



## 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>

## RESUME DE LA THESE DE Jaroslaw Wiszniowski

# Combinaison de méthodes biologiques et photocatalytiques dans le traitement des eaux de décharges municipales.

### Les traitements

En fonction de la qualité de l'eau brute, il s'agit d'un traitement "simple" (désinfection essentiellement) ou d'un traitement plus complexe tel que défini ci-après.

#### Désinfection

Hormis les cas d'eau naturellement protégée vis-à-vis des pollutions et de réseaux entretenus très soigneusement, une désinfection **permanente** est nécessaire.

L'objectif de ce traitement est d'éliminer les germes pathogènes ; pour cela on utilise le chlore et les composés chlorés, les rayons ultraviolets et l'ozone. Le chlore est utilisé soit directement par injection, soit sous forme d'eau de javel (moins stable), soit combiné sous forme de dioxyde de chlore. L'avantage des composés chlorés est d'avoir un effet "rémanent", c'est-à-dire que leur action persiste dans le réseau ; dans le cas de réseaux très étendus, une chloration complémentaire est possible. Lorsque l'eau contient de la matière organique, celle-ci se combine avec le chlore, générant un goût désagréable.

Le rayonnement ultraviolet est bactéricide ; les lampes étant immergées, il est nécessaire que l'eau soit limpide. Cette technique n'offre pas de rémanence en réseau, elle est donc adaptée aux réseaux courts. L'ozone, produit sur place pour un générateur à haute tension, n'est utilisable que sur des unités de grande taille.

#### Traitement des eaux agressives et des eaux entartrantes

En fonction de sa composition chimique naturelle et de son acidité (pH), l'eau peut être soit agressive (elle dissout le carbonate de calcium et "attaque" les métaux dont le plomb), soit entartrante (elle dépose du carbonate). Les eaux agressives sont chargées en gaz carbonique et doivent subir un traitement de "neutralisation" obtenu par percolation à travers un filtre à

~~"neutralité", complété le cas échéant par une "reminéralisation". Le phénomène d'entartrage qui affecte les conduites et les appareils ménagers peut être réduit au moyen d'un adoucissement par décarbonation ou par une "résine", permettant le remplacement du calcium et du magnésium par le sodium. L'adoucissement à domicile doit être limité au circuit "eau chaude".~~

### **Traitement du fer et du manganèse**

Lorsque ces deux métaux sont en quantité excessive, ils donnent à l'eau une coloration et provoquent des dépôts désagréables. Leur élimination se fait, soit par oxydation et filtration, soit par traitement biologique (bactéries).

### **Traitement des nitrates**

Deux procédés sont utilisés pour éliminer les nitrates :

- les "résines" permettant de remplacer les nitrates par des carbonates et des chlorures,
- l'utilisation de bactéries transformant les nitrates en azote gazeux ; ces bactéries sont fixées sur un support servant également de filtre.

### **Élimination des pesticides et des micropolluants organiques**

L'élimination de ces produits nécessite le recours soit au charbon actif (matériaux très poreux) dont la surface "retient" les molécules indésirables, soit à une filtration sur membranes (ultrafiltration).

### **Traitement des eaux de surface**

La chaîne de traitement est adaptée à la qualité des eaux brutes. Elle peut comporter :

- une réduction des matières en suspension par décantation,
- une élimination de la fraction fine en trois étapes successives :
  - coagulation (par ajout de réactif adapté)
  - floculation (agitation favorisant le grossissement des particules)
  - décantation (dépôt sur le fond de "boues") ou flottation (entraînement en surface par des bulles d'air),
- une filtration à travers une ou plusieurs couches de sable calibré retenant les matières en suspension résiduelles et, par action bactérienne, l'ammoniacale, la matière organique. Les filtres doivent être périodiquement "lavés" à contre-courant,
- dans tous les cas, une désinfection finale.

Données Ecologiques, Techniques, Administratives, Socio-Economiques

**Le sol agricole :**

En 1998, 56% de la surface du territoire français sont utilisés à des fins agricoles. Or, le sol destiné à la production de denrées alimentaires, de plantes fourragères, subit des dégradations voire des destructions irréversibles dues à plusieurs causes dont :

- l'érosion des terrains en pente :
- l'érosion des terrains exposés aux influences climatiques car dégagés soit naturellement, soit à la suite de remembrement et suppression de haies, soit à la suite de défrichement, soit enfin durant une période d'inculture laissant le sol à nu (érosion pluviale et éolienne) ;

- le compactage du sol par les engins agricoles, réduisant la porosité du sol, donc la circulation de l'eau et de l'air, formant une croûte de battance ;
- le surengraissement en azote et en métaux lourds et la contamination apportée par ces derniers avec l'épandage de boues d'épuration ;
- l'intoxication des végétaux et des animaux par surdosage de sels minéraux (composés d'éléments majeurs: phosphate, azote, potassium, magnésium, soufre, ainsi que d'éléments mineurs: fer, cuivre, zinc, manganèse, bore) ;
- la destruction d'insectes utiles (vers, mésofaune,...) par les pesticides et par l'apport de lisier (excrément d'animaux utilisés comme engrais) ;
- l'appauvrissement de la couche d'humus par surexploitation du sol pour les cultures, et baisse des taux de matières premières organiques due aux labours profonds ;
- le surpâturage par une consommation de la biomasse végétale supérieure à son renouvellement, principalement dans les zones arides où des espèces telles les chèvres arrachent les racines ;
- la salinité, quoique rare et localisée en France, essentiellement due à une surexploitation des ressources en eau pour irriguer ;
- l'acidification des sols due aux retombées atmosphériques contenant des dioxydes de soufre et d'azote, d'ammoniac, du fait des émissions industrielles, des transports ... pluies acides surtout au Nord et Nord-Est du territoire ;
- les coulées boueuses sont une manifestation de l'érosion, elles détruisent des terres agricoles, submergent des terrains artificialisés, dégradent les cours d'eau. Midi Pyrénées, Rhône Alpes, Picardie, Nord Pas de Calais, Haute Normandie, Ile de France, Alsace, sont les régions les plus touchées ;
- la stérilisation définitive des sols par la construction de bâtiments, voiries, équipements. Celle-ci est malheureusement en progression de 50 000 hectares par an en moyenne.

A propos de l'épandage des lisiers (provenant des élevages) et des boues résiduelles (provenant du traitement des eaux usées) :

- **Les lisiers sont une source d'engraisement des sols qu'il convient de doser.** D'autres débouchés pourraient être développés pour en absorber les flux et éviter la concentration de leurs éléments dans les sols et l'eau, tels que la production de méthane à partir de cette biomasse et son utilisation énergétique (chauffage). Il est à regretter que cette valorisation soit peu citée dans les Plans départementaux d'élimination des déchets.
- **Les boues enrichissent le sol par des apports d'azote, phosphates, potassium,...** Selon l'origine de ces boues, les apports diffèrent, par exemple: magnésium, calcium apportés dans les boues des papeteries, cuivre, plomb apportés (et indésirables) dans les boues de zones urbaines ou d'activités industrielles. Les cultures céréalières sont d'assez bons filtres, contrairement aux cultures maraîchères pour lesquelles les métaux lourds contenus dans les boues présentent un risque de concentration et de contamination de la chaîne alimentaire. L'origine des boues est à prendre en compte selon l'utilisation, et la prudence devrait être de rigueur même si les recherches en la matière n'ont pas encore

~~donné des résultats précis. Voir le décret 97-1133 du 8 décembre 1997 et la norme NF U44-041.~~

Si les engrais enrichissent la terre, il ne faut pas confondre apport optimum et apport maximum.

