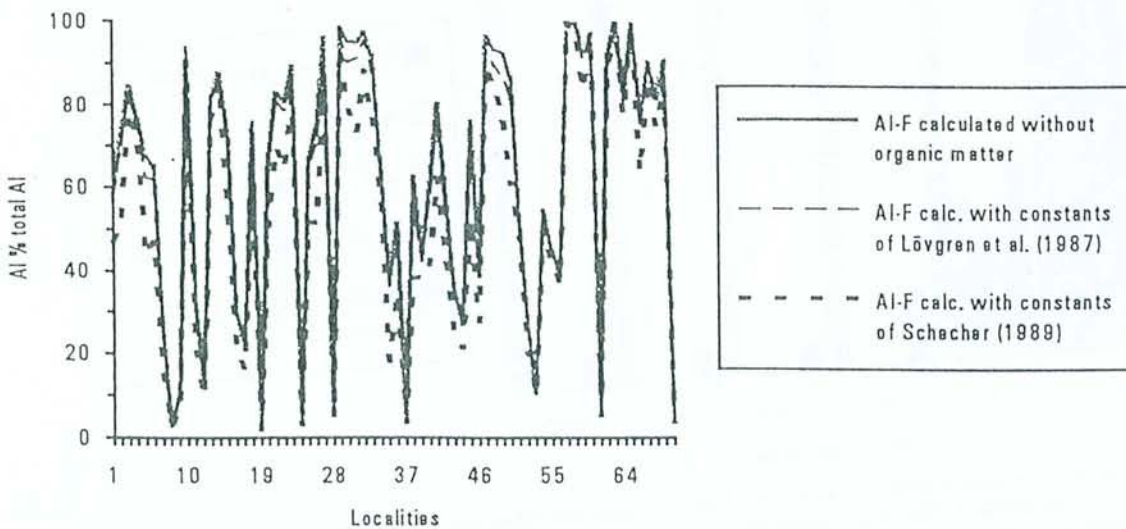


Fig. 12. Computed Al-F values calculated with various equilibrium constants for organic Al formation and organic matter protonation, or without allowing the formation of organic Al: acid and neutral flowing waters from the Vosges mountains on granitic bedrocks.



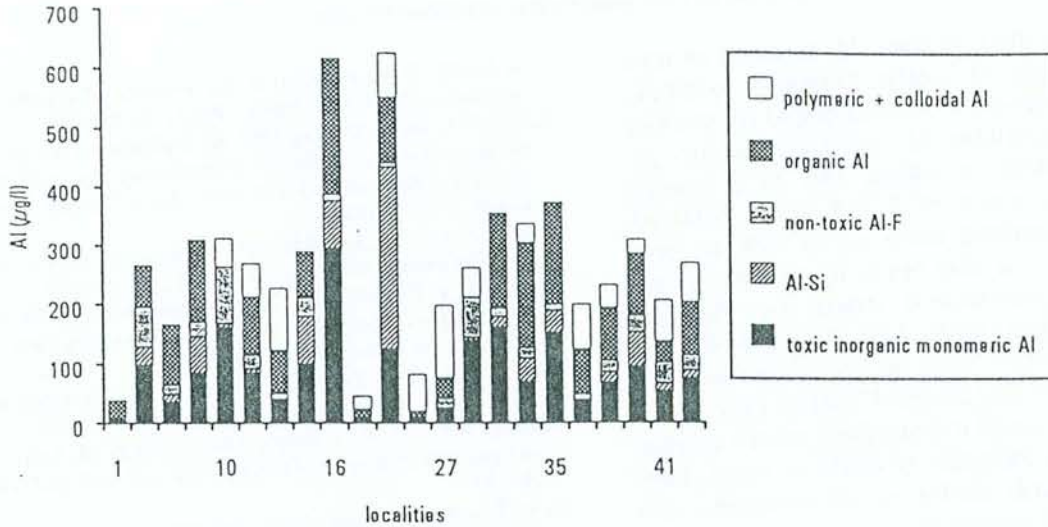


Fig. 13. Al speciation and toxicity in contrasted spring waters from the Vosges mountains (March 1994). Toxic inorganic monomeric Al,  $Al^{3+} + Al(OH)^{2+} + Al(OH)_2^+ + Al(OH)_4^- + AlSO_4^+ + AlF_2^{2+}$ ; non-toxic Al-F,  $1/2AlF_2^{2+} + AlF_2^+ + AlF_3^0 + AlF_4^-$ . The Al-Si species are both the monomeric and the dimeric complexes. The dimeric Al-Si species have been omitted in the polymeric/colloidal Al.

lated during the speciation of the 8-hydroxyquinoline-extracted Al pool must be added to the unrecovered Al by ion chromatography in order to obtain the total polymeric Al species.

### 2.5. Determination of the organic Al species

Organic Al is then equal to total Al minus the Al recovered by the 8-hydroxyquinoline, minus the Al-F complexes and minus the Al unrecovered by ion chromatography.

## 3. Discussion and conclusion

The shortening of the time of extraction of Al by the buffered 8-hydroxyquinoline to less than 5-s was intended to limit as far as possible the partial and undesired extraction of organic Al occurring in the classical 15-s extraction. In the present flash extraction procedure, only 8% of the Al of a synthetic Al-fulvate complex was extracted, whereas it reached 20% in the 15-s extraction procedure (data not shown). In acid flowing waters from the Vosges mountains, the 5-s extraction procedure extracted only 45-83% of the Al recovered by the 15-s extraction procedure

(data not shown). The flash extraction procedure is thus believed to be more selective, although not entirely, than a 15-s extraction with respect to the non-extraction of organic Al, and should be preferred. On the other hand, the assessment of organic Al in acid flowing waters from the Vosges mountains lacking in F by the combined methods described in this paper produced results exceeding those obtained by direct determination by ion chromatography (sum of the two first peaks) from 7% to 32% (data not shown). The latter method results, thus, in a stronger decomplexation of organic Al than the procedure we described above. In addition, as the interferences of various major or trace elements either can be corrected (Fe) or have been reduced so as to be compatible with most of the natural waters, the combined procedure described in this paper seems to be one of the best for Al speciation in ecosystem studies, and may be recommended.

An illustration of Al speciation by this procedure in various spring waters from the Vosges mountains is shown in Fig. 13. The necessity of the knowledge of the speciation of Al in order to assess Al toxicity appears clearly, as a number of the springs studied have less than half or even



less than one-third of their Al identified as toxic species. Others Al species pertained to silica-, fluoride- and humic substances-bound Al, at which variable proportions of colloidal and/or polymeric Al must be added. The Al-Si species were often in excess of 5-10% of the total Al, and may sometimes reach up to 25% or even 50%. Organic Al may reach up to 80% of the total Al in near-neutral waters, and fluoride-bound aluminium up to 30%. As the Al-Si and organo-Al species must be considered as non-toxic, and as among the Al-F species only  $AlF^{2+}$  maintains a residual toxicity, these results emphasize the great influence of dissolved silica, fluoride and organic matter on Al speciation and toxicity in acid ecosystems.

#### Acknowledgements

This work is paper No. 695 of the 'Dynamique et Bilans de la Terre' programme of the INSU (CNRS, France), and was supported by contract DBT 91 02 (J.Y. Bottero). A grant by the 'Science and Technology for Environmental Protection/European Network of Catchments Organised for Research on Ecosystems' programme of the Commission of the European Communities was also obtained, under contract STEP-CT90-0113 (MNLA).

#### References

- Alva, A.K., D.G. Edwards, C.J. Asher and F.P.C. Blamey, 1986. Relationships between root length of soybean and calculated activities of aluminum monomers in nutrient solution. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50: 959-962.
- Alvarez, E., A. Martinez and R. Calvo, 1992. Geochemical aspects of aluminium in forest soils in Galicia (N.W. Spain). *Biogeochemistry*, 16: 167-180.
- Anderson, M.A. and P.M. Bertsch, 1988. Dynamics of aluminum complexation in multiple ligand systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52: 1597-1602.
- Arp, P.A. and W.L. Meyer, 1985. Formation constants for selected organo-metal ( $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ )-phosphate complexes. *Can. J. Chem.*, 63: 3357-3366.
- Arp, P.A. and I. Strucel, 1989. Water uptake by black spruce seedlings from rooting media (solution, sand, peat) treated with inorganic and oxalated aluminum. *Water Air Soil Pollut.*, 44: 57-70.
- Asp, H. and D. Berggren, 1990. Phosphate and calcium uptake in Beech (*Fagus sylvatica*) in the presence of aluminium and natural fulvic acid. *Physiol. Plant.*, 80: 307-314.
- Backes, C.A. and E. Tipping, 1987. An evaluation of the use of cation-exchange resin for the determination of organically-complexed Al in natural acid water. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 30: 135-143.
- Baker, J.P. and C.L. Schofield, 1982. Aluminum toxicity to fish in acidic waters. *Water Air Soil Pollut.*, 18: 289-309.
- Barcelo, J., P. Guevara, and Ch. Poschenrieder, 1993. Silicon amelioration of aluminium toxicity in teosinte (*Zea mays* L. ssp. *mexicana*). *Plant Soil*, 154: 249-255.
- Barnes, R.B., 1975. The determination of specific forms of aluminum in natural water. *Chem. Geol.*, 15: 177-191.
- Bartlett, R.J. and D.C. Riego, 1972. Toxicity of hydroxy aluminum in relation to pH and phosphorus. *Soil Sci.*, 114: 194-200.
- Baur, S. and K.H. Feger, 1992. Importance of natural soil processes relative to atmospheric deposition in the mobility of aluminium in forested watersheds of the Black Forest. *Environ. Pollut.*, 77: 99-105.
- Berggren, D., 1989. Speciation of aluminum, cadmium, copper and lead in humic soil solutions — a comparison of the ion exchange column procedure and equilibrium dialysis. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 35: 1-15.
- Bertsch, P.M. and M.A. Anderson, 1989. Speciation of aluminum in aqueous solutions using ion chromatography. *Anal. Chem.*, 61(6): 535-539.
- Birchall, J.D., C. Exley, J.S. Chappell and M.J. Phillips, 1989. Acute toxicity of aluminium to fish eliminated in silicon-rich acid waters. *Nature*, 338: 146-148.
- Blamey, F.P.C., D.G. Edwards and C.J. Asher, 1983. Effects of aluminum, OH:Al and P:Al molar ratios and ionic strength on soybean root elongation in solution culture. *Soil Sci.*, 136: 197-207.
- Bottero, J.Y., J.P. Marchal, J.E. Poirier, J.M. Cases and F. Fiessinger, 1982. Etude, par RMN de l'Aluminium-27, des solutions diluées de chlorure d'aluminium partiellement neutralisées. *Bull. Soc. Chim. France*, 11-12: 1-439-444.
- Boudot, J.P., T. Becquer, D. Merlet and J. Rouiller, 1994. Aluminium toxicity in declining forests: a general overview with a seasonal assessment in a silver fir forest in the Vosges mountains (France). *Ann. Sci. For.*, 51: 1-25.
- Brogan, J.C., 1964. The effect of humic acid on aluminum toxicity. *Transactions of the 8th International Congress on Soil Science, Bucharest, Vol. 3. Publishing House of the Academy of the Socialist Republic of Romania*, pp. 227-234.
- Browne, B.A. and C.T. Driscoll, 1992. Soluble aluminum silicates: stoichiometry, stability and implications for environmental geochemistry. *Science*, 256: 1667-1670.
- Cameron, R.S., G.S.P. Ritchie and A.D. Robson, 1986. Relative toxicities of inorganic aluminum complexes to barley. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50: 1231-1236.
- Campbell, G.C., M. Bisson, R. Bougie, A. Tessier and J.P. Villeneuve, 1983. Speciation of aluminum in acidic freshwaters. *Anal. Chem.*, 55: 2246-2252.



- Clarke, N., L.G. Danielsson and A. Sparén, 1992. The determination of quickly reacting aluminium in natural waters by kinetic discrimination in a flow system. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 48: 77-100.
- Cumming, B.F., J.P. Smol, J.C. Kingston, D.F. Charles, H.J.B. Birks, K.E. Camburn, S.S. Dixit, A.J. Uutala and A.R. Selle, 1992. How much acidification has occurred in Adirondack region lakes (New York, USA) since preindustrial times? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49: 128-141.
- Dahlgren, R.A. and F. Ugolini, 1989. Aluminum fractionation of soil solutions from unperturbed and tephra-treated spodosols, Cascade Range, Washington, USA. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53: 559-566.
- Driscoll, C.T., 1984. A procedure for the fractionation of aqueous aluminum in dilute acidic waters. *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, 16: 267-283.
- Driscoll, C.T., 1989. The chemistry of aluminum in surface waters. In G. Sposito (Ed.), *The Environmental Chemistry of Aluminum*. CRC Press, Boca Raton FL, pp. 241-277.
- Driscoll, C.T. and R. Van Dreason, 1993. Seasonal and long-term temporal patterns in the chemistry of Adirondack lakes. *Water Air Soil Pollut.*, 67: 319-344.
- Driscoll, C.T., J.P. Baker, J.J. Bisogni and C.L. Schofield, 1980. Effect of aluminium speciation on fish in dilute acidified waters. *Nature*, 284: 161-164.
- Duffield, J.R., K. Edwards, D.A. Evans, D.M. Morrish, R.A. Vobe and D.R. Williams, 1991. Low molecular mass aluminum complex speciation in biofluids. *J. Coord. Chem.*, 23: 277-290.
- Findlow, J.A., J.R. Duffield and D.R. Williams, 1990. The chemical speciation of aluminium in milk. *Chem. Spec. Bioavailab.*, 2: 3-32.
- Fivelstad, S. and H. Leivestad, 1984. Aluminum toxicity to atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and brown trout (*Salmo trutta* L.): mortality and physiological response. Report 61. Institute of Freshwater Research, Drottningholm, pp. 34-47.
- Helliwell, S., G.E. Batley, T.M. Florence, B.G. Lumsden, 1983. Speciation and toxicity of aluminium in a model freshwater. *Environ. Technol. Lett.*, 4: 141-144.
- Henriksen, A., L. Lien, T.S. Traaen, I.S. Sevaldrud and D.F. Brakke, 1988. Lake acidification in Norway — present and predicted chemical status. *Ambio*, 17(4): 259-266.
- Hodges, S.C., 1987. Aluminum speciation: a comparison of five methods. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51: 57-64.
- Hue, N.V., G.R. Craddock and F. Adams, 1986. Effect of organic acids on aluminum toxicity in subsoils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50: 28-34.
- James, B.R., C.J. Clark and S.J. Riha, 1983. An 8-hydroxyquinoline method for labile and total aluminum in soil extracts. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 47: 893-897.
- Kerven, G.L., D.G. Edwards, C.J. Asher, P.S. Hallman and S. Kokot, 1989. Aluminum determination in soil solution. I. Evaluation of existing colorimetric and separation methods for the determination of inorganic monomeric aluminium in the presence of organic acid ligands. *Austr. J. Soil Res.*, 27: 79-90.
- Kinraide, T.B., 1991. Identity of the rhizotoxic aluminium species. *Plant Soil*, 134: 167-178.
- Lalande, H. and W.H. Hendershot, 1986. Aluminum speciation in some synthetic systems: comparison of the fast-oxine, pH 5 extraction and dialysis methods. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 43: 231-234.
- LaZerte, B.D., 1984. Forms of aqueous aluminum in acidified catchments of central Ontario: a methodological analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 41: 766-776.
- Lövgren, L., T. Hedlund, L. Öhmann and S. Sjöberg, 1987. Equilibrium approaches to natural water systems — 6. Acid-base properties of a concentrated bog-water and its complexation reactions with aluminium(III). *Water Res.*, 21: 1401-1407.
- Luster, J., A. Yang and G. Sposito, 1993. On the interpretation of labile aluminum as determined by reaction with 8-hydroxyquinoline. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 57: 976-980.
- Lydersen, E., A.B.S. Poleo, I.P. Muniz, B. Salbu and H.E. Bjornstad, 1990a. The effects of naturally occurring high and low molecular weight inorganic and organic species on the yolk-sack larvae of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) exposed to acidic aluminium-rich lake water. *Aquat. Toxicol.*, 18: 219-230.
- Lydersen, E., B. Salbu, A.B.S. Poleo and I.P. Muniz, 1990b. The influences of temperature on aqueous aluminium chemistry. *Water Air Soil Pollut.*, 51: 203-215.
- MacLean, D.C., K.S. Hansen and R.E. Schneider, 1992. Amelioration of aluminium toxicity in wheat by fluoride. *New Phytol.*, 121: 81-88.
- Martell, A.E. and R.M. Smith, 1977. *Critical Stability Constants*, vols. 2 and 3. Plenum Press, New-York.
- McAvoy, D.C., R.C. Santore, J.D. Shosa and C.T. Driscoll, 1992. Comparison between pyrocatechol violet and 8-hydroxyquinoline procedures for determining aluminum fractions. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56: 449-455.
- Motekaitis, R.J. and A.E. Martell, 1984. Complexes of aluminium(III) with hydroxy carboxylic acids. *Inorg. Chem.*, 23: 18-23.
- Munns, D.N., K.R. Helyard and M. Conyers, 1992. Determination of aluminium activity from measurements of fluoride in acid soil solutions. *J. Soil Sci.*, 43: 441-446.
- Murungi, J.I. and J.W. Robinson, 1992. Uptake and accumulation of aluminum by fish. The monitoring effect of added ions. *J. Environ. Sci. Health*, A27(3): 713-719.
- Neville, C.M., 1985. Physiological response of juvenile rainbow trout, *Salmo gairdneri*, to acid and aluminum — prediction of field response from laboratory data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42: 2004-2019.
- Noble, A.D., M.E. Sumner and A.K. Alva, 1988. Comparison of aluminum and 8-hydroxyquinoline methods in the presence of fluoride for assaying phytotoxic aluminum. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52: 1059-1063.
- Nordstrom, D.K. and H.M. May, 1989. Aqueous equilibrium data for mononuclear aluminum species. In: G. Sposito (Ed.), *The Environmental Chemistry of Aluminum*. CRC Press, Boca Raton FL, pp. 29-55.