Les agriculteurs doivent être formés et avoir les moyens techniques de doser leurs apports afin de ne pas polluer les sols et les ressources en eau.

La valorisation agricole des boues résiduelles présente le triple avantage d'enrichir les sols, d'être actuellement à disposition gratuite des forestiers et agriculteurs, d'être un débouché pour ce type de déchets qui devraient sinon être incinérés ou mis en décharge d'où un coût non négligeable

La quantité de boues résiduelles produite et disponible va augmenter encore (du fait de la législation sur l'eau et sur les déchets), il convient donc d'être vigilant sur leur utilisation. Voir arrêté du 8 janvier 1998.

Insistons enfin sur les intérêts qu'il y a à ne jamais laisser un sol nu entre deux cultures, à faire une rotation des types de cultures sur un même champ, à garder ou replanter des haies. Tout ceci limitant l'érosion et l'appauvrissement des sols, et favorisant la biodiversité de l'ensemble des écosystèmes.

#### **Le sol filtre et réservoir d'eau :**

Le sol considéré comme purificateur de l'eau ne peut plus assurer suffisamment ce rôle du fait du drainage par les eaux de ruissellement et eaux d'infiltration, jusqu'aux cours d'eau et nappes phréatiques, des :

- excédents d'engrais, notamment les nitrates et les phosphates (ces derniers ayant une origine urbaine importante)
- pesticides, herbicides
- métaux lourds apportés volontairement par l'épandage de boues d'épuration pour enrichir le sol, ou apportés involontairement par des émissions anthropogènes véhiculés par l'atmosphère
- hydrocarbures, métaux lourds entraînés par les eaux lessivant les voies de circulation
- produits chimiques complexes d'origine industrielle issus de pollutions chroniques ou accidentelles
- déchets mis en décharge qui polluent le sol puis l'eau par infiltration
- Selon la nature et la densité de ces éléments, les pollutions sont plus ou moins conséquentes, avec des répercussions sur la faune, la flore, et la santé humaine.

~~Actuellement 65% de la ressource en eau potable vient des nappes phréatiques alors que seulement 20% des captages d'eau potable sont protégés. Pourtant, les points de captage non protégés naturellement doivent avoir un périmètre de protection établi et déclaré d'utilité publique préfectorales. Trois périmètres sont prévus : immédiat, rapproché, éloigné, à l'intérieur desquels certaines activités sont interdites (épandages, etc.). Les servitudes engendrées par ces périmètres doivent figurer en annexe du Plan d'occupation des sols de la commune. Mais entre théorie et pratique, il reste du travail.~~

Actions possibles de protection des sols agricoles et du sol filtre et réservoir d'eau :

- limitation des apports d'engrais, de pesticides, d'herbicides
- culture de plantes absorbant les excédents d'engrais entre deux productions de plantes alimentaires ou fourragères (la moutarde par exemple)
- dosage de l'alimentation des animaux, plus particulièrement pour l'élevage porcin, qui permet de diminuer les taux d'azote dans les lisiers produits
- traitement des lisiers en installation autonome chez l'éleveur (un traitement biologique dans des cuves de stockage diminue le taux d'azote avant épandage sur les terres agricoles)
- extensification de l'agriculture: diminution quantitative de la production avec une plus grande richesse dans les cultures, une protection des variétés de plantes et des espèces animales
- jachère interrompant temporairement la production pour laisser le sol se reposer
- mise en place d'une agriculture alternative, selon le principe du cycle des substances dans l'écosystème entre le sol, les plantes, les animaux, les hommes. Les exploitations mixtes (culture et élevage) permettent cette forme d'agriculture
- orientation vers une agriculture biologique ou vers une gestion des espaces verts qui renoncent à l'utilisation d'herbicides et biocides synthétiques grâce entre autres à des procédés mécaniques (brûlages des mauvaises herbes...), à des insectes prédateurs d'autres insectes (coccinelles ...)
- plantation de haies pour éviter les eaux de ruissellement
- mesures de protection contre les pollutions d'origine industrielle: process évitant les fuites d'eau ou résidus pollués, récupération et traitement des effluents
- récupération et traitement des eaux de ruissellement polluées à proximité des grandes voies de circulation, des aéroports, dans les zones urbaines
- étanchéité apportée aux routes et à leurs accotements, aux fonds de décharges industrielle ou ménagère, aux sommets de terrils de résidus divers, et conjointement installation de drains pour recueillir les liquides pollués en vue de leur traitement
- protection grâce au Plan d'occupation des sols : des terres fertiles et des terrains à ne pas défricher pour éviter l'érosion, des périmètres de la ressource en eau vis à vis d'activités polluantes.

~~Il est à noter que le maire peut faire usage de son pouvoir de police pour réglementer voire interdire l'épandage ou le jet de toute substance susceptibles de nuire à la santé et à la salubrité publique (sans pouvoir néanmoins s'immiscer dans la police spéciale des installations classées qui relève du préfet).~~

Le maire doit faire respecter les dispositions du Règlement Sanitaire Départemental et il peut adopter des arrêtés municipaux dans des circonstances spéciales (perméabilité importante des sols,...).

Le RSD réglemente l'épandage d'engrais selon les périodes de l'année, selon les types de cultures, selon la nature des sols, en fonction de périmètre de protection de la ressource en eau.

Le RSD réglemente l'épandage de produits phytosanitaires pour protéger les lieux avoisinants et les insectes pollinisateurs, pour prendre les précautions nécessaires lors de traitements aériens, pour donner des informations pratiques et juridiques.

Le Code rural donne aussi, en matière d'utilisation de produits spécifiques, des mesures visant la protection des végétaux, la défense contre les parasites et rongeurs, la préservation des poissons vis à vis des rejets.

Les opérations de conseil « Fertimieux » et Irrimieux » marquent la prise en compte des questions environnementales tant par les pouvoirs publics que par les agriculteurs.

#### **Le sol et les activités industrielles :**

Le sol ayant supporté une activité industrielle peut avoir été contaminé du fait de procédés utilisant des produits toxiques ou du fait de déchets déposés sur le sol voire enterrés.

Une remise en état du site peut être requise en cours d'exploitation sinon en cas de cessation définitive de l'activité, ou enfin à la vente du site. Le site doit alors être remis dans un état tel qu'il ne s'y manifesterait aucun des dangers ou inconvénients mentionnés dans la Loi du 19 juillet 1976, article 1er.

#### **Autres dispositions réglementaires applicables :**

- Loi 75-633 du 15 juillet 1975 sur les déchets, article 2
- Loi 76-663 du 19 juillet 1976, article 7 sur les servitudes d'utilité publiques concernant l'utilisation du sol, et le décret d'application de cette loi, article 18
- Décret du 21 décembre 1977, article 34, modifié par le décret du 9 juin 1994 portant sur les installations classées
- Loi 92-646 du 13 juillet 1992 instaurant les plans régionaux d'élimination des déchets

- ~~Loi 95-101 du 2 février 1995 qui modifie la Loi du 13 juillet 1992 en instaurant la taxe sur les déchets industriels spéciaux et en augmentant la taxe sur les déchets ménagers mis en décharge sans traitement~~
- Décret de juin 1996 instaurant une taxe sur les entreprises de stockage.

En l'attente de cadre légal spécifique aux sites et sols pollués (à l'instar de la Grande-Bretagne, l'Allemagne, les Pays-Bas,...), la politique française de traitement et de réhabilitation des sites et sols pollués a été définie par une circulaire du ministère de l'Environnement, le 3 décembre 1993, dans le cadre de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement.

Le Service de l'environnement industriel de la Direction de la prévention des pollutions et des risques du Ministère de l'Environnement réactualise actuellement le recensement des sites potentiellement pollués. En 1992, un premier recensement en dénombrait 553 auxquels ajouter les 700 sites d'anciennes exploitations d'usines à gaz et quelques milliers de sites d'anciennes stations service et de stockage d'hydrocarbures.

En 1997, le Ministère de l'Environnement en inventoriait 896 (dont la moitié dans le Nord Pas de Calais, l'Ile de France, et en Rhône Alpes), mais officieusement plus de 1 200 sites auraient pu être mentionnés. Surtout ce sont près de 300 000 sites potentiellement pollués en France, dont la Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques estime qu'un tiers le sont sérieusement, d'où l'étendue du problème. Les pollutions recherchées, et donc trouvées, sont plus spécialement des pollutions engendrées par des hydrocarbures. Ceci s'explique notamment du fait que les techniques de décontamination sont pour beaucoup issues des industries pétrolières ou minières, et ne sont pas aussi efficaces pour détruire les composés chlorés et les hydrocarbures aromatiques polycycliques. Les recherches sur les pollutions minérales sont à développer. La compréhension du piégeage des métaux dans les sols implique la connaissance à l'échelle atomique des interfaces entre les phases minérales et/ou fluides et organiques.

Autre recensement, celui de l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs ANDRA, qui en 1997 inventorie 1103 sites de stockage surveillés ou abandonnés, de déchets nucléaires : mines et usines de la Cogéma, usines d'engrais, de pierres à briquet, de paratonnerre, d'horlogerie (radium des aiguilles luminescentes), bases militaires, centres de radiothérapie... L'ANDRA a récemment signé une convention avec EDF et la Cogéma pour financer pendant cinq ans à hauteur de 10 millions de Fr/an, la décontamination de ces friches industrielles.

Il existe trois voies complémentaires de recensement : le constat ou la déclaration d'une pollution (découverte fortuite ou accident), l'étude systématique des sites en activité (principalement dans les secteurs de la Chimie, de la Fonderie, des Traitements de surface), les études historiques régionales inventoriant les sites industriels anciens.

Une circulaire envoyée par le Ministère de l'Environnement aux préfets le 3 avril 1996 a demandé aux DRIRE de désigner 2 000 sites (ramenés à 1 500 sites en 1998) en activité potentiellement polluée, sur lesquels réaliser une étude de sol dans un délai de trois à cinq ans. Ceci n'est qu'une amorce de la réglementation.

Vu le nombre très important de sites pollués, il faut sélectionner les sites selon leurs risques : les sites nécessitant des investigations approfondies et une hiérarchisation des interventions, les

~~sites à surveiller par un dispositif approprié voire des mesures d'urbanisme, les sites à banaliser sans travaux spécifiques.~~

Les sites sans propriétaire solvable, appelés sites orphelins, sont pris en charge par l'Etat et gérés par l'ADEME dans le cadre d'un financement prévu par la loi du 2 février 1995.

La TGAP a remplacé la taxe sur la mise en décharge des déchets industriels spéciaux, la taxe sur les déchets ménagers mis en décharge sans traitement, la taxe sur les entreprises de stockage participant au financement des dépollution de sites. Les Agences de l'eau participent aussi à ce financement. Le contribuable devra également participer à la décontamination des sites orphelins. Un comité de gestion du fonds de dépollution des sites orphelins a été récemment constitué.

Les conséquences de la pollution, et les objectifs de dépollution, varient selon plusieurs paramètres:

- le milieu dans lequel intervient cette pollution et l'évaluation des risques pour la santé humaine, pour la faune et la flore, pour la ressource en eau, pour le patrimoine foncier.
- l'usage du site après dépollution, consécutivement le « niveau de pollution acceptable » est apprécié.
- les meilleures technologies disponibles, c'est à dire détermination des seuils de dépollution à atteindre selon les techniques utilisées.
- les seuils de concentrations maximales en mg/Kg de terre selon les polluants (mais les valeurs-limites varient beaucoup selon les pays, d'où la difficulté à réglementer en France).
- les moyens financiers pour payer la dépollution.

Le marché de dépollution des sols doit continuer à se développer et avec lui, outre l'intérêt écologique, la création d'emplois, le développement des technologies, la baisse des coûts :

- techniques biologiques (bactéries, champignons, enzymes) ;
- extraction des polluants par mise en dépression de la zone non saturée ;
- stabilisation : mélange de la terre à de l'argile et de la chaux quand il y a pollution par métaux lourds ;
- drainage hydropneumatique injectant de l'oxygène dans le sol et activant les polluants organiques avec des tensio-actifs ;
- réhabilitation des eaux souterraines chargées en composés organiques volatils en injectant de l'air comprimé dans l'aquifère ce qui fait remonter l'eau polluée dans un puit creusé où la phase liquide est séparée de la phase gazeuse riche en COV ;
- inertage in situ des déchets par injection d'un liant ;
- confinement: les terres et eaux polluées sont contenues pour éviter la migration de la pollution, obtenu notamment en disposant une compactée encapsulant la terre polluée ;

- traitement hors site: les terres polluées sont excavées pour être mises en décharge-incinérées-banalisesées-réutilisées .

En France, le marché de la dépollution stagne (300 MF en 1994, 350 MF en 1995, 298 MF en 1996) d'après l'UPDS (30 sociétés membres de dépollution des sols), ce qui est très inférieur au marché allemand de 5 milliards de francs. C'est un marché complexe sur le plan technique, étroitement lié à la réglementation dont l'obligation de dépolluer, avec des enjeux financiers importants.

Le coût élevé de la dépollution peut amener les entreprises à geler leurs terrains plutôt que d'avoir à les dépolluer pour les vendre, et ce coût limite les interventions du Ministère de l'Environnement et des Collectivités territoriales pour les sites orphelins ou de leur ressort.

Il semble que les professionnels du marché de la dépollution des sols seront de plus en plus ceux qui sauront faire la synthèse de la géotechnique, de la chimie, de la biologie, de l'hydrologie,...et seront adossés à de grands groupes (capables d'investir dans la recherche et forts d'une implantation internationale).

Les étapes de remise en état d'un site pollué sont :

- l'étude historique des activités sur le site ;
- l'étude géologique et hydrologique ;
- l'étude analytique par recherche de polluants, et connaissance du transfert de ces polluants dans les milieux (air, eau, terre) puis dans les cibles (homme, faune, flore) ;
- le diagnostic des risques et du « niveau de risque acceptable » ;
- les mesures conservatoires d'urgence ;
- la mise en oeuvre des traitements appropriés (traitement thermique, lavage des sols, stimulation de la biodégradation, aspiration des gaz volatils du sol, enlèvement de terre...).