- Parker, D.R., W.A. Norvell and R.L. Chaney, 1992. Geochem-PC: A chemical speciation program for IBM and compatible personal computers. In: R.H. Loeppert et al. (Eds), Soil Chemical Equilibrium and Reaction Models. SSSA spec. Pub., ASA-SSSA, Madison, WI.
- Parkhurst, B.R., H.L. Bergman, J. Fernandez, D.D. Gulley, J.R. Hockett and D.A. Sanchez, 1990. Inorganic monomeric aluminum and pH as predictors of acidic water toxicity to brook trout (*Salvelinus fontinalis*). Can. J. Fish. Aquat. Sci., 47: 1631-1640.
- Peterson, R.H., R.A. Bourbonnière, G.L. Lacroix, D.J. Martin-Robichaud, P. Takats and G. Brun, 1989. Responses of Atlantic salmon (*Salmo salar*) alevins to dissolved organic carbon and dissolved aluminum at low pH. Water, Air Soil Pollut. 46: 399-413.
- Probst, A., J.C. Massabuau, J.L. Probst and B. Fritz, 1990. Acidification des eaux de surface sous l'influence des précipitations acides: rôle de la végétation et du substratum, conséquences pour les populations de truites. Le cas des ruisseaux des Vosges. C.R. Acad. Sci., Paris, Série II, 311, 405-411.
- Rosseland, B.O. and A. Henriksen, 1990. Acidification in Norway — loss of fish populations and the 1000-lake survey 1986. Sci. Total Environ., 96: 45-56.
- Rosseland, B.O., I.A. Blakar, A. Bulger, F. Kroglund, A. Kvellstad, E. Lydersen, D.H. Oughton, B. Salbu, Staurnes, M. and Vogt, R., 1992. The mixing zone between limed and acidic river waters: complex aluminium chemistry and extreme toxicity for salmonids. Environ. Pollut., 78: 3-8.
- Rost-Siebert, K., 1983. Aluminium-Toxizität und -Toleranz an Keimpflanzen von Fichte (*Picea abies* Karst.) und Buche (*Fagus sylvatica* L.). Allg. Forstzeitschr., 38: 686-689.
- Royset, O. and T.J. Sullivan, 1986. Effect of dissolved humic compounds on the determination of aqueous aluminum by three spectrophotometric methods. Int. J. Environ. Anal. Chem., 27: 305-314.
- Schecher, W.D. and D. McAvoy, 1992. MINEQL<sup>+</sup>: a software environment for chemical equilibrium modeling. Comput. Environ. Urban Syst., 16: 65-76.
- Skogheim, O.K., B.O. Rosseland and I.H. Sevaldrud, 1984. Deaths of spawners of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in river Ognå, SW Norway, caused by acidified aluminium-rich water. Report 61. Institute of Freshwater Research, Drottningholm, pp. 196-202.
- Soveri, J. and T. Ahlberg, 1990. Effects of air pollutants on chemical characteristics of soil water and groundwater. In: P. Kauppi, P. Anttila and K. Kenttämies (Eds.), Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin, pp. 865-881.
- Sposito, G. and S.V. Mattigod, 1980. Geochem: a computer program for the calculation of chemical equilibria in soil solution and other natural water systems. Kearney Foundation of Soil Science. University of California, Riverside, CA, USA.
- Stumm W. and J.J. Morgan, 1981. Aquatic Chemistry, 2nd edn. Wiley, New York.
- Suhayda, C.G. and A. Haug, 1986. Organic acids reduce aluminum toxicity in maize root membranes. Physiol. Plant., 68: 189-195.
- Suthipradit, S., D.G. Edwards and C.J. Asher, 1990. Effects of aluminium on tap-root elongation of Soybean (*Glycine max*), cowpea (*Vigna unguiculata*) and green gram (*Vigna radiata*) grown in the presence of organic acids. Plant Soil, 124: 233-237.
- Tan, K.H. and A. Binger, 1986. Effect of humic acid on aluminum toxicity in corn plants. Soil Sci., 141: 20-25.
- Tanaka, A., T. Tadano, K. Yamamoto and N. Kanamura, 1987. Comparison of toxicity to plants among  $Al^{3+}$ ,  $AlSO_4^+$  and Al-F complex ions. Soil Sci. Plant Nutr., 33: 43-55.
- Ulrich, B., R. Mayer and P.K. Khanna, 1980. Chemical changes due to acid precipitation in a loess-derived soil in central Europe. Soil Sci., 130: 193-199.
- Van Benschoten, J.E. and J.K. Edzwald, 1990. Measuring aluminum during water treatment: methodology and application. J. Am. Water Works Assoc., 82(5): 71-78.
- Van Breemen, N., J. Mulder and J.J.M. Van Grinsven, 1987. Impact of acid atmospheric deposition on woodland soils in the Netherlands: II nitrogen transformations. Soil Sci. Soc. Am. J., 51: 1634-1640.
- Van Praag, H.J. and F. Weissen, 1985. Aluminium effects on spruce and beech seedlings. I. Preliminary observations on plant and soil. Plant Soil, 83: 331-338.
- Van Praag, H.J., F. Weissen, S. Sougnéz-Rémy and G. Carletti, 1985. Aluminium effects on spruce and beech seedlings. II. Statistical analysis of sand culture experiments. Plant Soil, 83: 339-356.
- Whitten, M.G. and G.S.P. Ritchie and I.R. Willet, 1992. Forms of soluble aluminium in acidic topsoils estimated by ion chromatography and 8-hydroxyquinoline and their correlation with growth of subterranean clover. J. Soil Sci., 43: 283-293.
- Wilkinson, K.J., G.C. Campbell and P. Couture, 1990. Effect of fluoride complexation on aluminum toxicity towards juvenile Atlantic Salmon (*Salmo salar*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 47: 1446-1452.
- Witters, H.E., S. Van Puybroeck, J.H.D. Vangenechten and O.L.J. Vanderborgh, 1990. The effect of humic substances on the toxicity of aluminium to adult rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). J. Fish Biol., 37: 43-53.





## Occurrence of non-monomeric species of aluminium in undersaturated soil and surface waters: consequences for the determination of mineral saturation indices

Jean-Pierre Boudot\*, Ouafae Maitat, Denis Merlet, James Rouiller

Centre de Pédologie Biologique, UPR 6831 du CNRS associée à l'Université de Nancy I, 17 rue Notre-Dame des Pauvres, B.P. 5, F-54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cédex, France

Received 23 January 1995; revision accepted 8 May 1995

### Abstract

The occurrence of a polymeric and/or colloidal Al pool was demonstrated on an experimental basis in various natural acid soil solutions and stream waters, even in the pH range 3.3–4. A number of these waters were found to be undersaturated with respect to various relevant mineral phases (amorphous  $\text{Al}(\text{OH})_3$  and  $\text{AlPO}_4$ , gibbsite, boehmite, variscite, imogolite, kaolinite, halloysite, jurbanite, basaluminite and alunite). Non-monomeric Al species should not occur in undersaturated aqueous systems in equilibrium; therefore the polymeric/colloidal Al pool observed in these undersaturated waters cannot be in equilibrium with monomeric Al. As a consequence, the traditional determination of saturation indices (*SI*) by model equilibrium calculation using total concentrations of every element is considered to be unreliable, and any valid procedure should involve the determination of monomeric species (or a part of them) by analytical speciation.

### 1. Introduction

In aqueous chemistry, the concept of saturation index (*SI*) with respect to various mineral phases is widespread and has been used extensively to identify the constituents that control the solubility of major elements — an important subject in the field of weathering modelling. In the case of the so-called natural gibbsite dissolution, for example, according to the following reaction:  $\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ \rightarrow \text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$ , the saturation index is given by the following expression (where braces denote molar activities):  $SI = \log [(\{\text{Al}^{3+}\}_{\text{actual}}/\{\text{H}^+\}_{\text{actual}}^3)/(\{\text{Al}^{3+}\}_{\text{equil}}/\{\text{H}^+\}_{\text{equil}}^3)]$  ( $= \log[(\{\text{Al}^{3+}\}_{\text{actual}}/\{\text{H}^+\}_{\text{actual}}^3)/10^{8.77}]$  at 25°C and zero ionic strength). Positive

\* Corresponding author.

values of *SI* denote supersaturation, and negative values undersaturation. Zero values mean that equilibrium is reached between solution and gibbsite and that the dissolution or precipitation of this mineral may control the solubility of aluminium in the system considered.

In the field of Al chemistry in natural waters, the validity of this reasoning is supported by some studies, which, in groundwaters, surface waters and (often deep) soil solutions, reported near-equilibrium conditions between soluble aluminium and either gibbsite (Johnson et al., 1981; Driscoll et al., 1984; Cronan et al., 1986; Sullivan et al., 1986; Cozzarelli et al., 1987; McAvoy, 1989; Urban et al., 1990), hydroxy-Al interlayer of expansible 2:1 layer silicates (Dahlgren et al., 1989; Dahlgren and Ugolini, 1989; Prietzel and Feger, 1991), amorphous Al trihydroxide (Sjöström, 1994), imogolite (Dahlgren and Ugolini, 1989; Dahlgren et al., 1989) or basic aluminium sulphate minerals, such as jurbanite, alunite or basaluminite (Eriksson, 1981; Nordstrom, 1982; Nilsson and Bergkvist, 1983; Förster, 1990).

A number of other data sets, however, have shown that both surface waters and soil solutions from upper horizons may be undersaturated with respect to these mineral phases as well (Driscoll et al., 1984; Cronan et al., 1986; Nordstrom and Ball, 1986; Sullivan et al., 1986; Cozzarelli et al., 1987; Neal, 1988; McAvoy, 1989; Dahlgren and Ugolini, 1989; Neal et al., 1989, 1990; Adams et al., 1990; Walker et al., 1990; Matzner, 1992; Campbell et al., 1992). This was particularly, but not inevitably, the case under high flow conditions with insufficient time for equilibration, under low pH conditions (< 4.5-5), or in the presence of high concentrations of soluble organic matter (Driscoll and David, 1984; Driscoll et al., 1984; Nordstrom and Ball, 1986; Sullivan et al., 1986; McAvoy, 1989; Mulder et al., 1990; Seip et al., 1990; Campbell et al., 1992). Then, Al concentrations could be controlled by cation exchange reactions rather than by dissolution processes (Cronan et al., 1986; Sullivan et al., 1986; McAvoy, 1989; Adams et al., 1990; Mulder et al., 1990; Walker et al., 1990; Berggren, 1992; Mulder and Stein, 1994). Indeed, equilibrium seems to be more an exception rather than a rule and the suggestion has been made that cation exchange reactions control Al concentrations in upper soil horizons, and that dissolution/precipitation processes govern Al solubility in deep soil solutions. Phases of near-equilibrium conditions with respect to a given mineral during baseflow periods in stream waters would thus reflect water supply by predominantly deep soil solutions whose acidity had been neutralized by mineral weathering during prolonged vertical leaching. In contrast, phases of undersaturation would be related to large input of acid Al-rich waters from upper soil horizons by lateral flowing of perched water tables during high rainfall and storm events, once the infiltration capacities of the B horizons have been exceeded (Cronan et al., 1986; Sullivan et al., 1986; Lawrence et al., 1988; McAvoy, 1989; Neal et al., 1989; Seip et al., 1989; Mulder et al., 1990).

In many studies, equilibrium has been assumed to occur between the various compartments involved in aqueous chemistry, but this has seldom if ever been verified. In particular, the possibility of mechanical removal and transfer of amorphous colloidal constituents from the solid soil matrix to soil solutions and surface waters during high rainfall and rapid snowmelt events has apparently not been considered. Such suspended amorphous particles would not inevitably reach a rapid equilibrium with the



Table 1  
Selected properties of the soils studied

Horizon (cm)	pH H <sub>2</sub> O	CEC at soil pH (mEq. 100 g <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>	Exchangeable bases % CEC at soil pH <sup>a</sup>	Exchangeable Al <sup>3+</sup> % CEC at soil pH <sup>a</sup>	Crystalline clays (% soil)	C (% soil)	N (% soil)	Oxalate extraction (% soil) <sup>b</sup>			C.B.D. extraction (% soil) <sup>c</sup>		
								Fe	Al	Si	Fe	Al	Si
<i>Acid brown soil</i>													
A <sub>1</sub> (0-12)	3.82	10.28	11.2	72	8.1	3.41	0.18	1.8	1.1	0.04	5.2	1.2	0.4
A <sub>3</sub> (12-30)	4.08	6.78	7.4	81.6	8.5	1.1	0.06	2.3	1.4	0.02	5.4	1.4	0
(B) (30-70)	4.28	4.93	6.5	85.2	12.7	0.46	tr	2.1	1.6	0.06	6.6	1.8	0
(B)/C (70-90)	4.46	4.89	6.1	88.5	12.9	0.14	0.03	1.5	1.5	0.1	7.6	1.8	0
C (<90)	4.46	5.77	15.6	70.5	8.4	0.06	tr	1.2	0.9	0.06	13.2	1.6	0
<i>Podzol</i>													
A <sub>0</sub> (0-17)	3.3	15.02	24.6	28	1.9	13.8	0.5	0.3	0.5	0.02	1	0.8	0.4
A <sub>2</sub> (17-40)	3.87	1.44	13.9	55.5	1	0.21	tr	0	0.1	0	1.2	0.2	0
Bh (40-45)	3.73	17.01	3.4	86.6	8.3	5.1	0.2	5.9	2.5	0.12	8.4	3	0
Bs (45-100)	4.4	3.9	7.2	89	8.1	1.38	tr	5.5	8.9	2.3	9	7	0.6

<sup>a</sup> Cobaltihexamine method (Orsini and Rémy, 1976).

<sup>b</sup> Tamm's oxalate buffer (Schwertmann, 1964).

<sup>c</sup> Na citrate-bicarbonate-dithionite buffer (Mehra and Jackson, 1960).

surrounding solution, and therefore would be able to persist in disequilibrium even in undersaturated waters. In addition, they may be sufficiently small to escape any filtration procedure (remember that the spherules units of allophane range from about 3–6 nm), and will be included in total solutions analysis.

We have tested the occurrence of such non-monomeric Al species in disequilibrium in various surface waters and soil solutions. Based on experimental speciation, polymeric plus amorphous Al species were quantified and the saturation indices with respect to various Al-bearing mineral phases were calculated. Both sets of data were then compared in order to test the equilibrium hypothesis between the monomeric and non-monomeric Al pools in every water sample.

## 2. Material and methods

Leaching soil solutions were regularly collected by zero tension polyethylene plate-lysimeters from an acid brown soil (A<sub>1</sub> horizon) derived from a silty sandstone, and from a podzol (A<sub>2</sub> horizon) on sandy sandstone, both in the Mortagne watershed in the Vosges mountains (eastern France). Their analytical characteristics are compiled in Table 1. Both sites are in a forested area ranging from 450 to 700 m a.s.l. and receiving an annual average rainfall of 1100 mm. Atmospheric inputs measured in rainfalls were recently found to reach about 1 kg NH<sub>4</sub>-N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 4 kg NO<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 8 kg SO<sub>4</sub>-S ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 12 kg Cl ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 4 kg Ca ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 1 kg Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 2 kg K ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 5 kg Na ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> and 0.33 kg free H<sup>+</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. Acid inputs in throughfalls were generally higher than those measured in rainfalls owing to canopy interception of atmospheric pollutants, and reached 1 kg NH<sub>4</sub>-N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 15 kg NO<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 24 kg SO<sub>4</sub>-S ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 31 kg Cl ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> and 0.46 kg free H<sup>+</sup> ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>. Flux of basic cations in throughfalls (owing both to canopy interception of atmospheric pollutants and biological cycling) reached 16 kg Ca ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 3 kg Mg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 22 kg K ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> and 9 kg Na ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> (Becquer, 1991). The acid brown soil was covered by a silver fir (*Abies alba* Mill.)–beech (*Fagus sylvatica* L.) forest with an irregular *Festuca sylvatica* Vill. herbaceous stratum. The podzol was covered by a silver fir (*Abies alba* Mill.)–beech (*Fagus sylvatica* L.)–pine (*Pinus silvestris* L.) forest with a dense herbaceous stratum dominated by *Vaccinium myrtillus* L., *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn and *Leucobryum glaucum* (Hedw.) Schimp. Water samples were collected immediately after each rainfall event.

Non-gravity soil solutions were occasionally obtained by centrifuging freshly collected soil samples at 2750 g (= -30 KPa = 17 200 m s<sup>-2</sup>) in a double-bottomed container, according basically to, e.g. Gillman (1976) and Ranger et al. (1993).

In addition, a large number of spring and stream waters were sampled. Two springs, one draining from the acid brown soil area and the other draining from the podzol area mentioned above, were regularly sampled. Several other spring and stream waters were also collected in the granitic Vosges area, in an area ranging from 650 to 1150 m a.s.l., receiving from 1400 to 1800 mm rainfall and covered by a silver fir–beech forest. Soils ranged from acid brown to podzolic.



Table 2

Al species, mineral phases and formation constants (log form) used for Al speciation of the 8-OH-Q- and IC Al pools and SI determination with MINEQL<sup>+</sup> V 3.01 (corrected to zero ionic strength and 25°C when necessary) (other soluble species are those of the original data base)

Species	Log K	Source
Al <sup>3+</sup>		
Al(OH) <sup>2+</sup>	-5	Nordstrom and May (1989)
Al(OH) <sub>2</sub> <sup>+</sup>	-10.1	Nordstrom and May (1989)
Al(OH) <sub>3</sub> <sup>0</sup>	-16.8	Nordstrom and May (1989)
Al(OH) <sub>4</sub> <sup>-</sup>	-22.7	Nordstrom and May (1989)
AlCl <sup>2+</sup>	2	Grauer (1993)
AlCl <sub>2</sub> <sup>+</sup>	3	Grauer (1993)
AlCl <sub>3</sub> <sup>0</sup>	2	Grauer (1993)
AlSO <sub>4</sub> <sup>+</sup>	3.5	Nordstrom and May (1989)
Al(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> <sup>-</sup>	5	Nordstrom and May (1989)
AlF <sup>2+</sup>	7	Nordstrom and May (1989)
AlF <sub>2</sub> <sup>+</sup>	12.7	Nordstrom and May (1989)
AlF <sub>3</sub> <sup>0</sup>	16.8	Nordstrom and May (1989)
AlF <sub>4</sub> <sup>-</sup>	19.4	Nordstrom and May (1989)
AlF <sub>5</sub> <sup>2-</sup>	20.6	Nordstrom and May (1989)
AlF <sub>6</sub> <sup>3-</sup>	20.6	Nordstrom and May (1989)
AlPO <sub>4</sub> <sup>0</sup>	17.28	Duffield et al. (1991)
AlHPO <sub>4</sub> <sup>+</sup>	19.75	Nordstrom and May (1989)
AlH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	22.65	Nordstrom and May (1989)
AlOSi(OH) <sub>3</sub> <sup>2+</sup>	-0.89	Browne and Driscoll (1992)
Al <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> OSi(OH) <sub>3</sub> <sup>3+</sup>	-4.84	Browne and Driscoll (1992)
Al <sub>2</sub> (OH) <sub>2</sub> (OSi(OH) <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	-6.27	Browne and Driscoll (1992)
AlFulvate <sup>0</sup>	8.38	Driscoll et al. (1994)
AlHFulvate <sup>+</sup>	13.1	Driscoll et al. (1994)
AlHPO <sub>4</sub> Fulvate <sup>2-</sup>	29.54	Arp and Meyer (1985)
Si <sub>4</sub> O <sub>6</sub> (OH) <sub>6</sub> <sup>2-</sup>	-12.57	ALCHEMI V. 4.1 (W.D. Schecher, private communication, 1989)
H <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-22.02	ALCHEMI V. 4.1 (W.D. Schecher, private communication, 1989)
H <sub>3</sub> SiO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	-9.46	ALCHEMI V. 4.1 (W.D. Schecher, private communication, 1989)
HFulvate <sup>2-</sup>	5.94	Driscoll et al. (1994)
H <sub>2</sub> Fulvate <sup>-</sup>	11.60	Driscoll et al. (1994)
H <sub>3</sub> Fulvate <sup>0</sup>	14.22	Driscoll et al. (1994)
amorphous Al(OH) <sub>3</sub>	-10.38	MINEQL <sup>+</sup>
amorphous AlPO <sub>4</sub>	20.30	Duffield et al. (1991)
Proto-imogolite	-16.8	Bilinski et al. (1990)
Imogolite	-12.50	Su and Harsh (1994)
Gibbsite	-8.77	MINEQL <sup>+</sup>
Boehmite	-8.578	MINEQL <sup>+</sup>
Variscite	22.05	Lindsay and Walthall (1989)
Kaolinite	-5.73	MINEQL <sup>+</sup>
Halloysite	-8.99	MINEQL <sup>+</sup>
Jurbanite	3.23	MINEQL <sup>+</sup>
Basaluminitite	-22.7	MINEQL <sup>+</sup>
Alunite	1.346	MINEQL <sup>+</sup>

All samples were filtered with prerinsed cellulose nitrate Sartorius filters, 0.45  $\mu\text{m}$  pore diameter, stored at 5°C and analyzed within a period of 5 days after collection. This filter porosity was selected as clogging occurred promptly in most of the samples during filtration with smaller porosity. The filtrates did not contain crystalline clays but may accommodate colloidal amorphous Al suspensions. This did not constitute a problem as the non-monomeric Al fraction: (1) may be in strong interaction with the monomeric one, and therefore both fractions must be considered; (2) was distinguished from the monomeric fraction during the Al speciation procedure (see below).

The determination of samples' chemical compositions was performed by ion chromatography (inorganic anions), flame absorption spectrophotometry (total K and Na) and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICPAES) (total Al, Ca, Fe, Mg, Mn and Si). Organic carbon was determined with a Carlo Erba analyser, and the pH was measured using a combined glass electrode.