Il est à noter que la réhabilitation des sites pollués à la suite de décharges d'ordures ménagères présente des similitudes avec la réhabilitation des sites pollués à la suite d'activités industrielles. Si les polluants sont généralement différents, la méthodologie des travaux est semblable.

Les seuils de dépollution n'étant pas encore fixés réglementairement en France, l'appréciation de la dépollution varie selon le point de vue du propriétaire du terrain et celui de son futur acheteur ou encore du préfet qui fixe le niveau de décontamination et de la DRIRE.

Cela entraîne des contentieux que la « Méthodologie d'évaluation des risques » du Ministère de l'Environnement pourra permettre de clarifier en partie.

Le coût de la dépollution risque d'amener des propriétaires à laisser leur terrain en l'état plutôt que de le traiter en vue d'une cession et/ou d'un changement d'affectation.

~~En 1997, le Ministère de l'Environnement a annoncé l'inscription de contraintes éventuelles d'usage dans les documents d'urbanisme (POS,...) liées à l'état pollué de sites.~~

### **Les carrières et les mines :**

En France, environ 500 millions de tonnes de matières premières et de matériaux sont extraits annuellement du sous-sol. L'activité extractive minière et métallurgiques représentait en 1991 un chiffre d'affaires de l'ordre de 300 milliards de francs, et l'emploi direct ou indirect d'un million de personnes. La part des granulats dans les activités d'extraction représente 377 millions de tonnes dont la grande partie est d'origine alluvionnaire (197 millions de tonnes) et le solde est obtenu par concassage de roches massives. Les granulats sont utilisés pour 189 millions de tonnes dans la construction de routes, pour 100 millions de tonnes dans le génie civil, pour 60 millions de tonnes dans la construction de bâtiments et l'entretien, pour 28 millions de tonnes dans la construction de logements neufs (Sources de ces chiffres: Rapport IFEN 1994).

Mais cette production nationale décroît du fait des efforts en économie des matières premières, du développement du recyclage, et d'une concurrence économique mondiale particulièrement pour les minerais. En 1995 le nombre de mines en activité était inférieur à 50, et celui des carrières avoisinait les 9000.

La loi 93-3 du 4 janvier 1993 relative aux carrières a modifié le code minier et la législation des installations classées pour que les carrières soient soumises à cette dernière législation en supprimant l'autorisation au titre du Code minier. Néanmoins les carrières restent soumises au Code minier pour ce qui concerne la sécurité et la santé des travailleurs.

Les schémas départementaux des carrières imposés par la loi du 4 janvier 1993 doivent prendre en compte l'intérêt économique national, les ressources et besoins en matériaux, la protection des paysages, des sites et milieux naturels sensibles, la remise en état, le réaménagement des sites. C'est le préfet qui approuve ce schéma, après avis du Conseil général, schéma élaboré par la Commission départementale des carrières (voir décret 94-603 du 11 juillet 1994).

### **Les nuisances des carrières se trouvent aux différentes étapes de l'exploitation :**

- avant l'exploitation, les travaux préliminaires détériorent le site par exemple en le déboisant.
- durant l'exploitation sont générés du bruit, des vibrations, des poussières, des circulations d'engins lourds, des pollutions des eaux de surface et souterraines, des perturbations du lit des cours d'eau ou des bords de mer selon le lieu d'extraction. Les répercussions de ces nuisances sont inéluctables sur la faune, la flore, le paysage, l'environnement humain.
- à l'arrêt définitif d'exploitation, le paysage est détérioré, il peut devenir une décharge sauvage, un lieu insalubre. Les régimes hydrologiques et géochimiques sont modifiés et l'alimentation en eau potable peut en être affectée.

**Les actions possibles pour la commune sur laquelle est située l'exploitation sont :**

- ~~avant l'exploitation, le POS de la commune permet ou non une exploitation de ce type.~~  
L'exploitation de la carrière est subordonnée à une déclaration ou à une autorisation (procédure administrative dépendant de la surface et de la production de l'exploitation), l'autorisation est précédée d'une enquête publique et d'une étude d'impact. C'est le préfet qui est compétent pour délivrer son accord suite à une déclaration ou une autorisation, en consultant les services administratifs et la commune concernée. Le maire reçoit de l'exploitant un exemplaire de la demande d'exploitation adressée au préfet. Le maire donnera son avis et celui du conseil municipal au préfet. Il affichera en mairie l'avis éventuel d'enquête publique puis l'avis de déclaration ou d'autorisation d'exploitation. Les installations de traitement des matériaux (installations de lavage, broyage, concassage) sont soumises à la législation des installations classées.
- durant l'exploitation, le maire peut limiter par arrêté la circulation des camions et le travail de nuit afin d'assurer la tranquillité des habitants. Le maire peut demander une contribution spéciale à l'exploitant, proportionnelle aux détériorations causées à la voirie, selon la circulaire 78-312 du Ministère de l'Intérieur. Le maire avertit le préfet et la DRIRE (Direction régionale de l'Industrie, de la Recherche, de l'Environnement) en cas de dommages et nuisances excessives telles que des émanations de poussières et de gaz dans le cas des mines.
- à l'arrêt définitif de l'exploitation, le maire doit assurer, en son pouvoir de police, la sécurité du public quant à l'instabilité des terrains et aux risques d'effondrements des carrières souterraines. L'exploitant doit remettre en état les lieux compte tenu des caractéristiques du milieu environnant, et à défaut (après une mise en demeure de deux mois) des travaux peuvent être réalisés d'office aux frais de l'exploitant, voire en utilisant la caution exigée lors du dossier d'autorisation préalable. En cas de vente des carrières anciennement exploitées, la commune a un droit de préemption lui permettant de racheter ces terrains et de les transformer alors en base de loisirs (plan d'eau, espace sportif), en remise en culture, en zone industrielle,...

Reste que les situations après arrêt d'exploitations sont d'une gestion difficile, techniquement et financièrement : l'ennoyage des galeries par l'eau qui n'est plus pompée peut entraîner une minéralisation excessive de l'eau devenant impropre à la consommation, l'affaissement des bassins miniers est un autre problème. La Lorraine a commencé à en être touchée, le Nord-Pas de Calais et l'Alsace ne sont pas exclus de menaces... Les Sociétés exploitantes ont intérêt à prévoir à tous points de vue les suites de leurs exploitations pour y trouver solution (quand solution existe...).

**Les actions possibles, de manière générale, sont aussi de limiter les extractions et consécutivement leurs nuisances en intensifiant :**

- le remplacement des granulats naturels par des produits de substitution (12 millions de tonnes de granulats provenaient du recyclage en 1990). Exemples: les bétons de démolition concassés sont valorisés dans de nouvelles maîtrises d'oeuvre, les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères rentrent dans la composition d'une grave routière, les schistes houillers ;
- le recyclage des métaux (fer, aluminium, plomb, nickel, argent,...) ;
- le déplacement de l'impact écologique vers les pays extracteurs autres que la France, n'est évidemment pas une solution en elle même, déplaçant le problème .

## Elimination des métaux lourds dans les boues

### et les effluents LA VOIE BIOLOGIQUE

#### SOMMAIRE

##### 1 CONTEXTE

L'eau sera l'un des grands enjeux des années à venir. Les industriels et les collectivités, sous la pression réglementaire, sont dans l'obligation d'assainir les eaux usées urbaines et industrielles avant leur rejet dans l'environnement.

Dans les pays industrialisés, les effluents domestiques usés sont le plus souvent collectés et acheminés vers des stations d'épuration. A l'horizon 2005, toutes les communes de plus de 2000 habitants devront être raccordées à un réseau d'assainissement. De même, et en raison du contenu parfois toxique de certains effluents de leurs usines, les industriels se verront encourager ou dans l'obligation de pré-traiter, en amont, leurs rejets avant de les mélanger aux eaux urbaines dans les stations d'épuration. Les entreprises et les collectivités auront donc à s'équiper de systèmes de traitements de plus en plus performants et spécifiques.

Enfin, se pose le problème du devenir des boues issues de cette épuration (9 à 10 millions de tonnes produites chaque année en France). Elles forment des déchets volumineux, qui contiennent 95 à 99 % d'eau, mais aussi des matières organiques et parfois, des micro-polluants organiques ou minéraux. Le monde agricole étant le principal destinataire des amendements, leurs préoccupations légitimes et croissantes sur la sécurité alimentaire impose une réflexion sur le strict respect de la qualité des intrants qu'il utilise et la protection des sols, tant au niveau du besoin d'entretenir le stock en matières organiques des sols, que de celui d'éviter l'accumulation de polluants notamment les métaux lourds.

De nombreuses activités minières, industrielles (traitement des métaux, automobile, papeteries, tanneries, etc.) et agricoles sont à l'origine de certaines pollutions des sols et des nappes phréatiques en métaux lourds (ML) et/ou métalloïdes (MD). De même, les phénomènes de ruissellement des eaux de pluie conduisent à retrouver ces composés inorganiques dans les eaux usées, les milieux naturels, les sédiments et les boues.

Ainsi, la teneur en métaux lourds dans les sols dépasse en certains endroits (axes routiers, proximité des sites industriels, ...) le seuil de concentration fixé par la réglementation et représente un danger pour les êtres vivants. Les autorités comme les citoyens sont de plus en plus sensibles à cette pollution et la demande est forte pour la maîtriser.

Face à ce constat, trois axes de travail apparaissent : traiter les sols, traiter les boues ou traiter les effluents en amont. La présence de métaux lourds apparaît particulièrement pénalisante car cette pollution risque de connoter négativement les productions et conduire à un rejet de l'épandage vers des traitements thermiques coûteux en énergie et CO

2 Ce problème est d'autant plus préoccupant que les métaux ne sont pas biodégradables. L'élimination progressive des métaux lourds dans les effluents est liée à la maîtrise des techniques de séparation physico-chimique ou de précipitation ainsi qu'à la réduction des coûts de tels traitements.

##### 2 DEFINITION

Métaux lourds : appellation donnée à certains métaux pondéreux et toxiques (Cd, Hg, Pb, Al, As, Cr, Co, Cu, Mn, Mb, Ni, Zn, etc.) qui ont tendance à s'accumuler dans l'environnement. Il serait par ailleurs d'usage aujourd'hui de parler de métaux toxiques et non métaux lourds (l'Aluminium par exemple n'est pas un métal lourd et pourtant il est extrêmement toxique).

**Biotechnologies** : ensemble des techniques et procédés mettant en oeuvre des micro-organismes (bactéries, levures, champignons, etc.), des enzymes, des plantes, des extraits végétaux, des invertébrés, des poissons, etc., à des fins de dépollution, d'analyses et de bio-surveillance.

La grande majorité des procédés de dépollution des composés inorganiques sont de type physiques, physico-chimiques. Ces techniques, reposant principalement sur la précipitation, la coagulation-floculation, la décantation, l'osmose inverse, l'électrochimie, etc., n'éliminent pas toujours l'ensemble des composés chimiques présents dans les effluents. Cependant, l'association de plusieurs d'entre-elles améliorent nettement les rendements des traitements. Les procédés biologiques, quant à eux, recèlent un bon nombre de techniques alternatives de plus en plus fiables et économiquement intéressantes. Les applications, dans le domaine du traitement des rejets des eaux domestiques usées, pluviales, des boues de stations d'épuration, des effluents industriels gras, sont nombreuses et largement reconnues. Elles font appel, associées ou non aux outils classiques, à des technologies aussi variées que les cultures bactériennes libres (bioréacteurs, boues activées) ou fixées (bio-filtres, bio-membranes, lits bactériens), les filtres plantés de roseaux (lits à macrophytes) voire la lombrifiltration (épuration par des vers de terre).

### **2.1 Elimination des métaux lourds ou toxiques par voie biologique**

Certaines applications des biotechnologies, notamment dirigées vers la dépollution de matrices solides (sols), peuvent s'appliquer aux traitements des boues et des sédiments :

La bioremédiation : décontamination biologique des sols et sédiments par les bactéries.

La phytoremédiation : elle est définie comme l'utilisation de la capacité de certains végétaux à se développer en milieux contaminés, pour le traitement de sols, boues, sédiments, d'effluents liquides. Elle repose sur la faculté des plantes à bloquer, extraire, accumuler, transformer ou détruire un polluant donné (cf. : fiche technologies clés 2000-2005 sur la phytoremédiation).

Concernant le traitement, par voie biologique, des effluents liquides pollués par les métaux lourds ou toxiques, rares sont les techniques commercialisées à ce jour. Certaines d'entre-elles sont, toutefois, connues alors que d'autres émergent seulement :

La biolixiviation : capacité et propriété de certains micro-organismes à extraire un ou plusieurs composants présents à l'état soluble et le ou les convertir en minerais solides. Ce procédé est largement appliqué au sein des installations minières.

La bio-immobilisation : capacité et propriété de certains micro-organismes à insolubiliser un ou plusieurs composants présents à l'état soluble.

La bio-électrochimie : procédé couplant adsorption biologique et électrochimie ; un réacteur produisant de la biomasse avec un milieu de culture régénéré par voie électrochimique est associé à un réacteur de fixation métallique sur cette biomasse

Quelques techniques, en développement, s'appuient sur des extraits végétaux (copeaux de bois, pulpes de betteraves) dont les capacités à fixer les éléments métalliques tendent à être prouvées.

Bien que potentiellement prometteuses, l'emploi des biotechnologies se trouvent confronter aux limites de leur application :

**Des durées de traitement relativement plus importantes.**

La profondeur d'intervention pour les techniques de phytoremédiation.  
**Des technologies relativement jeunes, dont beaucoup en sont encore au stade de développement.**

Certains procédés appliqués au traitement biologique de matrice solide sont encore difficilement transposables aux effluents liquides (phragmifiltres et épuration des éléments métalliques, etc.).

Les fluctuations saisonnières, dues aux différentes conditions climatiques, qui affectent directement ou indirectement la vie des plantes et des micro-organismes.

La capacité des micro-organismes à survivre dans des conditions extrêmes (pH extrêmes, oxygénation, concentrations très élevées en éléments inhibiteurs, etc.).