Al speciation was obtained according to a recently improved procedure (Boudot et al., 1994). Total aluminium was determined on preacidified samples by a sequential Jobin-Yvon ICPAES apparatus. Total monomeric Al (both inorganic and organic) was obtained by ion chromatography (IC) and was considered as being the sum of the areas of the various peaks of the chromatogram. Ultimately, a flash extraction (5 s) with a pH 5 buffered 8-OH-quinoleine reagent (8-OH-Q) allowed the determination of all the inorganic monomeric Al species ( $\pm 10\%$ ), except for the Al-F ones. Provided that control and field samples analysis are performed at the same temperature, neither the period of storage nor the temperature of analysis per se have been found to influence the results over the range 4°-22°C at least. This shows that although temperature changes, which imply speciation changes, occurred during sample handling, no significant transfer from the initial 8-OH-Q Al pool to other fractions has happened. This is essential for a subsequent determination of the speciation of the 8-OH-Q Al pool at the field temperature by equilibrium calculation (see below). The difference between the ICPAES Al and the IC Al represents polymeric plus amorphous Al. The difference between the IC Al and the 8-OH-Q Al represents the sum of the organic and fluoride-bound Al. Every species included in the 8-OH-Q Al were individually determined by equilibrium calculation with the MINEQL<sup>+</sup> V 3.01 chemical equilibrium program (Schecher and McAvoy, 1992, 1994), entering the 8-OH-Q Al under 'total Al' and allowing the formation of the extractable species only. Total concentrations of all other elements were also entered in the computation in order to maintain the control of the ionic strength on speciation. The database of the program had been previously carefully updated both by introducing new Al species and by using revised equilibrium constants (Table 2). In order to agree with computerization constraints, the organic C concentrations were converted from w/v units to 'fulvate' molar concentrations by assuming that the charge density of the soluble organic matter was 10.8 mEq. g<sup>-1</sup> C (mean of potentiometric titration data; extreme values were 8.2 and 13.5 mEq. g<sup>-1</sup> C), and that each organic molecule held three complexing functional groups (triprotic model of Driscoll et al., 1994). The *SI* values of interest were calculated from the data obtained by this speciation procedure, taking care over the temperature at sampling. The basic purpose was to examine whether some water samples may contain polymeric or amorphous Al, Al-PO<sub>4</sub>, Al-Si, or Al-SO<sub>4</sub> species



although they remained undersaturated with respect to the most insoluble corresponding relevant mineral phases (i.e. gibbsite or boehmite, variscite, kaolinite and basic Al sulphate minerals, respectively). According to Bloom and Erich (1989), Kinraide and Parker (1989) and Kinraide (1991), such an occurrence is clear evidence of non-equilibrium conditions in the samples studied. Finally, as the  $F^-$  selective electrode suffered from too strong interferences in natural (complex) waters, the speciation of the Al-F plus organic-Al pool was performed by equilibrium calculations, entering the IC Al under 'total Al'. Given the uncertainties of the triprotic model of Driscoll, the respective quantifications of the F- and organically bound Al were only rough estimates. As F has a considerably stronger affinity for Al than natural organic compounds, however, uncertainties were found to reach only 20% and can be considered as reasonable (Boudot et al., 1994). In addition, it must be emphasized that these uncertainties did not corrupt either the speciation of the 8-OH-Q Al pool or the calculated *SI* values, as these determinations did not use any organic-Al parameter.

### 3. Results

Figs. 1-3 show that a non-monomeric Al fraction may occur in both soil solutions and spring and stream waters in significant concentrations, which agrees with previously reported observations by, i.e. Driscoll et al. (1980), Seip et al. (1984), Inoue

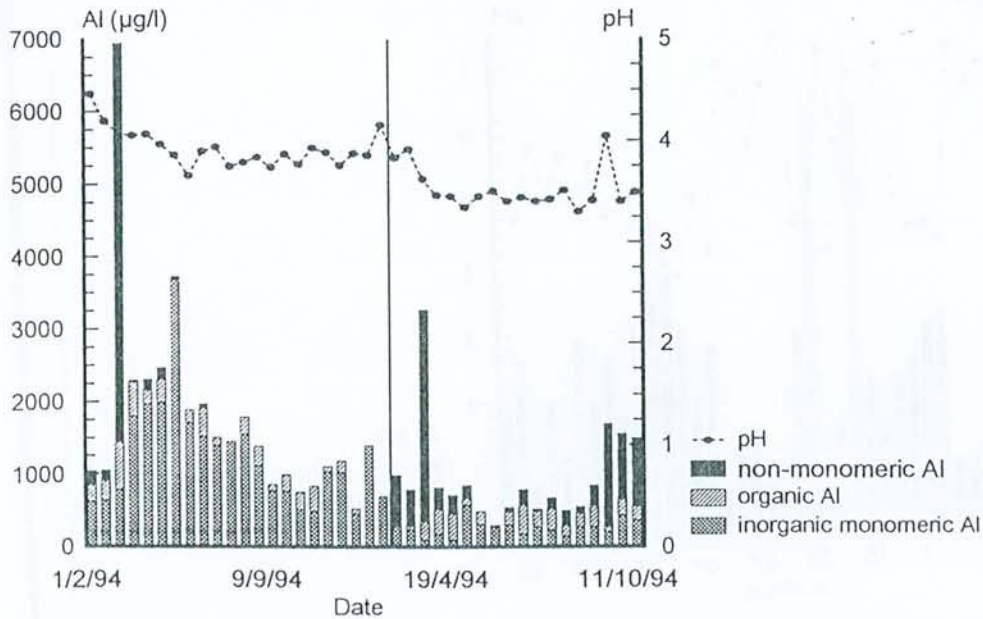


Fig. 1. Al speciation in the soil solutions of both the acid brown soil  $A_1$  horizon (left) and the podzol  $A_2$  horizon (right). The three right-hand samples in each set of data are centrifugation waters, others are plate-lysimeters waters.

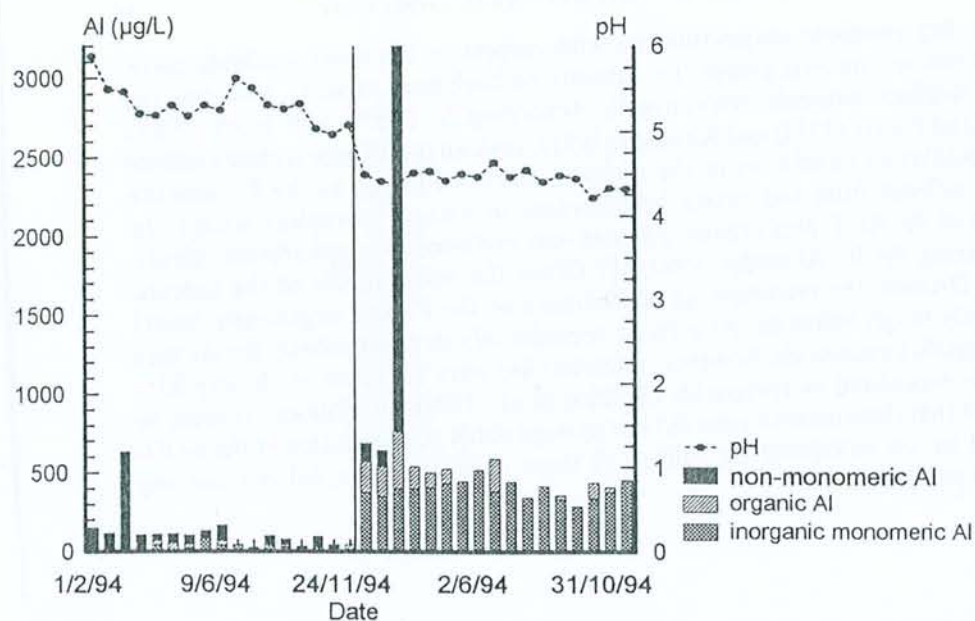


Fig. 2. Al speciation in the slightly acidic (left) and in the strongly acidic (right) springs from the sandstone watershed.

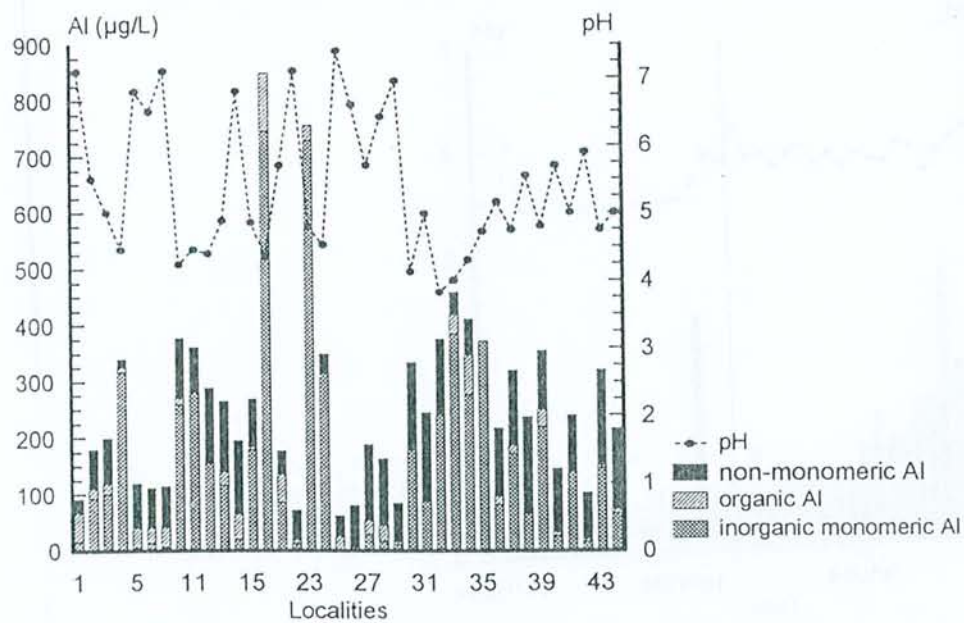


Fig. 3. Al speciation in neutral to strongly acidic spring and stream waters in various granitic watersheds (September 1994).



Table 3

Saturation indices with respect to various relevant Al-bearing mineral phases in plate-lysimeter and centrifugation waters from the two soils studied, compared with analytically determined nonmonomeric Al (samples undersaturated with respect to all the mineral phases examined only)

Water category	Date	pH	Saturation index with respect to:						
			Amorphous Al(OH) <sub>3</sub>	Gibbsite	Boehmite	Amorphous AlPO <sub>4</sub>	Variscite	Proto-imogolite	Imogolite
<i>Podzol, A<sub>2</sub> horizon</i>									
Plate-lysimeter water	1/2/94	3.83	-5.83	-4.17	-4.04	-3.25	-1.50	-11.84	-7.54
Plate-lysimeter water	9/2/94	3.91	-5.29	-3.62	-3.50	-3.16	-1.41	-10.85	-6.55
Plate-lysimeter water	3/3/94	3.62	-6.02	-4.36	-4.24	-3.36	-1.61	-11.57	-7.27
Plate-lysimeter water	24/3/94	3.46	-6.28	-4.61	-4.49	-3.67	-1.92	-12.67	-8.37
Plate-lysimeter water	19/4/94	3.45	-7.12	-5.46	-5.33	-4.70	-2.95	-17.81	-13.51
Plate-lysimeter water	26/5/94	3.34	-6.33	-4.67	-4.54	-6.77	-5.02	-12.57	-8.27
Plate-lysimeter water	21/7/94	3.45	-6.08	-4.42	-4.29	-11.99	-10.24	-12.67	-8.37
Plate-lysimeter water	1/8/94	3.50	-6.03	-4.37	-4.24	-16.19	-14.44	-12.75	-8.45
Plate-lysimeter water	13/8/94	3.40	-6.31	-4.65	-4.53	-3.81	-2.06	-12.95	-8.65
Plate-lysimeter water	20/8/94	3.44	-6.07	-4.41	-4.28	-16.17	-14.42	-12.03	-7.73
Plate-lysimeter water	9/9/94	3.40	-6.31	-4.64	-4.52	-16.36	-14.61	-12.60	-8.3
Plate-lysimeter water	16/9/94	3.42	-6.02	-4.35	-4.23	-16.11	-14.36	-11.97	-7.67
Plate-lysimeter water	29/9/94	3.51	-6.06	-4.40	-4.27	-16.22	-14.47	-12.22	-7.92
Plate-lysimeter water	31/10/94	3.30	-6.61	-4.94	-4.82	-10.33	-8.58	-13.14	-8.84
Plate-lysimeter water	24/11/94	3.41	-6.90	-5.24	-5.11	-4.28	-2.53	-13.52	-9.22
Centrifugation water	2/5/94	4.04	-4.99	-3.33	-3.21	-3.18	-1.43	-9.82	-5.52
Centrifugation water	2/6/94	3.40	-7.34	-5.68	-5.56	-4.66	-2.91	-14.43	-10.13
Centrifugation water	11/10/94	3.49	-6.13	-4.47	-4.34	-3.37	-1.62	-11.93	-7.63
<i>Acid brown soil, A1 horizon</i>									
Plate-lysimeter water	9/2/94	4.19	-3.40	-1.74	-1.61	-2.38	-0.63	-7.23	-2.93
Plate-lysimeter water	9/6/94	3.65	-4.15	-2.49	-2.36	-15.11	-13.36	-8.54	-4.24
Plate-lysimeter water	15/7/94	3.89	-3.60	-1.94	-1.82	-15.05	-13.30	-7.46	-3.16
Plate-lysimeter water	21/7/94	3.93	-3.56	-1.90	-1.77	-15.05	-13.30	-7.83	-3.53
Plate-lysimeter water	1/8/94	3.74	-4.03	-2.37	-2.24	-15.10	-13.35	-8.78	-4.48
Plate-lysimeter water	13/8/94	3.78	-3.85	-2.18	-2.06	-15.07	-13.32	-8.24	-3.94
Plate-lysimeter water	20/8/94	3.83	-3.85	-2.18	-2.06	-15.08	-13.33	-7.98	-3.68

Table 3 (continued)

Water category	Date	pH	Saturation index with respect to:						
			Amorphous Al(OH) <sub>3</sub>	Gibbsite	Boehmite	Amorphous AlPO <sub>4</sub>	Variscite	Proto-imogolite	Imogolite
<i>Acid brown soil, A1 horizon</i>									
Plate-lysimeter water	9/9/94	3.73	-4.45	-2.79	-2.67	-15.22	-13.47	-9.10	-4.8
Plate-lysimeter water	16/9/94	3.86	-4.01	-2.35	-2.22	-15.12	-13.37	-8.02	-3.72
Plate-lysimeter water	29/9/94	3.76	-4.45	-2.78	-2.66	-15.23	-13.48	-9.14	-4.84
Plate-lysimeter water	5/10/94	3.92	-3.96	-2.29	-2.17	-15.12	-13.37	-8.00	-3.7
Plate-lysimeter water	31/10/94	3.88	-4.12	-2.46	-2.33	-11.89	-10.14	-8.31	-4.01
Plate-lysimeter water	24/11/94	3.75	-4.14	-2.48	-2.36	-15.13	-13.38	-8.20	-3.9
Centrifugation water	2/5/94	3.87	-4.72	-3.06	-2.94	-15.42	-13.67	-9.57	-5.27
Centrifugation water	2/6/94	3.85	-3.85	-2.19	-2.06	-15.08	-13.33	-7.85	-3.55
Water category	Date	pH	Saturation index with respect to:					Experimental determination of non-monomeric Al	
			Kaolinite	Halloysite	Jurbanite	Basaluminite	Alunite	( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	(% total Al)
<i>Podzol, A<sub>2</sub> horizon</i>									
Plate-lysimeter water	1/2/94	3.83	-4.92	-8.24	-3.99	-15.26	-8.93	663	63.9
Plate-lysimeter water	9/2/94	3.91	-4.02	-7.34	-3.87	-13.50	-8.40	501	64.0
Plate-lysimeter water	3/3/94	3.62	-3.98	-7.30	-3.75	-15.60	-8.86	2923	89.5
Plate-lysimeter water	24/3/94	3.46	-5.67	-8.99	-3.79	-16.40	-9.40	301	37.7
Plate-lysimeter water	19/4/94	3.45	-14.26	-17.59	-4.72	-19.86	-12.28	255	34.8
Plate-lysimeter water	26/5/94	3.34	-5.37	-8.69	-3.39	-16.15	-8.62	182	20.2
Plate-lysimeter water	21/7/94	3.45	-6.07	-9.39	-3.42	-15.43	-8.21	0	0.0
Plate-lysimeter water	1/8/94	3.50	-6.33	-9.65	-3.54	-15.40	-8.18	18	5.1
Plate-lysimeter water	13/8/94	3.40	-6.15	-9.47	-3.51	-16.23	-8.28	70	12.9
Plate-lysimeter water	20/8/94	3.44	-4.80	-8.13	-3.49	-15.48	-8.16	219	27.9
Plate-lysimeter water	9/9/94	3.40	-5.47	-8.79	-3.80	-16.50	-9.00	41	7.9
Plate-lysimeter water	16/9/94	3.42	-4.80	-8.13	-3.53	-15.36	-8.13	151	24.2



Plate-lysimeter water	29/9/94	3.51	-5.20	-8.52	-3.78	-15.74	-8.69	208	39.0
Plate-lysimeter water	31/10/94	3.30	-5.96	-9.28	-3.88	-17.47	-9.87	100	17.9
Plate-lysimeter water	24/11/94	3.41	-6.12	-9.45	-4.35	-18.83	-10.77	286	33.8
Centrifugation water	2/5/94	4.04	-2.55	-5.87	-3.44	-12.20	-6.63	1415	83.7
Centrifugation water	2/6/94	3.40	-7.07	-10.39	-4.39	-20.19	-11.29	916	58.7
Centrifugation water	11/10/94	3.49	-4.48	-7.81	-3.51	-15.67	-8.34	944	63.1
<i>Acid brown soil, A1 horizon</i>									
Plate-lysimeter water	9/2/94	4.19	-0.55	-3.87	-2.20	-6.18	-2.93	154	15.8
Plate-lysimeter water	9/6/94	3.65	-1.66	-4.99	-1.92	-8.15	-3.02	0	0.0
Plate-lysimeter water	15/7/94	3.89	-0.59	-3.92	-1.65	-6.23	-1.37	55	2.8
Plate-lysimeter water	21/7/94	3.93	-1.42	-4.74	-1.76	-6.23	-1.89	0	0.0
Plate-lysimeter water	1/8/94	3.74	-2.38	-5.70	-1.97	-7.84	-2.88	0	0.0
Plate-lysimeter water	13/8/94	3.78	-1.68	-5.00	-1.86	-7.17	-2.47	0	0.0
Plate-lysimeter water	20/8/94	3.83	-1.16	-4.48	-2.16	-7.48	-3.14	0	0.0
Plate-lysimeter water	9/9/94	3.73	-2.18	-5.51	-2.37	-9.51	-4.38	0	0.0
Plate-lysimeter water	16/9/94	3.86	-0.90	-4.22	-2.11	-7.91	-3.45	13	1.3
Plate-lysimeter water	29/9/94	3.76	-2.27	-5.59	-2.44	-9.55	-4.60	14	1.8
Plate-lysimeter water	5/10/94	3.92	-0.98	-4.31	-2.23	-7.87	-3.54	0	0.0
Plate-lysimeter water	31/10/94	3.88	-1.26	-4.59	-2.33	-8.47	-3.99	6	1.0
Plate-lysimeter water	24/11/94	3.75	-0.99	-4.32	-2.06	-8.27	-3.49	0	0.0
Centrifugation water	2/5/94	3.87	-2.58	-5.90	-2.95	-10.90	-5.41	0	0.0
Centrifugation water	2/6/94	3.85	-0.89	-4.21	-2.10	-7.43	-2.78	0	0.0

Table 4  
Saturation indices with respect to relevant Al-bearing mineral phases in various springs and stream waters from various watersheds in the Vosges mountains, compared with analytically determined non-monomeric Al (samples undersaturated with respect to all the mineral phases examined only)

Date or localities	pH	Saturation index with respect to:						
		Amorphous Al(OH) <sub>3</sub>	Gibbsite	Boehmite	Amorphous AlPO <sub>4</sub>	Variscite	Proto-imogolite	Imogolite
<i>Slightly acidic spring in sandstone watershed</i>								
2/5/94	5.30	-13.67	-12.01	-11.88	-25.59	-23.84	-27.28	-22.98
2/6/94	5.30	-13.68	-12.02	-11.89	-25.60	-23.85	-27.28	-22.98
9/9/94	5.31	-13.66	-12.00	-11.87	-25.59	-23.84	-27.24	-22.94
24/11/94	5.06	-14.18	-12.52	-12.39	-25.86	-24.11	-28.29	-23.99
<i>Springs and streams in granitic watersheds</i>								
March 1994								
9	4.42	-4.49	-2.66	-2.75	-15.14	-13.39	-8.84	-4.54
10	4.3	-4.85	-2.98	-3.12	-15.15	-13.40	-9.44	-5.14
11	4.34	-4.74	-2.87	-3.00	-15.14	-13.39	-9.14	-4.84
12	4.42	-4.89	-3.01	-3.15	-15.20	-13.45	-9.46	-5.16
26	5.77	-13.74	-11.88	-12.00	-25.10	-23.35	-26.89	-22.59
32	4.38	-4.56	-2.69	-2.82	-15.10	-13.35	-9.05	-4.75
33	4.4	-4.21	-2.34	2.47	-15.04	-13.29	-8.24	-3.94
36	4.6	-4.50	-2.62	-2.77	-15.12	-13.37	-8.66	-4.36
44	4.8	-4.05	-2.20	-2.31	-15.10	-13.35	-7.91	-3.61
September 1994								
10	4.23	-4.53	-2.73	-2.78	-15.15	-13.40	-8.80	-4.5
12	4.39	-4.34	-2.54	-2.58	-15.15	-13.40	-8.40	-4.1
30	4.12	-5.04	-3.25	-3.29	-15.34	-13.59	-9.85	-5.55
32	3.82	-5.77	-3.96	-4.02	-15.58	-13.83	-11.83	-7.02
33	4	-4.90	-3.09	-3.15	-15.19	-13.44	-9.60	-5.3
34	4.3	-4.24	-2.44	-2.49	-15.09	-13.34	-8.15	-3.85



Date of localities	pH	Saturation index with respect to:					Experimental determination of non-monomeric Al	
		Kaolinite	Halloysite	Jurbanite	Basaluminite	Alunite	( $\mu\text{g l}^{-1}$ )	(% total Al)
<i>Slightly acidic spring in sandstone watershed</i>								
2/5/94	5.30	-20.11	-23.44	-14.31	-49.11	-35.68	60	51.9
2/6/94	5.30	-20.08	-23.40	-14.34	-49.16	-35.58	39	30.0
9/9/94	5.31	-20.05	-23.37	-14.38	-49.13	-35.72	0	0.0
24/11/94	5.06	-21.10	-24.42	-14.39	-50.70	-36.58	0	0.0
<i>Springs and streams in granitic watersheds</i>								
March 1994								
9	4.42	-1.59	-5.09	-2.99	-6.96	-4.39	53	24.1
10	4.3	-2.07	-5.62	-2.80	-7.07	-3.76	49	17.0
11	4.34	-1.69	-5.23	-2.76	-6.88	-3.60	-58	21.5
12	4.42	-2.04	-5.58	-3.06	-7.50	-4.17	105	46.1
26	5.77	-19.21	-22.74	-14.67	-45.95	-34.95	69	85.5
32	4.38	-1.87	-5.41	-2.72	-6.26	-3.66	50	21.3
33	4.4	-0.97	-4.50	-2.39	-4.89	-2.60	0	0.0
36	4.6	-1.21	-4.76	-2.91	-6.03	-3.26	76	38.0
44	4.8	-0.63	-4.14	-3.16	-5.59	-4.03	45	40.2
September 1994								
10	4.23	-1.44	-4.90	-2.67	-7.46	-4.90	108	28.5
12	4.39	-1.02	-4.48	-2.81	-7.10	-4.84	133	46.2
30	4.12	-2.51	-5.97	-3.05	-9.45	-6.31	157	46.8
32	3.82	-4.00	-7.47	-3.01	-11.37	-6.56	135	35.9
33	4	-2.29	-5.76	-2.46	-8.21	-4.72	40	8.7
34	4.3	-0.72	-4.18	-2.49	-6.41	-3.88	63	15.3

and Yoshida (1990), Rosseland et al. (1992), Easthouse et al. (1993) and Poléo et al. (1994). This pool apparently was not strictly related to pH values, however, and can be paradoxically more abundant in the more acid waters than in the near-neutral ones (i.e. the more acid podzol solutions may contain higher amounts of non-monomeric Al than some solutions of the acid brown soil, some samples from the strongly acidic spring in the sandstone watershed occasionally contained higher amounts of non-monomeric Al than those of the slightly acidic spring, and some acid stream waters in the granitic watersheds may contain higher amounts of non-monomeric Al than several near-neutral ones).