Les traitements biologiques offrent, cependant, des atouts non négligeables :  
**Des coûts de traitement compétitifs.**

La phytoremédiation : une technique « passive » ne demandant pas d'apport énergétique si ce n'est celui du soleil.

Le traitement d'une gamme diversifiée de polluants métalliques.  
une spécialisation des micro-organismes que l'on peut aisément sélectionner pour des activités spécifiques : ces souches de micro-organismes parviennent à faire des substances toxiques une source d'énergie, dont elles peuvent parfois même devenir à terme dépendantes.

## **2.2 Degré de développement national**

A ce jour, la quasi totalité des techniques appliquées pour le traitement des effluents liquides et des boues pollués par des métaux lourds ou toxiques repose donc sur les procédés physico-chimiques. De même, la majorité des études et des évaluations technico-économiques réalisées sur le secteur portent essentiellement sur ces méthodes.

Le document Technologies Clefs 2000-2005, publié par le ministère français de l'économie et des finances, indique le positionnement et le degré de développement national dans ce domaine. Il établit plusieurs niveaux :

## **3 L'ELIMINATION DES METAUX LOURDS DANS LES BOUES ET LES EFFLUENTS EN RHONE-ALPES**

### **3.1 Acteurs impliqués**

En Rhône-Alpes, les laboratoires suivants contribuent, par leurs différents travaux, à la recherche sur le traitement biologique des effluents liquides et des boues pollués par des métaux lourds ou toxiques (dépollution). Cette liste n'est pas exhaustive. En Rhône-Alpes, aucune entreprise n'a été identifiée sur le segment des produits et/ou des activités en lien spécifique avec le traitement biologique des effluents liquides pollués par des métaux lourds ou toxiques (dépollution). Cependant, les sociétés suivantes proposent des techniques et des services dont les applications peuvent s'appliquer à la dépollution des boues, des sédiments et de certains effluents pollués par des métaux.

Cette liste n'est pas exhaustive.

### **3.2 Degré de développement régional**

Région phare dans les domaines du traitement de l'eau et des sols, Rhône-Alpes affiche de nombreuses compétences dans le domaine des sciences de la vie.

Tous ces atouts concourent à favoriser l'émergence des Biotechnologies comme solution alternative aux procédés physico-chimiques :

Des équipes scientifiques à la pointe de la recherche sur les métaux et les transferts des polluants,  
la végétation,  
les microorganismes,  
l'écotoxicologie et la gestion des déchets.

Des entreprises et bureaux d'études spécialisés en génie écologique ou en dépollution des effluents liquides et/ou des matrices solides.

Des collectivités dynamiques dans le secteur des biotechnologies.

Un engagement fort de certaines collectivités dans le développement durable.

### 3.3 Actions en cours et perspectives

Participation de l'ARTEB à la journée organisée par l'Association Rivières Rhône-Alpes sur le thème de « l'assainissement non collectif ».

Participation de l'ARTEB à la 2<sup>ème</sup>

édition du forum Ecole Centrale de Lyon des biotechnologies (jeudi 5 décembre 2002).

Présence de l'ARTEB sur l'édition 2002 de Pollutec.

L'ARTEB participe activement aux travaux du groupe « phytoremédiation » de l'A.P.P.E.L. (dernière réunion le 6 juin 2002) et assure l'interface entre les thématiques sols et effluents liquides.

L'ARTEB participera ou co-organisera plusieurs manifestations sur ce thème en 2003.

La variabilité des précipitations, associée au cycle de croissance de la végétation, conduit à une très forte fluctuation de son abondance ; crues ou inondations, orages brutaux amènent des drames là où l'on n'a pas su maîtriser l'urbanisation et où se sont développées des habitations ou des activités en zone inondable. L'urbanisme, de la responsabilité des communes, ne peut être durable que s'il évite la spirale de l'accroissement des biens et des personnes exposés au risque, demandant toujours plus de travaux de protection. La maîtrise des eaux pluviales en amont des petits bassins urbains est bien préférable à la construction de tuyaux pour les évacuer.

C'est la géographie qui dicte les solidarités nécessaires dans la gestion de l'eau : au sein d'un bassin versant, collectivités et usagers, de l'amont à l'aval, doivent mettre en oeuvre une politique globale et cohérente, guidée par le respect de la qualité du milieu naturel. C'est l'objet des Comités de bassin (6 grands bassins en France) et des Agences de l'Eau.

L'eau est un vecteur extraordinaire de requalification urbaine. Les initiatives d'aménagement des berges des fleuves et des rivières au coeur des villes ont toujours recueilli l'adhésion des habitants.

La vie aquatique est un des indicateurs les plus pertinents de la qualité de l'eau et du lit des rivières. Les contrats d'agglomérations et les contrats de bassin animés par les Agences de l'Eau permettent un partenariat actif pour le retour de cette qualité. Les programmes de reconquête des fleuves (Loire, Dordogne, Garonne) par les poissons migrateurs sont le symbole le plus positif de cette stratégie.

L'eau est aussi un moyen de transport, qui peut largement contribuer à réduire les impacts environnementaux des transports de marchandises. Une péniche de 4 400 tonnes transporte autant de marchandises que 220 camions ! En France, le fluvial ne représente que 3 % du trafic marchandises, contre 19 % en Allemagne, et 54,8 % aux Pays-Bas.

La qualité de l'eau de nombreuses rivières ou nappes est fortement dégradée : industrie, agriculture et collectivités, chacun y a sa part de responsabilité. Les axes essentiels de progrès pour une gestion durable des ressources sont de plusieurs ordres :

- la prévention des pollutions par la fertilisation agricole raisonnée, par la limitation des effluents industriels et des rejets des déchets toxiques des ménages
- la limitation des gaspillages avec la réduction des fuites, grandes consommatrices d'eau (canalisations, mais aussi bâtiments communaux) qui peuvent atteindre 20 % des consommations
- le contrôle des eaux pluviales de ruissellement en zone urbanisée
- la maîtrise des risques d'inondations, avec l'application des réglementations sur les zones à risques, la restauration de fossés ou de haies, et des alternatives à l'imperméabilisation des sols : chaussées et parkings absorbants, bassins de stockage
- la diversification des techniques d'assainissement : lagunage, assainissement autonome ; techniques membranaires;
- l'amélioration des techniques d'irrigation ;
- l'application du principe pollueur-payeur à l'ensemble des utilisateurs ;
- l'association des différentes catégories de consommateurs à la démarche globale de la collectivité pour réduire les pollutions, les consommations et les coûts engendrés. Les campagnes d'information et les espaces de concertation (Commission consultative) peuvent, en particulier, porter sur les impacts (environnementaux et financiers) des rejets diffus de polluants et toxiques dans le réseau, et sur les marges d'économies domestiques (pose de compteurs, abonnement direct en habitat collectif, récupération des eaux de pluie pour les usages non alimentaires, par exemple).

La stabilisation chimique bloque simplement l'activité biologique, et donc l'évolution de la boue, par adjonction d'une quantité importante de chaux (10 à 50 % de la matière sèche, en général 30 %) élevant le pH au delà de 12.  
□ Erreur! Référence de lien hypertexte non valide. Quelles sont les principales sources de pollution des eaux ?