Moreover, in the two soils studied and in the stream and spring waters of both the sandstone and the granitic watersheds, a number of samples paradoxically were undersaturated with respect to all the mineral phases examined and contained appreciable concentrations of non-monomeric Al (Tables 3 and 4). This suggests that the latter fraction was not in equilibrium with the monomeric species. Many other samples were also undersaturated, but, as expected, were lacking in non-monomeric Al, particularly in the acid brown soil and in the related slightly acidic spring in the sandstone watershed (Tables 3 and 4). Other samples (data not shown) were either approximately in equilibrium or clearly supersaturated with respect to kaolinite or imogolite, and, as expected, often contained a significant amount of non-monomeric Al (which theoretically and according to current knowledge (Farmer et al., 1979; Chappell and Birchall, 1988; Inoue and Yoshida, 1990; Exley and Birchall, 1992) may be Al–Si polymers or amorphous Al–Si colloids). Some of the water samples from both the acid brown soil and the various springs and streams studied, but none from the podzol A<sub>2</sub> horizon, fall into this category.

#### 4. Discussion and conclusion

During this short investigation, we gained ample evidence that a number of undersaturated soil and surface waters may contain polymeric and/or amorphous Al species. It is well known that in equilibrated systems, polymeric and amorphous colloidal Al species are allowed to appear only in solutions supersaturated with respect to gibbsite (Bloom and Erich, 1989; Kinraide and Parker, 1989; Kinraide, 1991). Similarly, polymeric and amorphous Al–Si species can be considered to appear only in solutions supersaturated with respect to kaolinite, polymeric and amorphous Al–PO<sub>4</sub> species to form in waters supersaturated with respect to variscite, and polymeric and amorphous Al–SO<sub>4</sub> species to appear in waters supersaturated with respect to basic Al sulphates. Therefore, the non-monomeric Al pool of our undersaturated waters cannot be in equilibrium with the monomeric species. In the case of in situ formation of non-monomeric Al, the *SI* values with respect to at least one of the mineral phases examined here should either be close to zero or indicate supersaturation owing to kinetic limitation of the crystallization process. It seems conceivable, therefore, that the observed non-monomeric Al pool originated more from a mechanical removal and transfer of amorphous colloidal constituents from the solid soil matrix to soil solutions and surface waters during rainfall and snowmelt events, rather than from in



situ formation. Indeed, the possibility exists that all the non-monomeric Al fractions which were observed in the various water samples studied here originated from the same process, and that none of these samples were actually in equilibrium.

These observations have important consequences with respect to *SI* determination. In the literature, two procedures are commonly used to calculate *SI* values. The first one involves model equilibrium calculations using total concentrations of every element. Then, as a prerequisite, the monomeric and the non-monomeric Al pools should be in equilibrium and this should theoretically be controlled before the calculations are performed — but this possibility hardly exists! The second approach, which was used in this investigation, involves analytical speciation by reliable procedures. Equilibrium calculations take place as a second step and apply only to a part of the inorganic monomeric species. Then, the monomeric species only must be in equilibrium with each other, which is more realistic. As no hydrological system can be regarded a priori as being in total equilibrium, analytical speciation is definitely a prerequisite for a reliable determination of saturation indices.

## References

- Adams, W.A., Ali, A.Y. and Lewis, P.J., 1990. Release of cationic aluminium from acidic soils into drainage water and relationships with land use. *J. Soil Sci.*, 41: 255–268.
- Arp, P.A. and Meyer, W.L., 1985. Formation constants for selected organo-metal ( $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ )-phosphate complexes. *Can. J. Chem.*, 63: 3357–3366.
- Becquer, T., 1991. Production endogène de protons par les cycles de l'azote et du soufre dans deux sapinières vosgiennes: bilans saisonniers et incidence sur la toxicité de l'aluminium. Thesis, University of Nancy I.
- Berggren, D., 1992. Speciation and mobilization of aluminium and cadmium in podzols and cambisols of S. Sweden. *Water, Air Soil Pollut.*, 62: 125–156.
- Bilinski, H., Horvath, L., Ingri, N. and Sjöberg, S., 1990. Aluminosilicate phases during initial clay formation:  $\text{H}^+\text{Al}^{3+}$ -oxalic acid-silicic acid- $\text{Na}^+$  system. *J. Soil Sci.*, 41: 119–132.
- Bloom, P.R. and Erich, M.S., 1989. The quantitation of aqueous aluminum. In: G. Sposito (Editor), *The Environmental Chemistry of Aluminum*, CRC, Boca Raton, FL, pp. 1–27.
- Boudot, J.P., Merlet, D., Rouiller, J. and Maitat, O., 1994. Validation of an operational procedure for aluminium speciation in soil solutions and surface waters. *Sci. Total Environ.*, 158: 237–252.
- Browne, B.A. and Driscoll, C.T., 1992. Soluble aluminum silicates: stoichiometry, stability, and implications for environmental geochemistry. *Science*, 256: 1667–1670.
- Campbell, P.G.C., Hansen, H.J., Dubreuil, B. and Nelson, W.O., 1992. Geochemistry of Quebec north shore salmon rivers during snowmelt: organic acid pulse and aluminum mobilization. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49: 1938–1952.
- Chappell, J.S. and Birchall, J.D., 1988. Aspects of the interaction of silicic acid with aluminum in dilute solutions and its biological significance. *Inorg. Chim. Acta*, 153: 14.
- Cozzarelli, I.M., Herman, J.S. and Parnell, R.A., 1987. The mobilization of aluminium in a natural soil system: effects of hydrologic pathways. *Water Resour. Res.*, 23: 859–874.
- Cronan, C.S., Walker, W.J. and Bloom, P.R., 1986. Predicting aqueous aluminum concentrations in natural waters. *Nature*, 324: 140–143.
- Dahlgren, R.A. and Ugolini, F.C., 1989. Formation and stability of imogolite in a tephritic spodosol, Cascade range, Washington, USA. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53: 1897–1904.
- Dahlgren, R.A., Driscoll, C.T. and McAvoy, D.C., 1989. Aluminium precipitation and dissolution rates in spodosol Bs horizons in the Northeastern USA. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53: 1045–1052.

- Driscoll, C.T. and David, M.B., 1984. Aluminium speciation and equilibria in soil solutions of a haplorthod in the Adirondack mountains (New-York, USA). *Geoderma*, 33: 297–318.
- Driscoll, C.T., Baker, J.P., Bisogni, J.J. and Schofield, C.L., 1980. Effect of aluminium speciation on fish in dilute acidified waters. *Nature*, 284: 161–164.
- Driscoll, C.T., Baker, J.P., Bisogni, J.J. and Schofield, C.L., 1984. Aluminum speciation and equilibria in dilute acidic surface waters of the Adirondack region of New York State. In: O.P. Bricker (Editor), *Geological Aspects of Acid Precipitation*. Acid Precipitation Series, Vol. 7. Butterworth, Boston, pp. 55–75.
- Driscoll, C.T., Lehtinen, M.D. and Sullivan, T.J., 1994. Modelling the acid–base chemistry of organic solutes in Adirondack, New-York, lakes. *Water Resour. Res.*, 30 (2): 297–306.
- Duffield, J.R., Edwards, K., Evans, D.A., Morrish, D.M., Vobe, R.A. and Williams, D.R., 1991. Low molecular mass aluminum complex speciation in biofluids. *J. Coord. Chem.*, 23: 277–290.
- Easthouse, K.B., Spyridakis, D.E. and Welch, E.B., 1993. Aluminum chemistry in two pristine alpine lakes of the Central Cascades, Washington. *Water, Air Soil Pollut.*, 71: 377–390.
- Eriksson, E., 1981. Aluminium in groundwater possible solution equilibria. *Nord. Hydrol.*, 12: 43–50.
- Exley, C. and Birchall, J.D., 1992. Hydroxyaluminosilicate formation in solutions of low total aluminium chemistry. *Polyhedron*, 11: 1901–1907.
- Farmer, V.C., Fraser, A.R. and Tait, J.M., 1979. Characterization of the chemical structures of natural and synthetic aluminosilicate gels and sols by infrared spectroscopy. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43: 1417–1470.
- Förster, H., 1990. Aluminiumkonzentrationen und -bindungsformen von Bachwässern und wässrigen Bodenextrakten in den Hochlagen des inneren Bayerischen Waldes. *Z. Pflanzernaehr. Bodenkd.*, 153: 433–438.
- Gillman, G.P., 1976. A centrifuge method for obtaining soil solution. Div. Rep. No. 16. CSIRO, Div. of Soils, Adelaide.
- Grauer, U.E., 1994. Modelling anion amelioration of aluminium phytotoxicity. *Plant Soil*, 157: 319–331.
- Inoue, K. and Yoshida, M., 1990. Composition and behavior of aluminum ions and colloidal aluminosilicates in acidified terrestrial waters. *Soil Sci. Plant Nutr. (Tokyo)*, 36: 461–468.
- Johnson, N.M., Driscoll, C.T., Eaton, J.S., Likens, G.E. and McDowell, W.H., 1981. Acid rain, dissolved aluminum and chemical weathering at the Hubbard Brook Experimental Forest, New Hampshire. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45: 1421–1437.
- Kinraide, T.B., 1991. Identity of the rhizotoxic aluminium species. *Plant Soil*, 134: 167–178.
- Kinraide, T.B. and Parker, D.R., 1989. Assessing the phytotoxicity of mononuclear hydroxy-aluminum. *Plant Cell Environ.*, 12: 479–487.
- Lawrence, G.B., Driscoll, C.T. and Fuller, R.D., 1988. Hydrologic control of aluminium chemistry in an acidic headwater stream. *Water Resour. Res.*, 24: 659–669.
- Lindsay, W.L. and Walthall, P.M., 1989. The solubility of aluminum in soils. In: G. Sposito (Editor), *The Environmental Chemistry of Aluminum*, CRC, Boca Raton, FL, pp. 221–239.
- Matzner, E., 1992. Factors controlling Al-activity in soil solutions in an acid forest soil of the German Solling area. *Z. Pflanzernaehr. Bodenkd.*, 155: 333–338.
- McAvoy, D.C., 1989. Episodic response of aluminium chemistry in an acid-sensitive Massachusetts catchment. *Water Resour. Res.*, 25: 233–240.
- Mehra, O.P. and Jackson, M.L., 1960. Iron-oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays Clay Miner.*, 7: 317–327.
- Mulder, J., Christophersen, N., Hauhs, M., Vogt, R.D., Andersen, S. and Andersen, D.O., 1990. Water flow paths and hydrochemical controls in the Birkenes catchment as inferred from a rainstorm high in seasalts. *Water Resour. Res.*, 26: 611–622.
- Mulder, J. and Stein, A., 1994. The solubility of aluminum in acidic forest soils: long-term changes due to acid deposition. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58: 85–94.
- Neal, C., 1988. Aluminium solubility relationships in acid waters — A practical example of the need for a radical reappraisal. *J. Hydrol.*, 104: 141–159.
- Neal, C., Reynolds, B., Stevens, P. and Hornung, M., 1989. Hydrogeochemical controls for inorganic aluminium in acidic stream and soil waters at two upland catchments in Wales. *J. Hydrol.*, 106: 155–175.



- Neal, C., Mulder, J., Christophersen, N., Neal, M., Waters, D., Ferrier, R.C., Harriman, R. and McMahon, R., 1990. Limitations to the understanding of ion-exchange and solubility controls for acidic Welsh, Scottish and Norwegian sites. *J. Hydrol.*, 116: 11-23.
- Nilsson, S.I. and Bergkvist, B., 1983. Aluminium chemistry and acidification processes in a shallow podzol on the Swedish west coast. *Water, Air Soil Pollut.*, 20: 311-329.
- Nordstrom, D.K., 1982. Effects of sulfate on aluminium concentrations in natural waters. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46: 681-692.
- Nordstrom, D.K. and Ball, J.W., 1986. The geochemical behavior of aluminum in acidified surface waters. *Science*, 232: 54-56.
- Nordstrom, D.K. and May, H.M., 1989. Aqueous equilibrium data for mononuclear aluminum species. In: G. Sposito (Editor), *The Environmental Chemistry of Aluminum*, CRC, Boca Raton, FL, pp. 29-55.
- Orsini, L. and Remy, J.C., 1976. Utilisation du chlorure de cobaltihexamine pour la détermination simultanée de la capacité d'échange et des bases échangeables des sols. *Science du Sol*, 3: 269-275.
- Polø, A.B.S., Lydersen, E., Rosseland, B.O., Kroglund, F., Salbu, B., Vogt, R.D. and Kvellestad, A., 1994. Increased mortality of fish due to changing Al-chemistry of mixing zones between limed streams and acidic tributaries. *Water Air Soil Pollut.*, 75: 339-351.
- Prietzl, J. and Feger, K.H., 1991. Al spezies im Sickerwasser saurer Waldböden — Einfluß von Wasserbewegung und Löslichkeitsgleichgewichten. *Z. Pflanzernaehr. Bodenkd.*, 154: 271-281.
- Ranger, J., Discours, D., Mohamed Ahamed, D., Moares, C., Dambrine, E., Merlet, D. and Rouiller, J., 1993. Comparaison des eaux liées et des eaux libres des sols de 3 peuplements d'épicéa (*Picea abies* Karst) des Vosges. Application à l'étude du fonctionnement actuel des sols et conséquences pour l'état sanitaire des peuplements. *Ann. Sci. For.*, 50: 425-444.
- Rosseland, B.O., Blakar, I.A., Bulger, A., Kroglund, F., Kvellestad, A., Lydersen, E., Oughton, D.H., Salbu, B., Staurnes, M. and Vogt, R., 1992. The mixing zone between limed and acidic river waters: complex aluminium chemistry and extreme toxicity for salmonids. *Environ. Pollut.*, 78: 3-8.
- Schecher, W.D. and McAvoy, D., 1992. MINEQL<sup>+</sup>: A software environment for chemical equilibrium modeling. *Comput. Environ. Syst.*, 16: 65-76.
- Schecher, W.D. and McAvoy, D., 1994. MINEQL<sup>+</sup>, A Chemical Equilibrium Program for Personal Computers. User's Manual, Version 3.0. Environmental Research Software, Hallowell, ME.
- Schwertmann, U., 1964. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Z. Pflanzernaehr., Dueng., Bodenkd.*, 105: 195-202.
- Seip, H.M., Müller, L. and Naas, A., 1984. Aluminium speciation: comparison of two spectrophotometric analytical methods and observed concentrations in some acidic aquatic systems in southern Norway. *Water, Air Soil Pollut.*, 23: 81-95.
- Seip, H.M., Andersen, D.O., Christophersen, N., Sullivan, T.J. and Vogt, R.D., 1989. Variations in concentrations of aqueous aluminum and other chemical species during hydrological episodes at Birkenes, southernmost Norway. *J. Hydrol.*, 108: 387-405.
- Seip, H.M., Andersen, S. and Henriksen, A., 1990. Geochemical control of aluminium concentrations in acidified surface waters. *J. Hydrol.*, 116: 299-305.
- Sjöström, J., 1994. Aluminium and sulphate in acidic soils and groundwaters on the Swedish west coast. *Water, Air Soil Pollut.*, 75: 127-139.
- Su, C. and Harsh, J.B., 1994. Gibbs free energies of formation at 298 K for imogolite and gibbsite from solubility measurements. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 58: 1667-1677.
- Sullivan, T.J., Christophersen, N., Muniz, I.P., Seip, H.M. and Sullivan, P.D., 1986. Aqueous aluminium chemistry response to episodic increases in discharge. *Nature*, 323: 324-327.
- Urban, N.R., Gorham, E., Underwood, J.K., Martin, F.B. and Ogden, J.G., 1990. Geochemical processes controlling concentrations of Al, Fe, and Mn in Nova Scotia lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 35 (7): 1516-1534.
- Walker, W.J., Cronan, C.S. and Bloom, P.R., 1990. Aluminum solubility in organic soil horizons from northern and southern forested watersheds. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54: 369-374.



## Evidence for the redissolution of soil spodic horizons under the influence of acid deposition in the Vosges mountains (north-eastern France)

Jean-Pierre Boudot\*, Ouafae Maitat, Denis Merlet, James Rouiller

*Centre de Pédologie Biologique, UPR 6831 du CNRS associée à l'Université de Nancy I, 17 rue Notre-Dame des Pauvres,  
B.P. 5, F-54501, Vandoeuvre-lès-Nancy Cédex, France*

Received 16 November 1995; accepted 5 February 1996

### Abstract

The speciation of soluble Al present in leaching waters was studied in an acid watershed with podzolic soils from the upper soil horizons to two spring waters. The main pattern of soil water circulation during high rainfall events was found to be vertical leaching through the upper soil eluvial horizons, then lateral flowing within the upper part of the deep spodic horizons. Between the bottom of the eluvial horizons and the spring waters, organic Al disappeared, whereas new inorganic monomeric Al species appeared. The latter were ascribed to the redissolution of the amorphous Al previously accumulated within the soil spodic horizons rather than to the dissociation of pre-existing F-bound Al or organic Al species. Atmospheric pollution-derived acidity was involved in this process, rather than soil-derived acidity. As such horizons contain high amounts of potentially toxic Al and trace metals in readily mobilizable forms, such a redissolution constitutes a true chemical time bomb for the future.

*Keywords:* Aluminium; Acid deposition; Spodic horizons; Vosges mountains

Early investigations concerning the transfer of toxic metals from acid soils to streamwater [1–14] have suggested that stress events during stream high runoff were related to a large input of soil waters through direct lateral flowing of temporary perched water-tables [10–12,14]. Little attention has been paid to changes in the chemistry in such water-tables at the A/B horizons interface, however, so that streamwater contamination can be regarded as originating either from direct inputs

through the eluvial horizons [5,11,12], or from the input of dissolution products from the top of the B horizons [6,15]. Considerable attention must be paid to the latter possibility, as soil spodic horizons contain a considerably higher amount of mobilizable toxic metals than the upper eluvial ones.

In the Vosges mountains in N-E France, we investigated a sandy sandstone watershed with quartz-rich aliotic podzols (typic haplorthods). This area, the Mortagne catchment, currently receives atmospheric inputs amounting to 10–30

\* Corresponding author.



kg  $S-SO_4^{2-}$  ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 6–20 kg  $N-NO_3^-$  ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 1–2 kg  $N-NH_4^+$  ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, 11–33 kg  $Cl^-$  ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> and 0.4–1.0 kg free  $H^+$  ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>, depending on the year. Here we studied Al speciation from the upper soil horizons to spring waters in order to investigate the effect of atmospheric acid deposition on Al translocation and streamwater chemistry. Environmental features, vegetation and soils have been described elsewhere [16]. Each horizon of the podzol was instrumented with zero-tension plate-lysimeters to collect leaching solutions after each rainfall episode [16]. Two springs draining the podzol area were also regularly sampled. Both soil and spring waters were analysed for total composition and Al speciation as previously described [16,17].

The aliotic spodic horizons appeared to be sufficiently cemented to prevent deep vertical leaching; therefore water has only been successfully collected at the bottom of the eluvial  $A_0$  and  $A_2$  horizons, never under the spodic ones. This is evidence of lateral flowing above the spodic horizons as the main pattern of soil water circulation during stormy events. In contrast, rapid vertical leaching occurred in the upper eluvial horizons. In the latter, Al speciation analysis showed that Al was leached mainly as organic and fluoride-bound monomeric species, as well as under a very variable non-monomeric pool. Other inorganic monomeric species remained in very low concentrations (Fig. 1).

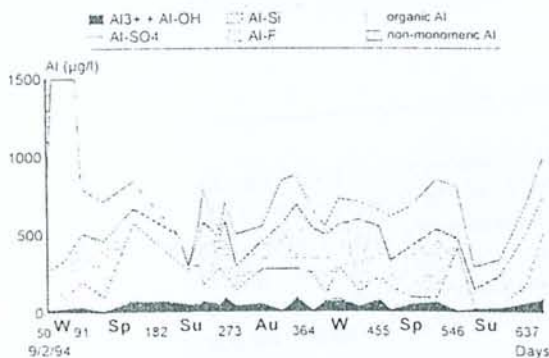


Fig. 1. Al speciation in leaching waters at the bottom of the podzol eluvial horizon ( $A_2$ ). W, Sp, Su and Au denote the seasons. Organic and F-bound Al predominated throughout the year among the monomeric Al species. A similar pattern was found at the bottom of the  $A_0$  horizon.

The same Al species occurred in the springs draining this area but, often in minor proportions, organic Al decreases whereas a high percentage of new inorganic Al species, mainly  $Al^{3+}$  and Al-silica complexes, appeared, either during high rainfall and runoff periods only or throughout the year (Fig. 2).

Given the general water pathway in this watershed, the organic Al, the F-bound Al and the non-monomeric Al in these spring waters may be regarded as being inherited from the upper soil horizons through lateral flowing. However, the occurrence of the new Al species cannot be ascribed to the same process. A first explanation would involve a partial decomplexation of the organic and/or F-bound Al at the eluvial/spodic horizons interface. This implies a significant pH shift of soil solutions as they contact the top of the spodic

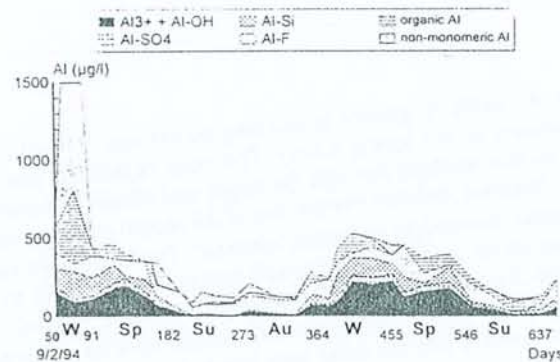


Fig. 2. Al speciation in one of the two spring waters draining the podzol area (W, Sp, Su and Au denote the seasons). Organic Al was generally reduced as compared with the bottom of the soil eluvial horizons, and new inorganic Al species had built between the bottom of the  $A_2$  horizon and the spring. These speciation changes are shown in the text to originate from both the retention of organic Al and the redissolution of previously accumulated Al at the top of the spodic horizons. The decrease in total Al concentrations during summer and autumn corresponded to baseflow runoff, was accompanied by pH increase and may be interpreted as reflecting water supply predominantly by a deep underground reservoir, of which acidity had been neutralized through mineral weathering during prolonged vertical leaching and high retention time. These changes during baseflow runoff did not exist in the other head-water stream, which preserved a constant pH, total monomeric and inorganic monomeric Al level throughout the year. This suggests that neutralisation processes did not occur in deep reservoirs throughout the watershed investigated, owing to the quartz-rich sandy bedrock features.



horizons. The pH of soil solutions at the bottom of the eluvial horizon was in the range 3.3-3.9 throughout the year, and the pH of the spodic horizons also falls within this range (pH = 3.7 in the  $B_{h, 4}$  at the top and 4.4 in the middle part of the  $B_s$ ); hence, this hypothesis should be ruled out. The only other possibility to explain the above mentioned change in Al speciation would involve both the adsorption of the major part of the organic Al at the eluvial/spodic horizons interface and a partial redissolution of the top of the aliotic horizons [6]. The first step is attested by the strong discoloration and the large decrease in soluble organic carbon which occurs between the bottom of the eluvial horizons ( $C = 16-96 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ) and the springs ( $C = 1-4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ). The second step requires a source of acidity. On an equivalent basis, the ratio of the free mineral acidity to the free organic acidity shifts from the range 0.6-2.4 at the bottom of the eluvial horizons (Fig. 3) to the range 10-100 in the two springs (Fig. 4), which identifies mineral acidity as the main source of  $\text{H}^+$  for Al translocation from the soil to the spring.

Laboratory experiments have shown that biological nitrification did not occur in this soil;

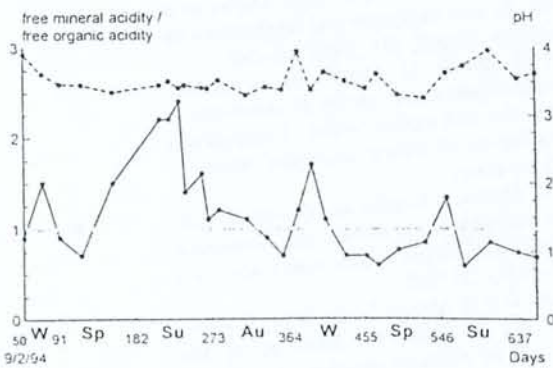


Fig. 3. pH (---) and free mineral acidity to free organic acidity ratio (—) at the bottom of the podzol eluvial ( $A_2$ ) horizon (W, Sp, Su and Au denote the seasons). The latter ratio is shown in the text to be also the ratio of the exogenous (pollution-derived) to the endogenous (soil forming processes-derived) acidity. A similar pattern was found at the bottom of the  $A_0$  horizon. Clearly, organic acidity, derived from natural pedogenesis, and atmospheric pollution are both involved in the low pH values as well as Al mobilization within the soil eluvial horizons, although pollution-derived acidity has the greatest influence.

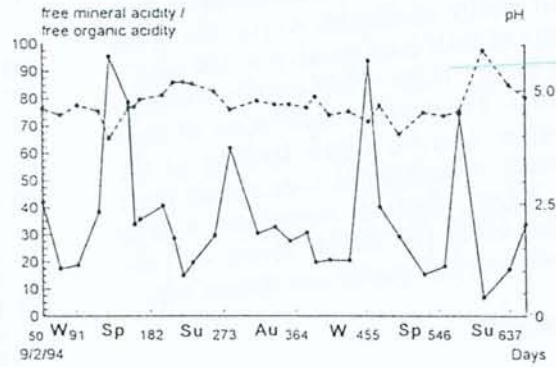


Fig. 4. pH (---) and free mineral acidity to free organic acidity ratio (—) in one of the two spring waters draining the podzol area (W, Sp, Su and Au denote the seasons). The latter ratio is also the ratio of the exogenous (pollution-derived) to the endogenous (soil forming processes-derived) acidity. Atmospheric pollution is clearly the most prominent parameter involved in both the low pH values and inorganic Al translocation from the soil to the spring. Similar data have been found in the other spring, although the pH increase during baseflow runoff did not exist.

therefore nitrate in soil solutions and related springs must be ascribed exclusively to atmospheric pollution. Both chloride and fluoride maintain a fairly constant mean annual concentration from throughfalls to spring waters (namely 2-2.3 and 0.14-0.2  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , respectively) and must also be ascribed to atmospheric pollution. Sulfate concentrations remained constant from throughfalls to the bottom of the eluvial horizons (4.6-5  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ), but then doubled with regard to the springs (8.5-9.1  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ). Owing to the mineralogical composition of the bedrock, pyrites must be excluded as a source of sulfate and the increase in  $\text{SO}_4^{2-}$  may be ascribed to the desorption of previously stored atmospheric-derived sulfate from the spodic horizons. Therefore, the ratio of the free mineral acidity to the free organic acidity is also that of the exogenous (pollution-derived) to endogenous (soil forming processes-derived) free acidity. In other words, the pollution-derived acidity almost alone must be regarded as responsible for Al redissolution and translocation from the top of the spodic horizons to the springs through lateral flowing, although both acidity sources were involved in Al mobilization in the upper organic soil horizons.



During ~10 000 years of natural pedogenesis in this area, spodic horizons have accumulated high amounts of readily mobilizable Al (i.e. 9% in the  $B_s$  horizon) and toxic trace metals (i.e. 150 mg Co and 75 mg Pb  $\text{kg}^{-1}$  in the  $B_s$  horizon) from illuviation processes. The present redissolution of such horizons rather than the simple leaching of the lower amounts of mobilizable toxic metals from the upper organic horizons constitutes a true chemical time bomb [18] for the future with respect to environmental quality and human use.

#### Acknowledgements

This work is a contribution to the 'Science and Technology for Environmental Protection/European Network of Catchments Organised for Research on Ecosystems' programme of the Commission of the European Communities.

#### References

- [1] D. Berggren, Speciation and mobilization of aluminium and cadmium in podzols and cambisols of S. Sweden, *Water Air Soil Pollut.*, 62 (1992) 125–156.
- [2] C.S. Cronan and C.L. Schofield, Aluminum leaching response to acid precipitation: effects on high-elevation watersheds in the northeast, *Science*, 204 (1979) 304–306.
- [3] C.S. Cronan, W.J. Walker and P.R. Bloom, Predicting aqueous aluminium concentrations in natural waters, *Nature*, 324 (1986) 140–143.
- [4] R.A. Dahlgren, C.T. Driscoll and D.C. McAvoy, Aluminium precipitation and dissolution rates in spodosol Bs horizons in the northeastern USA, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53 (1989) 1045–1052.
- [5] M.B. David and C.T. Driscoll, Aluminium speciation and equilibria in soil solutions of a haplothod in the Adirondack mountains (New-York, USA), *Geoderma*, 33 (1984) 297–318.
- [6] C.T. Driscoll, N. van Breemen and J. Mulder, Aluminum chemistry in a forested spodosol, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49 (1984) 437–444.
- [7] C.T. Driscoll, J.P. Baker, J.J. Bisogni and C.L. Schofield, Aluminium speciation and equilibria in dilute acidic surface waters of the Adirondack region of New York state, in O.P. Bricker (Ed.), *Geological Aspects of Acid Precipitation*, Acid Precipitation Series, 7, Butterworth, Boston, 1984, pp. 55–75.
- [8] C.T. Driscoll, Aluminum in acidic surface waters: chemistry, transport and effects, *Environ. Health Perspect.*, 63 (1985) 93–104.
- [9] N.M. Johnson, C.T. Driscoll, J.S. Eaton, G.E. Likens and W.H. McDowell, 'Acid rain', dissolved aluminum and chemical weathering at the Hubbard Brook experimental forest, New Hampshire, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 45 (1981) 1421–1437.
- [10] G.B. Lawrence, C.T. Driscoll and R.D. Fuller, Hydrologic control of aluminium chemistry in an acidic headwater stream, *Water Resour. Res.*, 24 (1988) 659–669.
- [11] D.C. McAvoy, Episodic response of aluminium chemistry in an acid-sensitive Massachusetts catchment, *Water Resour. Res.*, 25 (1989) 233–240.
- [12] J. Mulder, N. Christophersen, M. Hauhs, R.D. Vogt, S. Andersen and D.O. Andersen, Water flow paths and hydrochemical controls in the Birkenes catchment as inferred from a rainstorm high in seasalts, *Water Resour. Res.*, 26 (1990) 611–622.
- [13] A. Probst, J.C. Massabuau, J.L. Probst and B. Fritz, Acidification des eaux de surface sous l'influence des précipitations acides: rôle de la végétation et du substratum, conséquences pour les populations de truites. Le cas des ruisseaux des Vosges, *C. R. Acad. Sci. Série II*, 311 (1990) 405–411.
- [14] H.M. Seip, D.O. Andersen, N. Christophersen, T.J. Sullivan and R.D. Vogt, Variations in concentrations of aqueous aluminum and other chemical species during hydrological episodes at Birkenes, southernmost Norway, *J. Hydrol.*, 108 (1989) 387–405.
- [15] J. Mulder, N. van Breemen and H.C. Eijck, Depletion of soil aluminium by acid deposition and implications for acid neutralization, *Nature*, 337 (1989) 247–249.
- [16] J.P. Boudot, O. Maitat, D. Merlet and J. Rouiller, Occurrence of non-monomeric species of aluminium in undersaturated soil and surface waters. Consequences for the determination of mineral saturation indices, *J. Hydrol.*, 1995 (in press).
- [17] J.P. Boudot, D. Merlet, J. Rouiller and O. Maitat, Validation of an operational procedure for aluminium speciation in soil solutions and surface waters, *Sci. Total Environ.*, 158 (1994) 237–252.
- [18] C.J.M. Konsten, G.R.B. Meulen-Smidt, W.M. Stigliani, W. Salomons and H. Eijsackers, Summary of the workshop on delayed effects of chemicals in soils and sediments (chemical time bombs), with emphasis on the Scandinavian region, *Appl. Geochem.*, suppl. issue 2 (1993) 295–299.

# Aluminium speciation, toxicity and transfer from soils to surface waters in two contrasting watersheds exposed to acid deposition in the Vosges Mountains (north-eastern France)

Ouafae Maitat, Jean-Pierre Boudot, Denis Merlet and James Rouiller

Centre de Pédologie Biologique, UPR 6831 du CNRS associée à l'Université Henri Poincaré, Nancy I, 17 rue Notre-Dame des Pauvres, B.P. 5, F-54501 - Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex - France

(accepted for publication in the Proceedings of the 2<sup>th</sup> International Symposium of Mineral-Organic-Microorganism Interactions, August, 1997).

**Summary:** In the Mortagne catchment (Vosges mountains, NE-France), soil solutions and spring waters from two kinds of acid soils were investigated to determine the impact of acid deposition on Al mobilization, speciation, translocation and toxicity. In a quartz-rich aliotic podzol (Typic Haplorthod), Al was translocated from the eluvial to the spodic horizons mainly as organic Al and fluoride-bound Al. Organic Al was related to natural pedogenetic processes whereas the Al-F species should be regarded as the shift in Al speciation due to atmospheric pollution and related F inputs. As none of these Al species are toxic to plants, no Al toxicity occurred. Besides, a progressive redissolution of the spodic horizons was evident under the influence of acid deposition. This leads to surface water contamination by Al under new inorganic species, which are known to be toxic for aquatic organisms. Al transfer from soil to surface waters was favoured by heavy rainfall and subsequent formation of a lateral watertable flowing above the aliotic spodic horizons. In a silty acid brown soil (Typic Dystrochrept), net nitrification was the main parameter controlling Al mobilization. Soluble Al occurred there mostly as inorganic monomeric species toxic to plants. Only traces of monomeric Al were transferred to springs, so that no Al toxicity occurred in surface waters. As their acid neutralizing capacity (ANC) was often very low, however, such spring waters remained open to acid stress during heavy rainfalls, as well as to a progressive deterioration if acid deposition continues in the future.

**Keywords:** Acid deposition; aluminium; Al speciation; Al transfer; Al toxicity; soil solution; lysimetry; surface waters.

**Résumé:** Dans le bassin versant de la Mortagne (Vosges, NE de la France), les solutions du sol ainsi que les eaux de source prenant naissance à partir de deux sols forestiers distincts ont été étudiées afin de déterminer l'influence des dépôts acides d'origine atmosphérique sur l'acidification des sols, et



notamment sur la mobilisation, la spéciation, le transfert et la toxicité de l'aluminium. Dans les horizons supérieurs d'un podzol humo-ferrugineux à alios, l'Al est mobilisé sous forme de complexes organo-Al et F-Al, qui sont des espèces non toxiques vis à vis des végétaux. Les complexes organo-Al traduisent la persistance des processus pédogénétiques naturels initiaux alors que les complexes Al-F traduisent la modification de la spéciation de l'Al en solution sous l'influence de la pollution atmosphérique en F. On assiste par ailleurs à une redissolution progressive de l'Al des horizons spodiques sous l'influence des acides minéraux forts issus de la pollution acide d'origine atmosphérique. Ceci entraîne une contamination des eaux courantes en Al inorganique toxique, particulièrement lors des épisodes pluvieux les plus importants (existence d'un écoulement latéral hypodermique au sommet des horizons aliotiques). Dans un sol brun acide en revanche, la nitrification nette est le principal moteur de l'acidification du sol et de la mobilisation de l'Al, qui s'effectue principalement sous forme d'espèces monomériques inorganiques toxiques pour les plantes. Peu d'Al monomérique atteint les eaux de surface, et par conséquent aucun risque de toxicité Al n'existe. Étant donné leur très faible capacité à neutraliser les acides (ANC), ces cours d'eau sont toutefois susceptibles d'être périodiquement atteints par des stress acides, notamment durant les périodes de forte pluviosité. Ils risquent également de se dégrader dans le futur si les apports atmosphériques ne diminuent pas suffisamment.

**Mots clés:** Dépôts acides; aluminium; spéciation de l'Al; transfert de l'Al; toxicité de l'Al; solution du sol; lysimétrie; eaux de surface.

## Introduction

Despite considerable research in the past decades, acid deposition remains a serious environmental problem for many areas in the northern hemisphere, particularly in the north-east of the United States (Driscoll and Van Dreason, 1993; David and Lawrence, 1996) and Central and Northern Europe (Ulrich *et al.*, 1980; Nilsson *et al.*, 1983; Rosseland and Henriksen, 1990; Matzner and Prenzel, 1992; DeVries *et al.*, 1995), including the north-east of France in the Vosges mountains (Probst *et al.*, 1990; Boudot *et al.*, 1994a). Acid inputs may have negative impacts on the chemistry and the biological quality of soils and surface waters, particularly through the appearance of soluble inorganic Al species (some of them being toxic to plants and aquatic communities), nutrient imbalance and low pH. Both forest decline and freshwater impoverishment may be related to acidification processes and its related nutrient imbalance as well as the occurrence of soluble Al (Baker and Schofield, 1982; Boudot *et al.*, 1994a). In aqueous

systems, aluminium persists as various chemical species. The toxicity of Al is strongly dependent on the prevalent species, so that the concentration of total Al alone cannot be used as a reliable index of Al toxicity. Current evidence and reinterpretation of early literature suggest that both monomeric Al such as  $\text{Al}^{3+}$ , hydroxy-Al [ $\text{AlOH}^{2+}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ ],  $\text{AlSO}_4^+$  and Al-Si species are the most toxic forms to plants together with the (doubtful for natural waters)  $\text{Al}_{13}$  polymer (Blamey *et al.*, 1983; Li *et al.*, 1989; Kinraide, 1991; Barcelo *et al.*, 1993; Baylis *et al.*, 1994; Boudot *et al.*, 1994a). Aluminium complexed either with fluoride, phosphate or organic matter may be regarded as non-toxic to plants (Suthipradit *et al.*, 1990; MacLean *et al.*, 1992; Baylis *et al.*, 1994; Boudot *et al.*, 1994a).

Toxic species of Al with respect to fish are believed to include  $\text{AlF}^{2+}$  as well as the same toxic species as those mentioned for plants here above, with the exception that monomeric Al-Si complexes appear to be non-toxic (Driscoll *et al.*, 1980; Baker and Schofield, 1982; Birchall *et al.*, 1989; Lydersen *et al.*, 1990; Wilkinson *et al.*, 1990; Parkhurst *et al.*, 1990; Poléo, 1995; Harris *et al.*, 1996).

In addition, cations such as Ca and Mg, and to a lesser extent K and Na, have been shown to mitigate aluminium toxicity to plants (Rhue and Grogan, 1977; Cameron *et al.*, 1986; Kinraide and Parker, 1987; Blamey *et al.*, 1992). Ca alone must be retained in this respect for aquatic organisms (Brown, 1983; Sadler and Lynam, 1988; Wood *et al.*, 1990). Therefore a detailed knowledge of both the overall water composition and Al speciation is required to assess Al toxicity on biota, as well as to understand Al translocation mechanisms within the soil and from the soil to surface waters.