Les principales sources de pollution sont d'origine :

- **Urbaine** : elles sont liées aux dysfonctionnements de la collecte (mauvais branchements des particuliers, fuite et saturation des réseaux) et du traitement des eaux usées au niveau des stations d'épuration, du lessivage des surfaces imperméabilisées (parking, voiries) et des traitements phyto-sanitaires.

- **Rurale** : elles sont liées à l'érosion dans les champs cultivés, au lessivage des nitrates, phosphates et traitements phyto-sanitaires (produits utilisés pour lutter contre les maladies et parasites).

L'une des conséquences des pollutions ponctuelles (accidentelles) et diffuses (de fond) sur les cours d'eau est l'eutrophisation que l'on peut définir comme l'ensemble des processus

biologiques et chimiques provoquant un enrichissement excessif des eaux en éléments nutritifs. Ce phénomène se traduit alors notamment par la prolifération des végétaux induisant l'appauvrissement critique des eaux en oxygène nécessaire aux organismes vivants.

Erreur! Référence de lien hypertexte non valide. Comment mesurer la qualité de l'eau ?

Le suivi de la qualité des eaux est effectué par le biais de 3 types d'analyses :

### 1. Les analyses physico-chimiques de l'eau

Les paramètres observés sont nombreux (de 20 à 30) et leur analyse permet de cibler différents types de pollution (agricole, industrielle, eaux usées, routières...). Les principaux paramètres sont :

1. □ L'oxygène dissous (O<sub>2</sub>d)
2. □ La température (t°)
3. □ Le pH
4. □ La conductivité
5. □ Les matières en suspensions (MES)
6. □ La Demande Biologique en Oxygène en 5 jours (DBO<sub>5</sub>) et la Demande Chimique en Oxygène (DCO) L'azote Kjeldahl (NTK)
7. □ L'azote ammoniacal (NH<sub>4</sub>) Les nitrites (NO<sub>2</sub>)
8. □ Les nitrates (NO<sub>3</sub>) Les orthophosphates (PO<sub>4</sub>)
9. □ Les mesures des micro-organismes

### 2. Les analyses physico-chimiques des sédiments

On recherche les métaux lourds (le plomb, le zinc, le cadmium, le cuivre, le nickel, le chrome et l'arsenic) et les hydrocarbures piégés dans les sédiments qui peuvent ainsi enregistrer certains types de pollutions.

### 3. Les analyses biologiques

La démarche consiste à utiliser les organismes vivants présents dans les cours d'eau comme indicateurs de la qualité de l'eau. En effet, ces derniers, au cours de leur vie (reproduction, développement) peuvent être affectés par les pollutions. Les organismes les plus sensibles sont dits polluo-sensibles.

On détermine 3 types d'indices relatifs à des groupes d'organismes spécifiques : l'Indice Biologique Diatomée (IBD), l'Indice Biologique Global Normalisé l'IBGN, les peuplements piscicoles

### 3. Les analyses biologiques

La démarche consiste à utiliser les organismes vivants présents dans les cours d'eau comme indicateurs de la qualité de l'eau. En effet, ces derniers, au cours de leur vie (reproduction, développement) peuvent être affectés par les pollutions. Les organismes les plus sensibles sont dits polluo-sensibles.

On détermine 3 types d'indices relatifs à des groupes d'organismes spécifiques : l'Indice Biologique Diatomée (IBD), l'Indice Biologique Global Normalisé l'IBGN, les peuplements piscicoles.

Erreur! Référence de lien hypertexte non valide. **Comment évaluer la qualité de l'eau ?**

Les résultats des analyses d'eau sont comparés à une grille nationale d'évaluation de la qualité de l'eau, appelée le SEQ-Eau (Système d'Evaluation de la Qualité de l'Eau). Cet outil développé par le ministère chargé de l'environnement et par les agences de l'eau permet aux différents gestionnaires des cours d'eau de travailler de manière uniforme et de classer les rivières selon leur degré de pollution vis-à-vis des polluants et des usages possibles de l'eau.

Le SEQ-Eau regroupe les paramètres sous forme d'altérations.

Il existe également deux autres grilles :

□ Le **SEQ-Biologie** qui évalue la qualité biologique du cours d'eau (en cours d'évaluation)

□ Le **SEQ-Physique** qui évalue le degré d'artificialisation du cours d'eau (en cours d'élaboration).

Les eaux usées urbaines sont généralement soumises dans les stations d'épuration à :

- des prétraitements de :
  - dégrillage,
  - dessablage,
  - déshuilage ;
- éventuellement à un traitement primaire de :
  - décantation ;
- et à un traitement secondaire,
  - le plus souvent, biologique par :
    - boues activées,
    - lits bactériens,
    - bio disques,
    - lagunage,
  - comprenant une décantation ;
- enfin, parfois à un traitement tertiaire
  - biologique d'élimination de l'azote et du phosphore,
  - chimique de précipitation et de décantation du phosphore,
  - physico - chimique de désinfection.

Quand on parle d'épuration des eaux usées urbaines, il n'est pourtant pas question de les rendre pures, mais plutôt d'en retirer le plus de déchets dont on l'a chargée pour les évacuer. Ces définitions du sens commun de ces mots ont l'inconvénient de considérer de prime abord l'eau comme une " matière " et non pas comme un " milieu ".

Epurier les eaux usées des égouts publics, où sont déversées les eaux usées domestiques et les eaux usées industrielles pré - traitées conformément aux autorisations délivrées aux entreprises, c'est plutôt les purifier afin que leur incidence sur la qualité choisie pour l'eau, en tant que milieu naturel aquatique, soit la plus faible possible. L'objectif de l'épuration des rejets est défini par l'objectif de qualité que l'on choisit pour les cours d'eau. Ceux-ci diffèrent actuellement selon les usages de l'eau, définis le plus souvent par des directives européennes qui ont été traduites en droit belge et wallon.

Elles sont exprimées notamment par des valeurs de paramètres physico-chimiques que ne doivent pas dépasser l'eau du milieu considéré. On parle aussi de normes d'immission. Lorsqu'une autorisation de déversement est octroyée pour permettre un rejet, qu'il s'agisse d'un rejet de station d'épuration d'eaux usées résiduaires urbaines ou d'eaux usées industrielles, les valeurs paramétriques imposées au déversement dans le milieu sont appelées des normes d'émission.

Les causes de pollution des eaux naturelles sont de nature chimique et d'origine très variées:

- Les eaux usées des ménages privés: essentiellement des substances biodégradables (graisses, protéines, agents tensioactifs) et des produits chimiques ménagers (composés chlorés entre autres);
- Les eaux usées de l'industrie et du commerce : substances aisément et difficilement biodégradables, métaux lourds et composés carboniques,
- La production agricole: par exemple substances nutritives (nitrate, phosphate), etc. et pesticides
- Les polluants atmosphériques: par exemple oxyde d'azote et anhydride sulfureux;
- Les anciennes décharges: par exemple métaux lourds, hydrocarbures;
- L'utilisation de substances dangereuses pour l'eau;
- La navigation: déversements de pétrole; et
- les constructions hydrauliques.

Les eaux usées ménagères et industrielles sont traitées dans les stations d'épuration publiques et privées.

La base de la politique de protection des eaux est le principe de l'émission. Des taux d'émission unique selon l'état de la technique sont posés comme critères minima pour les rejets d'eaux usées. Cela garantit la meilleure protection de base possible des eaux contre les sources ponctuelles.