Acidification occurring in watersheds on acid bedrocks should be regarded as resulting from both natural pedogenetic processes and anthropogenic  $\text{H}^+$  input through atmospheric pollutants such as  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{HNO}_3$  and  $\text{HCl}$ . The respective influence of these two kinds of proton sources depends on both the features of the soil and the intensity of the pollution.

The present paper is devoted to the assessment of the respective influence of both natural pedogenetic processes and acid anthropogenic inputs on Al translocation and toxicity in an acid watershed from the Vosges mountains, through Al speciation analysis in the soil solutions as well as in surface waters.



## Material and methods

The present study was conducted in the Vosges mountains (NE-France), in the Mortagne catchment which falls between 450 and 700 m a.s.l.. On an average, this area receives an annual rainfall of 1100 mm and moderate atmospheric inputs reaching 10-30 kg SO<sub>4</sub>-S.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>, 1-2 kg NH<sub>4</sub>-N.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>, 6-20 kg NO<sub>3</sub>-N.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>, 11-33 kg Cl.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>, 0.9 Kg F.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup> and 0.4-1 kg free H<sup>+</sup>.ha<sup>-1</sup>.year<sup>-1</sup>, depending on the year.

We investigated both a triassic sandy sandstone watershed with quartz-rich podzols (Typic Haplorthods) and a triassic silty sandstone watershed with acid brown soils (Typic Dystrochrepts). Soils and vegetation have been described elsewhere (Becquer, 1991; Boudot *et al.*, 1995).

Soil solutions were continuously sampled with zero-tension PVC plate-lysimeters at the bottom of each soil horizon (4 to 7 replicates). Throughfalls were obtained using collectors settled 1 m above the forest floor in each stand, in order to assess quantitative inputs of cations and anions to soils through precipitation. Throughfalls, soil leachates and spring waters were collected at the end of each rainfall event. Samples were filtered with pre-rinsed cellulose nitrate filters, 0.45 µm pore diameters. Both soil solutions and surface waters were analysed for major cations, anions, dissolved organic carbon and Al speciation according to Boudot *et al.*, 1994b, 1995. Total Al was determined on pre-acidified samples by a sequential Jobin-Yvon ICPAES apparatus (Al<sub>ICP</sub>). Total monomeric Al (both inorganic and organic) was obtained by ion chromatography (Al<sub>IC</sub>). A 8-hydroxyquinoline flash extraction (5 s) at pH 5 (Al<sub>8-HQ</sub>) allowed the determination of the inorganic monomeric Al species, except for the Al-F ones. Therefore:

$$Al_{ICP} - Al_{IC} = \text{polymeric} + \text{colloidal Al (namely "non-monomeric Al" hereafter)}$$

$$Al_{IC} - Al_{8-HQ} = \text{organic Al} + \text{F-bound Al}$$

$$Al_{8-HQ} = Al^{3+} + Al-OH + Al-Si + Al-PO_4 + Al-SO_4 + Al-Cl$$

Speciation in these two latter Al pools was assessed with the MINEQL<sup>+</sup> V 3.01 equilibrium programme (Schecher and McAvoy, 1992, 1994), of which the database has been previously carefully updated.

A relevant Al Toxicity Index (ATI), either for the regional plants or for the local fish in rivers (namely, brown trout), was calculated as the following (Boudot *et al.*, 1994a):

$$\text{ATI}_{\text{plants}} = [9\{\text{Al}^{3+}\} + 4\{\text{AlOH}^{2+}\} + \{\text{Al}(\text{OH})_2^+\} + \{\text{AlSO}_4^-\} + 4\{\text{Al-Si}^{2+}\} + 9\{\text{Al}_2\text{-Si}^{3+}\} + 4\{\text{Al}_2\text{-Si}_2^{2+}\} + 9\{\text{Al}(\text{OH})_4^-\} + 117\{\text{Al}_{13}^{7+}\}] / [4\{\text{Ca}^{2+}\} + 4\{\text{Mg}^{2+}\} + 0.02\{\text{K}^+\} + 0.02\{\text{Na}^+\}]$$

$$\text{ATI}_{\text{brown trout}} = [\{\text{Al}^{3+}\} + \{\text{AlOH}^{2+}\} + \{\text{Al}(\text{OH})_2^+\} + \{\text{Al}(\text{OH})_4^-\} + \{\text{AlSO}_4^-\} + 0.5\{\text{AlF}^{2+}\}] / 1/6\{\text{Ca}^{2+}\}$$

In these expressions, brackets denote molar activities and each element is weighed by a coefficient intended to reflect its relative beneficial or detrimental effect when this is known (Grauer and Horst, 1991). In both expressions, an ATI value higher than 1 denotes Al toxicity.

## Results

### Podzol area

We will present hereafter data related both to lysimetric waters collected at the bottom of the A<sub>2</sub> horizon (similar data were obtained at the bottom of the A<sub>0</sub> horizon) and to one spring draining this area (Fig. 1 to 3).

Soil solutions from the podzol eluvial horizons showed low pH values (in the range 3–4), low nitrate content and medium Al concentrations (usually 300–1000 µg.L<sup>-1</sup>) (Fig. 1a and 2a). In this soil, Al was leached predominantly as monomeric organic Al and F-bound Al together with a very variable non-monomeric Al pool (Fig. 2a). As none of these species are toxic to plants, no Al toxicity occurred (Fig. 1a).

In the spring waters draining the podzol, pH was usually in the range 4–5 (with sometimes higher values during baseflow periods), nitrate remained very low and Al concentrations were often abnormally high for a stream (usually 90–600 µg.L<sup>-1</sup>) (Fig. 1b and 2b). Maximal Al content was observed during high runoff periods, minimal Al concentrations during low flow periods. During high flow events and compared to the lysimetric waters collected at the bottom of the eluvial horizons, new inorganic Al species occurred among which ionic Al<sup>3+</sup> and Al-Si complexes predominated (Fig. 2b). As some of these species are toxic to fish, Al toxicity appeared in these periods (Fig. 1b).



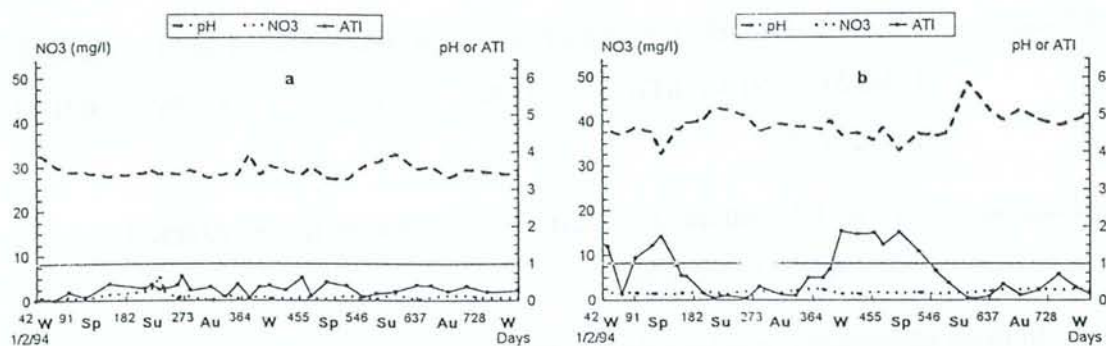


Figure 1 - pH, nitrate content and Al Toxicity Index (ATI) in the leaching waters collected at the bottom of the podzol A<sub>2</sub> horizon (a) and in a spring draining from the podzol area (b) (W, Sp, Su and Au denote the seasons). Al toxicity occurred when ATI was higher than 1.

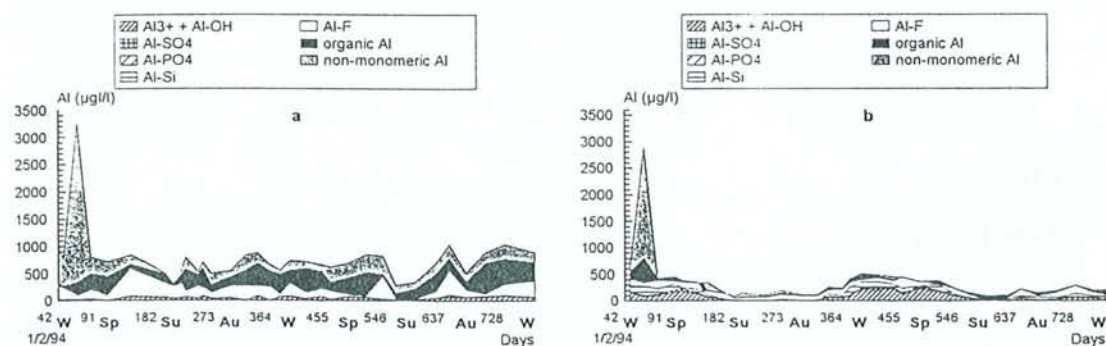


Figure 2 - Al speciation in the leaching waters collected at the bottom of the podzol A<sub>2</sub> horizon (a) and in a spring draining from the podzol area (b) (W, Sp, Su and Au denote the seasons).

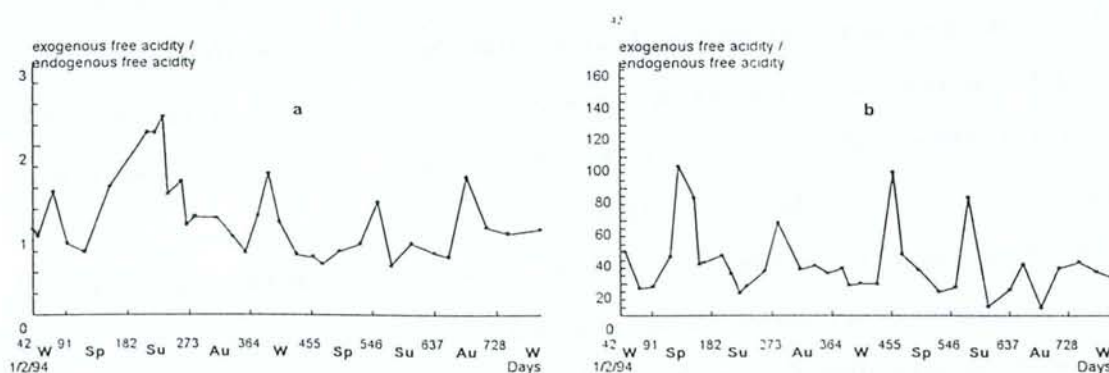


Figure 3 - Exogenous free acidity to endogenous free acidity ratio in the leaching waters collected at the bottom of the podzol A<sub>2</sub> horizon (a) and in a spring draining from the podzol area (b) (W, Sp, Su and Au denote the seasons).

With respect to anions distribution in both soil and stream waters in this non-nitrifying area, it can be emphasized that NO<sub>3</sub>, Cl, F and SO<sub>4</sub> are exogenous anions originating from acid deposition and that organic molecules are endogenous anions related to natural pedogenetic processes. The ratio of the exogenous anions to the

endogenous free acidity [= (NO<sub>3</sub> + Cl + F + SO<sub>4</sub> free acidity in meq.L<sup>-1</sup>) / free organic acidity (in meq.L<sup>-1</sup>) at the sample pH, determined by equilibrium calculation using the triprotic model of Driscoll *et al.* (1994)] was on a mean around 1 in the soil solutions at the bottom of the eluvial horizons, then increased dramatically to 10–100 in spring water (Fig. 3). This strong increase of the contribution of the exogenous anions to the actual acidity of waters between the bottom of the eluvial horizons and the springs, a zone where plant nutrition can be neglected, demonstrates the anthropogenic origin of the acidity responsible for the transfer of Al from soil to surface water.

#### Acid brown soil area

Soil solutions collected at the bottom of the A<sub>1</sub> horizon of the acid brown soil had low pH (from 3.5 to 4.7), rather high nitrate concentrations (from 0 to 60 mg.L<sup>-1</sup>) and a high Al content [usually 500–2000 (3500) µg.L<sup>-1</sup>] (Fig. 4a and 5a). According to its speciation pattern, Al was leached mainly as inorganic monomers dominated by Al<sup>3+</sup> (Fig. 5a). As a consequence, Al toxicity occurred, as attested by rather high ATI values (Fig. 4a). In addition, a strong positive correlation (R<sup>2</sup> = 0.85) occurred between NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and monomeric (inorganic and organic) Al concentrations (Fig. 6).

At the opposite, spring waters draining from the acid brown soil area showed a lower acidity (pH 4.7 to 6.5), a lower nitrate concentration, and a very low monomeric Al content (Fig. 4b and 5b). Consequently, no Al toxicity occurred with respect to aquatic organisms (Fig. 4b)

In this ecosystem, NO<sub>3</sub> originated mostly from endogenous nitrification. Partitioning nitrate in soil nitrification-derived nitrate and pollution-derived nitrate (settled at the same level than in the podzol watershed), the exogenous to endogenous free acidity ratio can be calculated as [(exogenous NO<sub>3</sub> + Cl + F + SO<sub>4</sub> free acidity) / (endogenous NO<sub>3</sub> + free organic acidity) (meq.L<sup>-1</sup>)]. As for the podzol area, it was found that the contribution of the exogenous free acidity to the actual acidity of waters increased dramatically (20 to 45 times) from the soil solutions to spring water (data not shown). This emphasizes the predominance of the man-made acidity over that derived from the pedogenetic processes in the actual acidity of surface waters in this area, too.



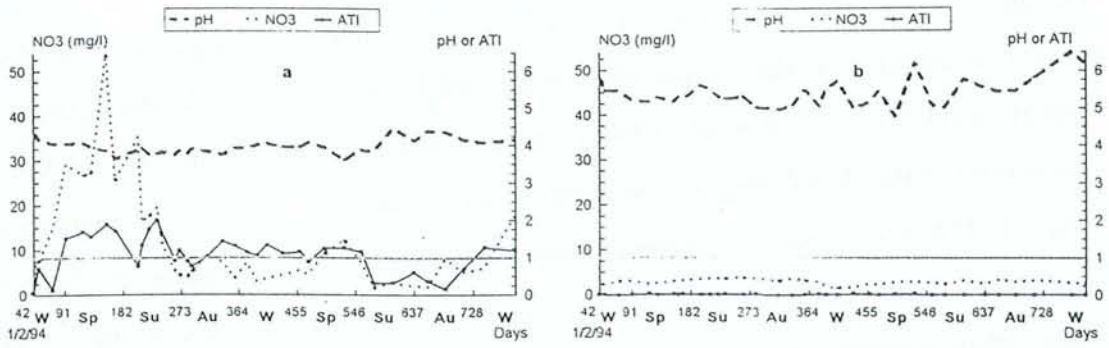


Figure 4 - pH, nitrate content and Al Toxicity Index (ATI) in the leaching waters collected at the bottom of the acid brown soil A<sub>1</sub> horizon (a) and in the spring draining from the acid brown soil area (b) (W, Sp, Su and Au denote the seasons). Al toxicity occurred when ATI was higher than 1.

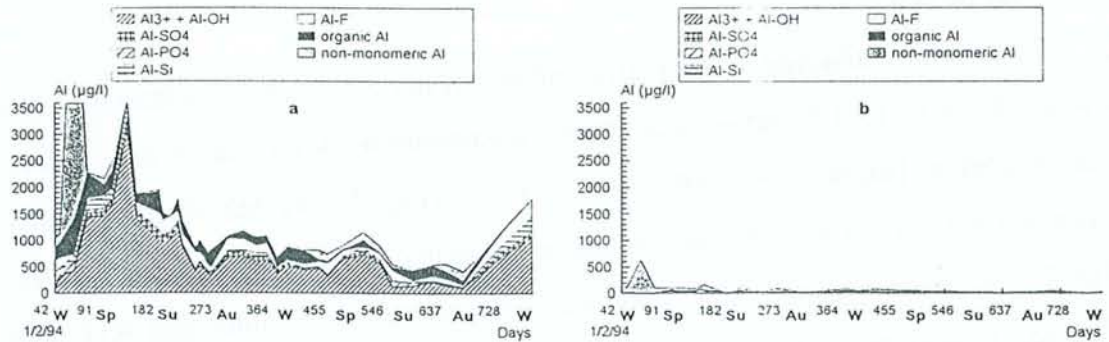


Figure 5 - Al speciation in the leaching waters collected at the bottom of the acid brown soil A<sub>1</sub> horizon (a) and in the spring draining from the acid brown soil area (b) (W, Sp, Su and Au denote the seasons).

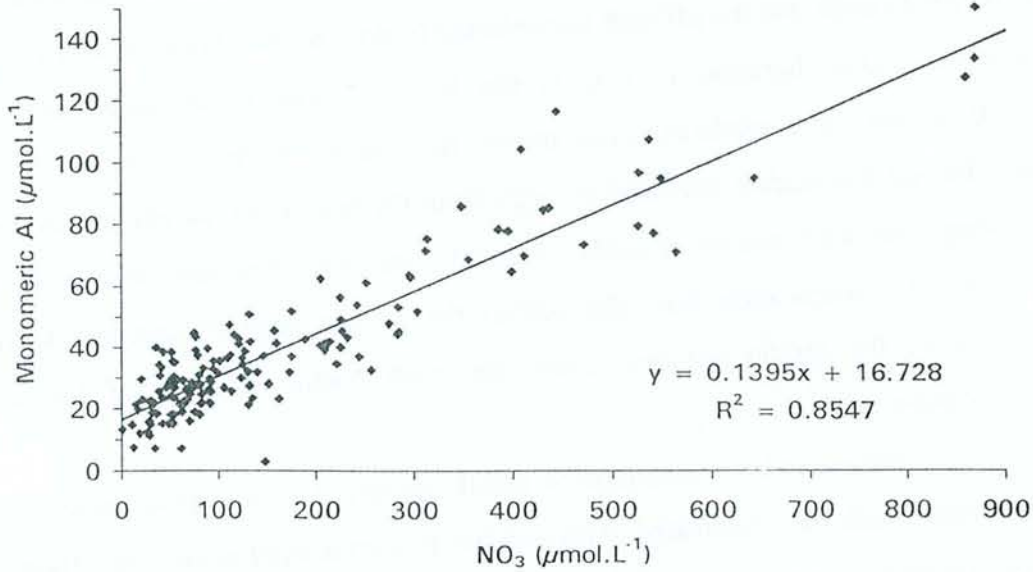


Figure 6 - Relationship between NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and monomeric (organic + inorganic) Al in the leaching waters from the acid brown soil A<sub>1</sub> horizon.

## Discussion

In the podzol area of the watershed studied, Al translocation within the eluvial horizons occurred mainly as non-toxic organic and F-bound Al, as well as under a very variable non-monomeric Al pool. In this catchment, the mean annual concentration of F remained constant from throughfalls to the bottom of the eluvial horizons and to the springs, so that F should be ascribed to the atmospheric pollution. Therefore the Al-F species should be regarded as the shift of the original Al speciation due to atmospheric deposition. The spring waters studied in this area suffer currently from a harmful contamination in Al, responsible for the occurrence of a strong Al toxicity to aquatic biota during heavy rainfall / snow-melt / high runoff periods (but some other springs have a high Al content and a high Al Toxicity Index throughout the year, irrespective of the hydrologic conditions). The organic Al and the Al-F species in the spring waters, as well as their non-monomeric Al pool, can be regarded as inherited from the upper soil horizons, mostly through lateral flow during storm events. The new inorganic Al species in the springs may originate either (i) from the decomplexation of the pre-existent soluble organic and F-bound Al from the eluvial horizons into ionic Al, or (ii) from the remobilization of the previously flocculated Al of the spodic horizons, although the



organic Al species remained flocculated within the B<sub>h</sub> horizon. To answer this question, it must be emphasized that the pH shift between the bottom of the eluvial horizons (3.3–3.9) and the spodic horizons (3.7–4) is too low to support the decomplexation hypothesis, so that the remobilization one appears to be likely. As the contribution of the pollution-derived free acidity increased strongly from the bottom of the eluvial horizons to the springs, the main source of acidity available was related to acid deposition. In other words, Al translocation from the soil to the springs must be ascribed to the redissolution of the spodic horizons under the predominant influence of the acid atmospheric pollution.

In the acid brown soil, Al mobilisation mostly occurred as inorganic monomeric species, among which Al<sup>3+</sup> dominated. This process was controlled mostly by nitrate in excess of biological uptake, that is under the dependence of the natural biological cycles (nitrification, microbial uptake, plant nutrition ...) rather than determined by external input. As the prevalent Al species are toxic to plants and as this soil is considerably depleted in exchangeable Ca and Mg, Al toxicity occurs repeatedly during the year. All the monomeric Al appear to be retained between the soil and the springs draining from this and similar area, due to the mineralogical composition of the regolith being richer in weatherable minerals than that of the podzol. As a consequence, no Al toxicity occurred in these springs. Nevertheless, as the Acid Neutralizing Capacity (ANC) of these springs [given the mean ionic charge of each element at the equivalence point,  $ANC (\mu\text{eq.L}^{-1}) = \{(2\text{Ca} + 2\text{Mg} + \text{K} + \text{Na} + \text{NH}_4 + 2\text{Al} + \text{Fe} + 2\text{Mn}) - (2 \text{SO}_4 + \text{NO}_2 + \text{NO}_3 + \text{Cl} + \text{F} + \text{PO}_4 + 1.2 \text{fulvic acid}) (\mu\text{M/l})\}$ ] was often very low, even in low-flow conditions (usually 0–120  $\mu\text{eq.L}^{-1}$ ), they clearly remain open to acid stress during heavy rainfalls, as well as to a progressive deterioration in the future if acid deposition will not regress sufficiently.

### Acknowledgements

This work was partly a contribution to the former "Science and Technology for Environmental Protection/European Network of Catchments Organised for Research on Ecosystems" programme of the Commission of the European Communities (1991–1994).

## References

- Baker, J.P. and C.L. Schofield, 1982. Aluminium toxicity to fish in acidic waters. *Water Air Soil Pollut.*, 18, 289-309.
- Barcelo, J., P. Guevara and C. Poschenrieder, 1993. Silicon amelioration of aluminium toxicity in teosinte (*Zea mays* L. ssp. *mexicana*). *Plant and Soil*, 154, 249-255.
- Baylis, A.D., C. Gragopoulou, K.J. Davidson and J.D. Birchall, 1994. Effects of silicon on the toxicity of aluminium to Soybean. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 25, 537-546.
- Becquer, T., 1991. Production endogène de protons par les cycles de l'azote et du soufre dans deux sapinières vosgiennes : bilans saisonniers et incidence sur la toxicité de l'aluminium. Thèse de doctorat de l'Université de Nancy I, 154 pp.
- Birchall, J.D., C. Exley, J.S. Chappell and M.J. Phillips, 1989. Acute toxicity of aluminium to fish eliminated in silicon-rich acid waters. *Nature*, 338, 146-148.
- Blamey, F.P.C., D.G. Edwards and C.J. Asher, 1983. Effects of aluminium, OH:Al and P:Al molar ratios, and ionic strength on soybean root elongation in solution culture. *Soil Sci.*, 136, 197-207.
- Blamey, F.P.C., D.C. Edmeades and D.M. Wheeler, 1992. Empirical models to approximate calcium and magnesium ameliorative effects and genetic differences in aluminium tolerance in wheat. *Plant and Soil*, 144, 281-287.
- Boudot, J.-P., T. Becquer, D. Merlet and J. Rouiller, 1994a. Aluminium toxicity in declining forests: a general overview with a seasonal assessment in a silver fir forest in the Vosges mountains (France). *Ann. Sci. For.*, 51, 27-51.
- Boudot, J.-P., D. Merlet, J. Rouiller and O. Maitat, 1994b. Validation of an operational procedure for aluminium speciation in soil solutions and surface waters. *Sci. Tot. Environ.*, 158, 237-252.
- Boudot, J.-P., O. Maitat, D. Merlet and J. Rouiller, 1995. Occurrence of non-monomeric species of aluminium in undersaturated soil solutions and surface waters. Consequences for the determination of mineral saturation indices. *J. Hydrol.*, 177, 47-63.
- Brown, D.J.A., 1983. Effect of calcium and aluminium concentrations on the survival of brown trout (*Salmo trutta*) at low pH. *Bull. Environ. Cont. Toxicol.*, 30, 582-587.
- Cameron, R.S., G.S.P. Ritchie and A.D. Robson, 1986. Relative toxicities of inorganic aluminium complexes to Barley. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 50, 1231-1236.
- David, M.B. and G.B. Lawrence, 1996. Soil and solution chemistry under red spruce stands across the north-eastern united states. *Soil Sci.*, 161 (5), 314-328.
- De Vries, W., J.J.M. Van Grinsven, N. Van Breemen, E.E.J.M. Leeters and P.C. Jansen, 1995. Impacts of acid deposition on concentrations and fluxes of solutes in acid sandy forest soils in the Netherlands. *Geoderma*, 67, 17-43.
- Driscoll, C.T. and R. Van Dreason, 1993. Seasonal and long-term temporal patterns in the chemistry of Adirondack lakes. *Water Air Soil Pollut.*, 67, 319-344.
- Driscoll, C.T., J.P. Baker, J.J. Bisogni and C.L. Schofield, 1980. Effect on aluminium speciation on fish in dilute acidified waters. *Nature*, 284, 161-164.
- Driscoll, C.T., M.D. Lehtinen and T.J. Sullivan, 1994. Modelling the acid-base chemistry of organic solutes in Adirondack, New-York, lakes. *Water Resour. Res.*, 30 (2), 297-306.
- Grauer, U.E. and W. Horst, 1991. Comments on the Calcium-Aluminium Balance (CAB). *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55, 897-898.
- Harris, W.R., G. Berthon, C. Exley, T.P. Flaten, W.F. Forbes, T. Kiss, C. Orvig and P.F. Zatta, 1996. Speciation of aluminium in biological systems. *J. Toxicol. Environ. Health*, 48, 543-568.
- Kinraide, T.B., 1991. Identity of the rhizotoxic aluminium species. *Plant and Soil*, 134, 167-178.
- Kinraide, T.B. and D.R. Parker, 1987. Cation amelioration of aluminium toxicity in wheat. *Plant Physiol.*, 83, 546-551.
- Li, Y.C., A.K. Alva and M.E. Sumner, 1989. Response of cotton cultivars to aluminium in solutions with varying silicon concentrations. *J. Plant Nutr.*, 12, 881-892.



- Lydersen, E., A.B.S. Poléo, I.P. Muniz, B. Salbu and H.E. Bjornstad, 1990. The effects of naturally occurring high and low molecular weight inorganic and organic species on the yolk-sack larvae of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) exposed to acidic aluminium-rich lake water. *Aquat. Toxicology*, 18, 219–230.
- MacLean, D.C., K.S. Hansen and R.E. Schneider, 1992. Amelioration of aluminium toxicity in wheat by fluoride. *New Phytol.*, 121, 81–88.
- Matzner, E. and J. Prenzel, 1992. Acid deposition in the Germain Solling area: effects on soil solution chemistry and Al mobilization. *Water Air Soil Pollut.*, 61, 221–234.
- Nilsson, S.I. and B. Bergkvist, 1983. Aluminium chemistry and acidification processes in a shallow podzol on the Swedish west coast. *Water Air Soil Pollut.*, 20, 311–329.
- Parkhurst, B.R., H.L. Bergman, J. Fernandez, D.D. Gulley, J.R. Hockett and D.A. Sanchez, 1990. Inorganic monomeric aluminium and pH as predictors of acidic water toxicity to brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47, 1631–1640.
- Poléo, A.B.S., 1995. Aluminium polymerisation – a mechanism of acute toxicity of aqueous aluminium to fish. *Aquat. Toxicol.*, 31, 347–356.
- Probst, A., E. Dambrine, D. Viville and B. Fritz, 1990. Influence of acid atmospheric inputs on surface water chemistry and mineral fluxes in a declining spruce stand within a small granitic catchment (Vosges massif, France). *J. Hydrol.*, 116, 101–124.
- Rhue, R.D.G. and Grogan, 1977. Screening corn for Al tolerance using different Ca and Mg concentrations. *Agron. J.*, 69, 755–760.
- Rosseland, B.O. and A. Henriksen, 1990. Acidification in Norway – loss of fish populations and the 1000-lake survey 1986. *Sci. Total Environ.*, 96, 45–56.
- Sadler, K. and S. Lynam, 1988. The influence of calcium on aluminium-induced changes in the growth rate and mortality of brown trout, *Salmo trutta* L.. *J. Fish Biol.*, 33, 171–179.
- Schecher, W.D. and D. McAvoy, 1992. MINEQL<sup>+</sup>: A software environment for chemical equilibrium modeling. *Comput. Environ. Systems*, 16, 65–76.
- Schecher, W.D. and D. McAvoy, 1994. MINEQL<sup>+</sup>, a chemical equilibrium program for personal computers. User's manual, version 3.0, 112 pp.. Environmental Research Software, Hallowell, ME, USA.
- Suthipradit, S., D.G. Edwards and C.J. Asher, 1990. Effects of aluminium on tap-root elongation of soybean (*Glycine max*), cowpea (*Vigna unguiculata*) and green gram (*Vigna radiata*) grown in the presence of organic acids. *Plant and Soil* 124, 233–237.
- Ulrich, B., R. Mayer and P.K. Khanna, 1980. Chemical changes due to acid precipitation in a loess-derived soil in central Europe. *Soil Sci.*, 130, 193–199.
- Wilkinson, K.J., G.C. Campbell and P. Couture, 1990. Effect of fluoride complexation on aluminium toxicity towards juvenile Atlantic Salmon (*Salmo salar*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47, 1446–1452.
- Wood, C.M., D.G. McDonald, C.G. Ingersoll, D.R. Mount, O.E. Johannsson, S. Landsberger and H.L. Bergman, 1990. Effects of water acidity, calcium and aluminium on whole body ions brook trout (*Salvelinus fontinalis*) continuously exposed from fertilization to swim up: a study by instrumental neutron activity analysis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47, 1593–1603.

# Mechanisms of Al translocation from soil to surface waters in podzolic watersheds impacted by acid deposition, Vosges mountains, N.E. France

**BOUDOT Jean-Pierre, MAITAT Ouafae, MERLET Denis and ROUILLER James**

Centre de Pédologie Biologique, UPR 6831 du CNRS associée à l'Université Henri Poincaré, 17 rue Notre-Dame des Pauvres, B.P. 5, F-54501 - Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France.

(accepted for publication in the 16<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, August, 1998).

**Summary :** In the Vosges department (N.E. France), 40 % of 393 springs and streamlets studied on acid bedrocks under baseflow conditions were strongly acid ( $\text{pH} < 5.5$ ) and contaminated by Al. Most of them were related to podzolic watersheds. The processes of Al transfer within the soil and from the soil to surface water have been investigated during a 3 years study. A detailed analysis of Al speciation in a podzol and in two related springs in a sandy sandstone watershed showed that: i) soluble Al in the podzol eluvial horizons occurred under organic Al, F-bound Al and colloidal and/or polymeric Al; ii) organic Al leached from the eluvial horizons did not reach significantly the springs; iii) Al in spring water included new Al species (mainly  $\text{Al}^{3+}$ ) originating from the redissolution of the top of the  $\text{B}_s$  horizon, through both the influence of acid deposition and the formation of a perched watertable within the upper part of the spodic horizons during heavy rainfall. Where neutralization processes operated in the regolith, in aid to deep water feeding springs at baseflow, acid stress disappeared in surface waters during baseflow runoff. In contrast, surface waters with acid conditions throughout the year, irrespective of the runoff regime, may be interpreted as resulting from poor neutralization processes in the regolith, owing to the mineralogical features of the relevant watersheds.

**Key words :** Acid deposition, podzols, surface water, Al mobilization, Al speciation.

**Résumé :** Mécanismes de contamination des cours d'eau par l'aluminium dans les bassins versants podzoliques atteints par les pluies acides (Vosges, NE de la France). Une étude réalisée sur 393 ruisseaux et sources du département des Vosges nous a montré que 40 % d'entre eux avaient, même à l'étiage, un pH inférieur à 5,5 et étaient contaminés en Al. Un grand nombre de ces eaux de surface correspond à des bassins versants podzoliques. Les mécanismes de transfert de l'Al dans les sols et des sols aux cours d'eau ont été étudiés dans un podzol humo-ferrugineux sur grès vosgien. Dans les horizons éluviaux, l'Al migre sous forme de complexes organiques, de complexes Al-fluor et de polymères et/ou de colloïdes. La plus grande partie de l'Al organique s'insolubilise dans l'horizon  $\text{B}_h$  et ne parvient pas aux ruisseaux. Dans ces derniers, l'Al est surtout présent sous forme de complexes Al-fluor, hérités des horizons éluviaux du sol, et d' $\text{Al}^{3+}$ , qui ne préexistait pas dans les horizons supérieurs du sol et provient de la redissolution de la partie supérieure des horizons spodiques. L'apparition d'une nappe perchée à la partie supérieure des horizons spodiques, peu perméables, en période de fortes précipitations favorise un transfert direct et rapide des eaux du sol aux cours d'eau, durant lequel leur acidité ne parvient pas à être neutralisée par l'altération minérale. Les anions mobiles d'acides minéraux forts apportés par les dépôts atmosphériques constituent les vecteurs du transfert de l'Al et de l'acidité lors de cet écoulement. Lorsque des mécanismes de neutralisation interviennent en profondeur au profit d'eaux alimentant les sources en régime d'étiage, les cours d'eau ne sont acides que pendant les crues. Lorsque les eaux de surface restent acides à l'étiage, ceci peut être interprété comme résultant de l'insuffisance des processus de neutralisation profonds dans des bassins versants très pauvres en minéraux altérables.

**Mots clés :** Pluies acides, podzols, eaux de surface, mobilisation de l'Al, spéciation de l'Al.



## Introduction

In the Vosges mountains (N.E. France), a number of surface waters are known to be strongly acid and contaminated by Al [1–3]. Recently, we investigated the part of the Vosges department which is on acid bedrocks for surface water chemistry under baseflow conditions. We analysed 393 springs with respect to both total cations and anions composition and Al speciation. Besides, we investigated the conditions of transfer of both Al and  $H^+$  from the soil to surface water in a small forested catchment on a quartz-rich sandy sandstone with aliotic podzols (spodic horizons heavily cemented) (typic Haplorthods). This area, the upper Mortagne watershed, receives atmospheric inputs amounting to 10–30 Kg S-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.ha<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup>, 6–20 Kg N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.ha<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup>, 1–2 Kg N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.ha<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup>, 11–33 Kg Cl<sup>-</sup>.ha<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup> and 0.4–1 Kg free H<sup>+</sup>.ha<sup>-1</sup>.yr<sup>-1</sup>, depending of the year, and was studied for Al chemistry from the upper soil horizons to spring waters. Environmental features, vegetation and soils have been described elsewhere [4, 5]. Each horizon of the podzol was instrumented with zero-tension plate-lysimeters to collect leaching solutions after each rainfall episode. Two springs draining from this podzol area were regularly sampled as well. Both soil solutions and spring waters were analysed for total composition and Al speciation as previously described [4, 6].

## Results

Figure 1 shows the distribution of acid waters in the Vosges department under baseflow conditions. About 40 % of the springs studied exhibited pH values below 5.5 and were heavily contaminated with Al, which reached up to 1500 µg.L<sup>-1</sup>. Therefore, the question arose for the origin of such a potentially toxic metal in the aquatic environment.

In the instrumented watershed, rapid vertical leaching was allowed for in the upper soil horizons and water has been successfully collected at the bottom of the eluvial A<sub>0</sub> and A<sub>2</sub> horizons. In contrast, the spodic horizons revealed to be sufficiently cemented to prevent a substantial deep vertical leaching and water could not be collected under the B<sub>s</sub>. This evidenced lateral flowing above the spodic horizons as the main pattern of soil water circulation during storm events.

The mean water chemistry of both soil solutions and surface water is shown in figure 2. Both contained significant concentrations of H<sup>+</sup>, Al, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> and sometimes NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. In the eluvial horizons of the soil, Al speciation analysis showed that Al was leached mainly as organic and fluoride-bound monomeric species as well as polymeric or colloidal species. Al<sup>3+</sup> remained in negligible amounts (Fig. 3). All soil solutions were highly undersaturated with respect to all relevant Al, Al-Si and Al-SO<sub>4</sub> mineral phases (Fig. 5 and 6). The same Al species as in the upper soil occurred in the springs draining from this area but organic Al fell often in minor proportions whereas a high percentage of new inorganic Al species, mainly Al<sup>3+</sup>, appeared, either under highflow conditions only (Fig. 4) or throughout the year (data not shown). Given the general water pathway in this watershed, the organic Al, the F-bound Al and the non-monomeric Al in these spring waters may be regarded as inherited from the upper soil horizons through lateral flowing. The occurrence of the new Al species, however, cannot be ascribed to the same process. A first explanation would involve a partial decomplexation of the organic and/or F-bound Al at the eluvial/spodic horizons interface. This implies a considerable pH shift of the leaching waters, either below 2 or



far beyond 5 for the decomplexation of the Al-F species, below 3 or beyond pH 6–7 for the decomplexation of organic Al. The pH of the soil solutions at the bottom of the eluvial horizon was in the range 3.1–4.5 throughout the period of study, that of the spodic horizons fell also close to this range (pH = 3.7 in the B<sub>h</sub>, 4 at the top and 4.4 in the middle part of the B<sub>s</sub>), and the pH of the spring water ranged mostly from 3.9 to 4.8 during highflow periods at least. This constituted an insufficient pH shift to support the decomplexation hypothesis. The only other possibility to explain the above mentioned change in Al speciation would involve both the adsorption of the major part of the organic Al at the eluvial/spodic horizons interface (B<sub>h</sub> formation) and a partial redissolution of the top of the B<sub>s</sub> horizons [7]. The first step is attested by the strong discoloration and the strong decrease in soluble organic carbon which occurred between the bottom of the eluvial horizons (C = 1.3–14 mmol.L<sup>-1</sup>) and the springs [C = 0.07–0.7 mmol.L<sup>-1</sup>]. The redissolution / leaching step is allowed for by the persistence of acid conditions and the simultaneous occurrence of mobile anions such as NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup> and SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> [8, 9], sulphate release from the spodic horizons (H<sup>+</sup> production associated to organic S mineralization and SO<sub>4</sub><sup>2+</sup> desorption) and the predominance of poorly weatherable minerals in the bedrock. The occasional residual organics may be eliminated with regards to the occurrence of inorganic Al in spring water, since it would result in organic rather than in inorganic Al. Owing to the mineralogical composition of the bedrock, pyrites and salt deposits must be excluded as a source of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> or F<sup>-</sup>. Similarly, laboratory experiments showed that nitrification did not occur in this watershed (data not shown), so that the biological pathway must be ruled out for nitrate occurrence. Therefore the inorganic mobile anions in soil solutions and spring water should be ascribed to atmospheric deposition, and the latter must be regarded as responsible for the transfer of inorganic Al from the top of the spodic horizons to spring water through lateral flowing. That the atmosphere-derived sulphate influence strongly the fate of Al in this watershed is again attested by the solubility relationships shown in figure 6, which support a control of Al activity in spring water by a basic Al sulphate (namely alunite). This was confirmed by the 393 spring waters analyzed in the whole department, which were found to be in equilibrium with alunite during highflow events, with basaluminite during baseflow periods (data not shown).

## Discussion and conclusions

Al speciation analysis in the podzol studied showed that Al translocation from the eluvial to the spodic horizons occurred mainly as organic and F-bound Al, and also as non-monomeric Al. This result is partly consistent with the "fulvate theory" of podzolization [10, 11], but, at first sight, may be also partly compatible with the "proto-imogolite" theory [12]. However, these leachates were always highly undersaturated with respect to proto-imogolite and imogolite so that these minerals could not form. Therefore, the "proto-imogolite" theory could not be verified in this watershed, that agrees with other observations in the USA [7, 13].

In this area, surface waters were acid and contaminated by inorganic Al through the leaching of pre-existing Al-F species, the progressive redissolution of the top of the spodic horizons and the lateral flow of a perched watertable containing mobile anions within the upper part of the spodic horizons. Therefore, spring waters are acid due to the influence of atmospheric deposition and not as a consequence of the predominance of



acid soils alone in their watershed. Al in spring water occurred in part under the toxic  $Al^{3+}$ , that may account for the biological impoverishment of acid waters in the Vosges area [2, 3]. In some springs, the acid stress was restricted to highflow events and disappeared under baseflow conditions, owing to their feeding by water with a long residence time in the regolith, during which their initial acidity was consumed by mineral weathering. In contrast, other springs remained strongly acid throughout the year, irrespective of the runoff regime; this may be interpreted as resulting from poor neutralization processes in the regolith, owing to the mineralogical features of the relevant watersheds.