Pour pouvoir protéger les eaux contre les pollutions résultant de sources diffuses et contre les effets toxiques possibles des pollutions résiduelles après le traitement des eaux usées, on peut

~~appliquer aussi, à titre complémentaire, en cas de besoin, des taux d'immission adapté au besoin de protection.~~

Chaque **écosystème**, comme une partie de rivière par exemple, comprend un ensemble d'organismes vivants (plantes, animaux, ... ) d'espèces différentes qui s'influencent mutuellement et qui dépendent des caractéristiques du milieu. L'ensemble des organismes vivants s'appelle la **biocénose** (les habitants vivants) et le milieu particulier le **biotope** (l'habitat des êtres vivants).

Un écosystème peut être étudié et caractérisé par des mesures de grandeurs biologiques (par exemple : le nombre d'espèces d'un certain type, le nombre d'individus d'une espèce, l'état sanitaire d'une espèce,...), physiques (par exemple, la température de l'eau, la vitesse du courant,...) ou chimiques (par exemple, la concentration de l'eau en oxygène dissous, en nitrate, ...).

Examinons les *effets de la pollution par un rejet d'eaux usées domestiques dans une rivière par un égout*. L'eau usée déversée contient un mélange complexe de produits; parmi ceux-ci, une grande quantité qui sont les sous-produits de notre consommation, sont des matières organiques biodégradables.

Celles-ci vont être décomposées par des micro organismes notamment bactériens qui sont déjà présents dans l'eau et qui vont se servir de nos déchets pour se développer et se reproduire. Leur consommation de matières organiques va s'accompagner d'une respiration de l'oxygène dissous dans l'eau.

Cet oxygène est présent en très petite quantité, souvent grâce aux remous de l'eau à sa surface qui mélange de l'air à l'eau mais aussi grâce à la photosynthèse de végétaux qui sont immergés dans l'eau. L'oxygène ne se dissout dans l'eau qu'à raison de quelques millièmes de gramme (environ 10 au maximum) par litre d'eau ; s'il y en a plus, ils forment des bulles et s'échappent rapidement. On dit que l'eau est saturée en oxygène.

A l'endroit du rejet d'un égout, il y aura beaucoup de matières organiques à consommer et donc beaucoup de micro organismes qui vont respirer la faible quantité d'oxygène présente dans l'eau. La concentration de l'oxygène dissous va alors diminuer et les autres organismes présents vont s'en ressentir. Les poissons, comme les truites, exigeant beaucoup d'oxygène seront souvent les premiers à subir ce déficit. Ce phénomène s'appelle l'auto-épuration: l'écosystème rivière s'adapte lui-même aux matières organiques en excès.

Si l'oxygène est presque absent, il y a alors asphyxie de nombreuses espèces d'organismes animaux et végétaux et l'écosystème est profondément modifié. Il n'y a en général alors qu'un petit nombre d'espèces, souvent très abondantes en terme d'individus, qui tolèrent cette situation.

La biodégradation opérée par les micro organismes produit elle-même un déchet qui est rejeté sous forme de sels minéraux dissous dans l'eau. En général, même dans les eaux de ruisseau très propres, ces sels sont présents dans l'eau, mais en très faible quantité provenant par exemple de la décomposition des feuilles tombées dans l'eau. Ces sels, surtout les nitrates et les phosphates, associés aux minéraux provenant de la roche sur laquelle coule le ruisseau, vont permettre la croissance de végétaux tels que des algues et des mousses qui se développent dans le lit d'un cours d'eau et sur ses berges.

Si ces sels sont très abondants, les plantes vont se développer et se multiplier de façon exubérante. C'est ce qu'on appelle l'eutrophisation, du grec eu et trofein: bien nourrir.

Cette évolution provoque un nouveau besoin d'oxygène accru pour la respiration de tous ces êtres vivants. Même si la photosynthèse fournit le jour de l'oxygène jusqu'à saturation, la respiration peut asphyxier le milieu en une seule nuit, ce qui peut entraîner la mort des poissons et des invertébrés sensibles.

Ce problème peut prendre des proportions importantes et avoir des conséquences très graves là où il y a accumulation de ces sels nutritifs (nutriments) pour les végétaux. C'est le cas par exemple dans les lacs ou dans les rivières au cours très lent où les nutriments sont sans cesse recyclés par la croissance et la décomposition des plantes et des animaux.

L'arrêté du Gouvernement Wallon du 23 mars 1995 relatif au traitement des eaux urbaines résiduaires définit à l'article premier 9° l'eutrophisation comme " l'enrichissement de l'eau en éléments nutritifs, notamment des composés de l'azote et/ou du phosphore provoquant un développement accéléré des algues et des végétaux d'espèces supérieures qui entraîne une perturbation indésirable de l'équilibre des organismes présents dans l'eau et une dégradation de l'eau en question ".

Une autre conséquence du rejet d'eaux usées domestiques dans une rivière est la formation de dépôts que l'on appelle sédiments parce qu'ils se forment à la suite de la sédimentation de particules plus lourdes au fond de la rivière. Ces sédiments s'accumulent tout d'abord près de l'endroit du rejet mais ils peuvent aussi se déplacer en étant remis en suspension par les crues. S'ils sont constitués de matières organiques, ils sont colonisés rapidement par des micro-organismes dits anaérobies qui se développent sans oxygène et fermentent sur place. Les gaz produits se volatilisent dans l'air ambiant et à de très faibles teneurs peuvent provoquer des odeurs incommodantes.

### **La pollution**

La pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et (ou) perturbe l'écosystème aquatique. Elle peut concerner les eaux superficielles (rivières, plans d'eau) et/ou les eaux souterraines.

### **La pollution chimique**

Elle peut être chronique, accidentelle ou diffuse. Elle a des origines diverses dues à :

- l'insuffisance de certaines stations d'épuration
- l'absence de réseaux d'assainissement dans certaines zones
- le lessivage des sols, mais aussi des chaussées et des toits par les pluies
- le rejet d'effluents par les industries.

### **Les virus et bactéries pathogènes**

Les rejets provenant de l'intestin des animaux et de l'homme sont évacués dans le sol ou déversés dans les cours d'eau. Ils y subissent une épuration naturelle. Mais s'ils parviennent trop rapidement à une ressource en eau, ils peuvent provoquer une pollution microbiologique.

La désinfection systématique des eaux dans les pays industrialisés a pratiquement éliminé les incidences de la pollution microbiologique sur la santé. De nouvelles recherches sont en cours pour diminuer encore ces risques. C'est aussi le rôle des traitements appliqués à l'eau. Un état de vigilance de tous les instants.

### Les pollutions par négligence

Les **décharges sauvages** (huile de vidange, batteries...) et tout ce que l'on jette dans la nature sans vraiment y prêter attention, représentent une source de pollution sournoise qui fait parfois beaucoup de dégâts...

Et pourtant, la nature n'est pas une poubelle ou une déchetterie...

### Les pollutions accidentelles

Les origines sont multiples :

- **déversement** de produits polluants lors d'accidents de la circulation
- **dispersion** dans la nature de gaz ou liquides toxiques par les usines
- **panne** dans le fonctionnement de stations d'épuration des eaux usées
- **mauvais entreposage** de produits chimiques solubles
- **incendies**...