## References

- [1] Massabuau J.C., Fritz B., and Burtin B., 1987. Mise en évidence de ruisseaux acides ( $pH \leq 5$ ) dans les Vosges. *C. R. Acad. Sci., Paris*, Série III, 305: 121-124.
- [2] Probst A., Massabuau J.C., Probst J.L. and Fritz B., 1990. Acidification des eaux de surface sous l'influence des précipitations acides : rôle de la végétation et du substratum, conséquences pour les populations de truites. Le cas des ruisseaux des Vosges. *C. R. Acad. Sci. Série II*, 311: 405-411.
- [3] Guérolde F., Vein D., Jacquemin G. and Pihan J.C., 1995. The macroinvertebrate communities of streams draining a small granitic catchment exposed to acidic precipitations (Vosges Mountains, N.E. France). *Hydrobiologia* 300/301: 141-148.
- [4] Boudot J.P., Maitat O., Merlet D. and Rouiller J., 1995. Occurrence of non-monomeric species of aluminium in undersaturated soil solutions and surface waters. Consequences for the determination of mineral saturation indices. *J. Hydrol.*, 177: 47-63.
- [5] Boudot J.P., Maitat O., Merlet D. and Rouiller J. 1996. Evidence for the redissolution of soil spodic horizons under the influence of acid deposition in the Vosges mountains (North-eastern France). *Sci. Total Environ.*, 184: 211-214.
- [6] Boudot J.P., Merlet D., Rouiller J. and Maitat O., 1994. Validation of an operational procedure for aluminium speciation in soil solutions and surface waters. *Sci. Total Environ.*, 158: 237-252.
- [7] Driscoll C.T., Van Breemen N. and Mulder J., 1985. Aluminum chemistry in a forested spodosol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 437-444.
- [8] Christophersen N. and Wright R.F., 1981. Sulfate budget and a model for sulfate concentrations in stream water at Birkenes, a small forested catchment in southernmost Norway. *Water Resour. Res.*, 17: 377-389.
- [9] Hendershot W.H., Warfvinge P., Courchesne F. and Sverdrup H.U., 1991. The mobile anion concept – Time for a reappraisal ?. *J. Environ. Qual.*, 20: 505-509.
- [10] Kononova, M.M., 1961. *Soil organic matter. Its nature, its role in soil formation and in soil fertility*. Pergamon press, 450 pp.
- [11] Duchaufour P., 1970. *Précis de Pédologie*. Masson, Paris, 3<sup>rd</sup> éd., 381 pp.
- [12] Farmer V.C. and Fraser A.R., 1982. Chemical and colloidal stability of sols in the  $Al_2O_3$ - $Fe_2O_3$ - $SiO_2$ - $H_2O$  system: their role in podzolization. *J. Soil Sci.*, 33: 737-742.
- [13] Dahlgren R.A. and Ugolini F.C., 1989. Formation and stability of imogolite in a tephritic spodosol, Cascade Range, Washington, U.S.A.. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 53: 1897-1904.

Figure 1 - pH values in 393 springs from the Vosges department under baseflow conditions (autumn 1995). The area east of the broken line has acid bedrocks whereas calcareous ones are confined in the western part.

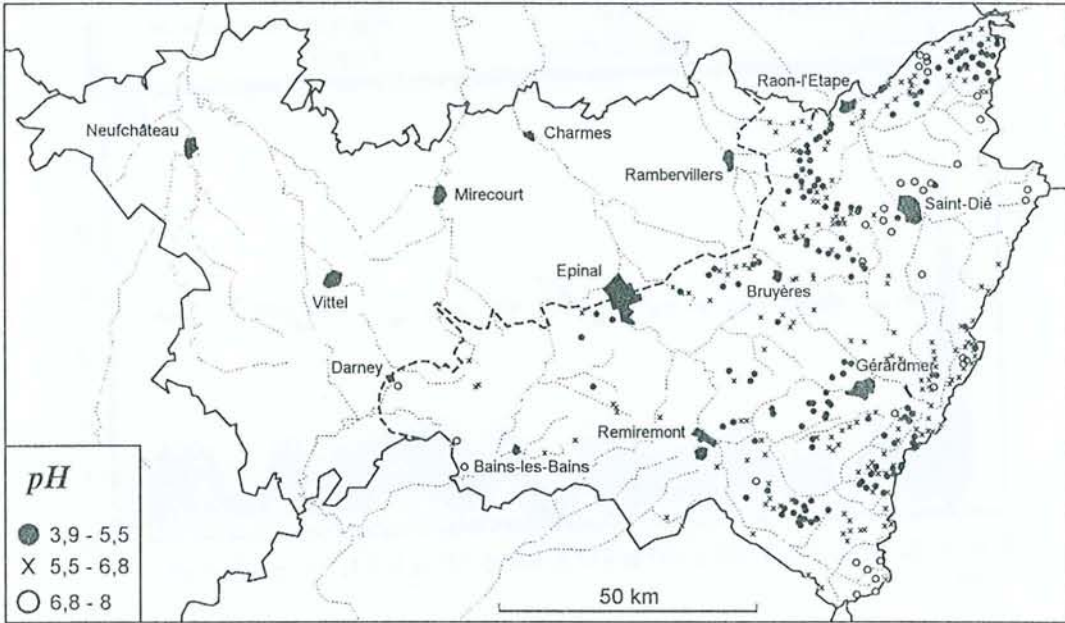


Figure 2 - Charge balance diagram along the main water pathway in the watershed studied (mean over 3 years). Anions are expressed as negative values, cations as positive ones.

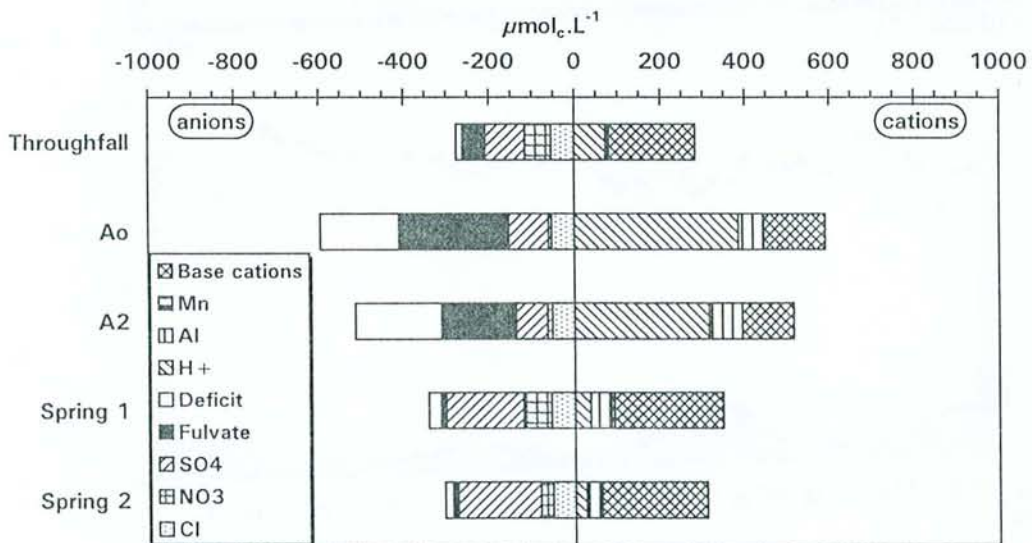




Figure 3 - Al speciation in leaching waters at the bottom of the podzol eluvial horizons (a = winter, b = spring, c = summer, d = autumn).

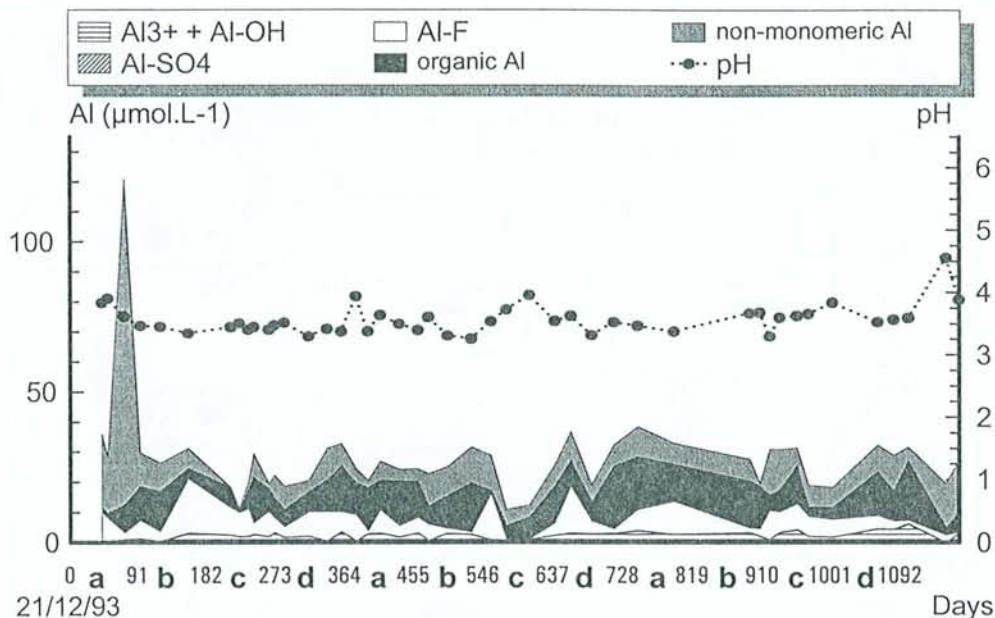


Figure 4 - Al speciation in a spring water draining the podzol area (a = winter, b = spring, c = summer, d = autumn).

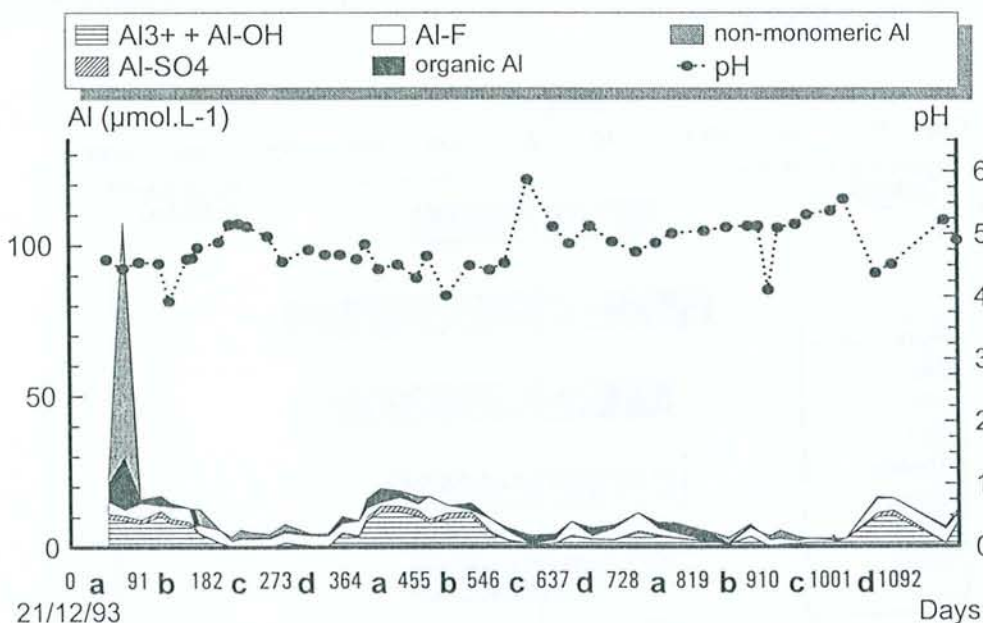


Figure 5 -  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$  and  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  activities in the soil solutions (solid symbols) and spring waters (open symbols) plotted with respect to the solubility of selected mineral phases in the Al-Si- $\text{H}_2\text{O}$  system. Braces denote molar activities.

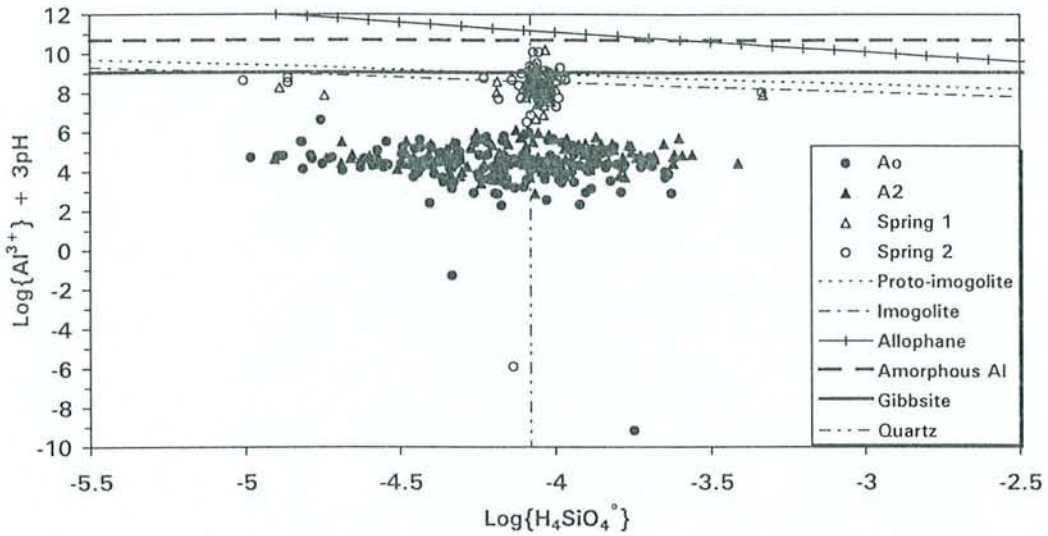
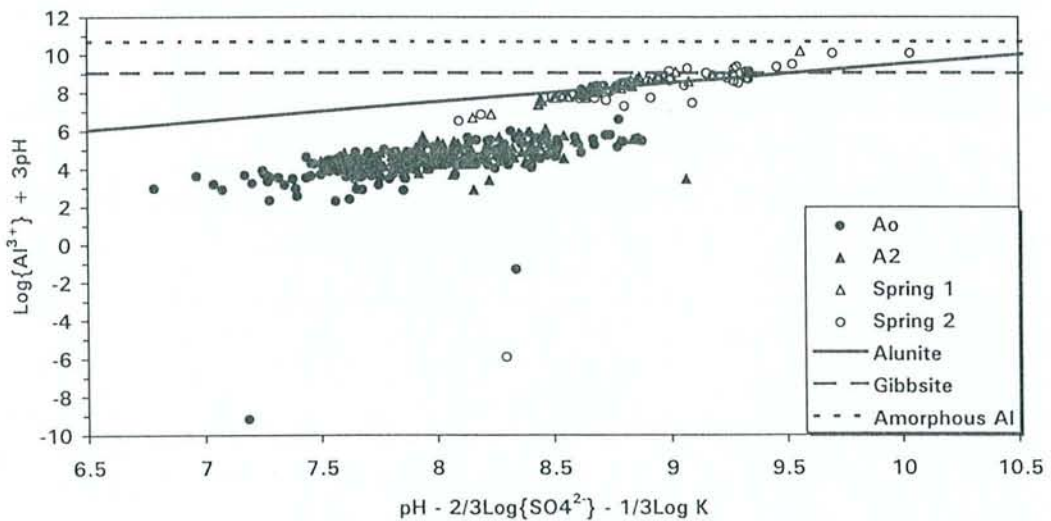


Figure 6 -  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{H}^+$ ,  $\text{K}^+$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  activities in the soil solutions (solid symbols) and spring waters (open symbols) plotted with respect to the solubility of selected mineral phases in the Al-K- $\text{SO}_4$ - $\text{H}_2\text{O}$  system. Braces denote molar activities.







## Aluminium chemistry in two contrasted acid forest soils and headwater streams impacted by acid deposition, Vosges mountains, N.E. France

Ouafae Maitat, Jean-Pierre Boudot\*, Denis Merlet and James Rouiller

Centre de Pédologie Biologique, UPR 6831 du CNRS associée à l'Université Henri Poincaré, Nancy I, 17 rue Notre-Dame des Pauvres, B.P. 5, F-54501 - Vandoeuvres-lès-Nancy Cedex - France.

(Submitted to *Water, Air and Soil Pollution* (1998)).

\* : corresponding author. Fax : (33) (0)3 83 57 65 23. E-mail : boudot@cpl.cnrs-nancy.fr

### Short title: Al chemistry in acid watersheds impacted by acid deposition

**Summary :** Al chemistry was studied in two acidic watersheds in the Vosges mountains (N-E France) through both soil solution and spring water monitoring. In a podzol area, Al was mobilized in eluvial horizons under the predominant influence of organic acidity, then leached in depth mostly under organic and F-bound Al. The Al-F species should be regarded as the shift in Al speciation due to atmospheric F input. Al was transferred from the soil to spring water mostly as  $Al^{3+}$ , that involved a progressive redissolution of the top of the B<sub>s</sub> horizon under the influence of both soil solutions acidity and the occurrence of mobile anions derived input of mobile anions derived from atmospheric deposition. In an acid brown soil area, Al mobilization was regulated by nitrate and occurred mainly as  $Al^{3+}$ . Only traces of monomeric Al reached spring water. In the podzol eluvial horizons, soil solutions were undersaturated with respect to all relevant mineral phases and supported the hypothesis of the control of Al solubility through Al/H<sup>+</sup> exchange.

Conversely, Al solubility appeared to be controlled by an alunite-like mineral in the acid brown soil, by alunite in surface water of both watersheds. This emphasizes the influence of acid deposition on Al chemistry and soil and surface water quality in this country.

**Keywords :** Acid deposition, Podzols, Acid brown earth, Soil solution, Aluminium mobilization, Aluminium speciation, Aluminium control, Alunite, Surface water.

Madame MAITAT Ouafae

DOCTORAT de l'UNIVERSITE HENRI POINCARÉ, NANCY-I  
en PEDOLOGIE

VU, APPROUVÉ ET PERMIS D'IMPRIMER

Nancy, le 17 MAI 1998 n° 20

Le Président de l'Université





## Résumé

Dans les Vosges, un grand nombre de sols et de cours d'eaux renferment parfois de fortes concentrations d'aluminium en solution. Les mécanismes de mobilisation de l'Al dans les sols et du transfert de cet élément des sols aux cours d'eau ont été étudiés dans 2 bassins versants gréseux des Vosges différant par leurs sols, un podzol et un sol brun acide, et par leur couverture végétale (sapinière mixte à myrtille et hêtraie sapinière à fétuque), toutes deux étant en outre plus ou moins déperissantes. Les implications toxicologiques de la présence d'Al en solution ont également été appréhendées.

Dans le podzol, l'Al est mobilisé sous l'influence prépondérante de l'acidité organique et est redistribué des horizons supérieurs aux horizons profonds sous forme d'Al organique, de complexes Al-F et de polymères et/ou de colloïdes. L'Al organique correspond aux processus de pédogenèse naturels, alors que les complexes Al-F sont dus à des entrées de fluor par voie atmosphérique, qu'elles soient d'origine naturelle (volcans, F marin) ou anthropique (activités industrielles). En profondeur, l'Al organique continue à s'insolubiliser au niveau de l'horizon Bh, conformément aux mécanismes naturels de pédogenèse, alors que les complexes Al-F restent en solution et sont transférés jusqu'aux ruisseaux sous l'influence de l'acidité et des anions mobiles d'acides minéraux forts issus des entrées atmosphériques. On assiste en outre à une redissolution progressive de la partie supérieure de l'horizon Bs et à l'apparition d'Al<sup>3+</sup> et de complexes AlSO<sub>4</sub><sup>+</sup> en solution, qui viennent contaminer les cours d'eau.

Dans le sol brun acide, plus riche en minéraux altérables, la nitrification nette est le principal moteur de l'acidification et de la mobilisation de l'Al. Cet élément migre essentiellement sous forme d'Al<sup>3+</sup>, qui tend à s'insolubiliser en profondeur, semble-t-il sous forme d'un sulfate d'Al basique proche de l'alunite. De ce fait l'Al présent en solution dans le sol n'est pas transféré aux cours d'eau.

Ni l'Al organique ni les complexes Al-F n'étant toxiques, il n'y a pas de toxicité aluminique vis à vis de la végétation dans le podzol. Dans le sol brun acide, l'Al<sup>3+</sup> étant toxique, les eaux gravitaires sont le siège d'une ambiance de toxicité aluminique répétée. Celle-ci ne s'observe plus dans les eaux liées, dont l'équilibre cations toxiques/cations bénéfiques est un peu différent. Ces eaux liées sont celles qui alimentent préférentiellement la végétation durant la plus grande partie de l'année. L'aspect déperissant des résineux doit donc être attribué plus aux carences en Ca et Mg qu'à l'Al en solution.

Les milieux les plus atteints par l'effet toxique de l'Al sont sans conteste les eaux courantes du bassin versant podzologique, suffisamment riches en Al<sup>3+</sup> et pauvres en Ca pour être très défavorables aux peuplements piscicoles indigènes des Vosges (truite fario).

Malgré tout, aussi bien les eaux de surface du bassin versant du sol brun acide que celles du bassin versant podzologique apparaissent être en équilibre avec un sulfate d'Al basique, l'alunite, ce qui souligne l'influence des dépôts atmosphériques sur la chimie du réseau hydrologique dans son ensemble.

**Mots clés :** Podzol ; sol brun acide ; Al ; spéciation de l'Al ; toxicité de l'Al ; alunite ; eaux gravitaires ; eaux liées ; contamination des eaux de surface.