



## 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>

UNIVERSITE DE NANCY I  
LABORATOIRE DE PETROLOGIE

Ahmet Şevket ÇATAKLI

=====

ANALYSE DES ELEMENTS MAJEURS AUTRES QUE Na - Si  
"PAR LA SPECTROMETRIE X" ; DES ECHANTILLONS  
PROVENANT DE MAURITANIE  
ET  
LEURS INTERPRETATIONS GEOCHIMIQUES

=====

"En vue d'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies en Géochimie"

Prof. G.ROCCI

Juin 1975

TABLE DES MATIERES

|                                             | page |
|---------------------------------------------|------|
| A-PRESENTATION GEOLOGIQUE ET PROVENANCE     |      |
| DES ECHANTILLONS A ANALYSER .....           | I    |
| B-ANALYSE DES ELEMENTS MAJEURS PAR EX       |      |
| AUTRES QUE Na - Si .....                    | 5    |
| PARTIE THEORIQUE.....                       | 5bis |
| BI-Généralité sur RX .....                  | 6    |
| BI-I-Nature et propriété des RX.....        | 7    |
| BI-2-Production et émission des RX.....     | 8    |
| a)Atomes de Bohr .....                      | 8    |
| b)Emission de RX.....                       | 9    |
| c)Sources de RX.....                        | I5   |
| BI-3-Intéraction de RX avec la matière..... | I6   |
| a)Absorption de RX.....                     | I6   |
| b)Diffusion de RX par un électron.....      | 22   |
| 1°-Diffusion de Thompson.....               | 22   |
| 2°-Diffusion de Compton.....                | 22   |
| c)Diffusion par un atome                    |      |
| "effet photoélectrique".....                | 23   |
| d)Diffraction des RX.....                   | 23   |
| BI-4-Séparation des différentes radiations: | 26   |
| a)Les cristaux analyseurs.....              | 26   |
| b)Les filtres.....                          | 26   |
| c)Séparation par discrimination             |      |
| d'énergie .....                             | 27   |

|                                                        |       |
|--------------------------------------------------------|-------|
|                                                        | pages |
| BI-5-Compteurs et enregistrement de RX.....;           | 28    |
| a)Compteur à scintillation.....;                       | 28    |
| b)Compteur à flux gazeux.....;                         | 31    |
| c)Enregistrement.....;                                 | 33    |
| BII-Généralités sur FX et principe de l'analyse parFX: | 34    |
| BII-I-Généralité.....;                                 | 35    |
| BII-2-Principe.....;                                   | 37    |
| BII-3-Différents types de spectromètres X .....        | 37    |
| a)Appareils manuels .....                              | 37    |
| b)Appareils séquentiels automatiques .....             | 39    |
| BII-4-Relation entre l'intensité et la concentration   | 39    |
| PARTIE PRATIQUE.....;                                  | 45    |
| BIII-Opération expérimentale.Analyse par FX réalisée   |       |
| dans le laboratoire de Petrologie à NANCY.....;        | 46    |
| BIII-I-Introduction.....;                              | 47    |
| BIII-2-Préparation des échantillons à analyser...;     | 53    |
| a)Broyage .....                                        | 53    |
| b)Porphyrisation .....                                 | 54    |
| c)Calcination .....                                    | 54    |
| 1°-Elimination de l'eau d'absorption...;               | 54    |
| 2°-Perte au feu .....                                  | 54    |
| 3°-Appareils utilisés pour le "PF".....;               | 58    |
| 4°-Resultats expérimentales des PF.....;               | 59    |
| d)Perles.....;                                         | 61    |
| e)Résines.....;                                        | 62    |

|                                                     | pages |
|-----------------------------------------------------|-------|
| BIIII-3-Description du spectrométrie X et           |       |
| l'accessoires utilisés pendant l'analyse.....:      | 64    |
| a)Spectromètre séquentiel SRS à RX.....:            | 66    |
| b)Générateur Kristalloflex 4 Siemens.....:          | 72    |
| c)Commande par tabulateur .....                     | 72    |
| BIIII-4-Choix des différents paramètres             |       |
| Conditions opératoires et réglage.....:             | 81    |
| a)Choix des paramètres pour réaliser l'analyse      | 81    |
| 1°-Coix des tubes .....                             | 81    |
| 2°-Choix de cristal analyseur .....                 | 81    |
| 3°-Choix des compteurs.....:                        | 82    |
| 4°-Choixde collimateurs .....                       | 82    |
| 5°-Choix des raies de dosages .....                 | 82    |
| b)Conditions opératoires .....                      | 83    |
| c)Règlage de l'appareil.....:                       | 84    |
| 1°-Programmation .....                              | 84    |
| 2°-Règlage de la largeur de la fenêtre              |       |
| de discrimination d'énergie.....:                   | 85    |
| BIIII-5-Dosage des elements et dépouillement        |       |
| des mesures.....:                                   | 86    |
| a)Processus de dosage .....                         | 86    |
| b)Dépouillement des mesures.....:                   | 89    |
| BIIII-6-Représentation des resultats expérimentales |       |
| complètes de 7 elements à part Na-Si de             |       |
| 50 échantillons analysés par FX .....               | 98    |
| BIIII-7-Conclusion .....                            | 101   |

## C-INTERPRETATIONS GEOCHIMIQUES DES DONNEES CHIMIQUES

pages

|                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------|-----|
| OBTENUES PAR L'ANALYSE.....                               | I03 |
| CI-Sur les données obtenues du socle archéen              |     |
| "le granite du Ghallaman.....                             | I04 |
| CI-1-Expression graphique de " La Roche de.".....         | I05 |
| CI-2-Calcul de Norme .....                                | I09 |
| CII-Sur les données obtenues du granite de l'Est          |     |
| d'Alous Tmar .....                                        | III |
| CII-1-Expression graphique de " La Roche de. ".....       | II2 |
| CII-2-Calcul de Norme .....                               | II3 |
| CIII-Sur les données obtenues de la série d'Alous Tmar... | II5 |
| CIV-Sur les données obtenues de la région de              |     |
| Tsalabia el Khadra .....                                  | II7 |
| CIV-1-Problème de spilite-kératophyre .....               | II8 |
| a)Diagramme de " La Roche de. " Al,Na,K .....             | II8 |
| b)Paramètres et diagrammes de Niggli.....                 | I23 |
| CIV-2-Diagramme de Jung "Calco-alcalinité".....           | I24 |
| CIV-3-Indice de Rittmann.....                             | I27 |
| CIV-4-Problème de titane .....                            | I29 |
| La liste des figures .....                                | I3I |
| La liste des tableaux .....                               | -   |
| BIBLIOGRAPHIE .....                                       | I32 |

-----

A-PRÈS CITATION GÉOLOGIQUE ET PROVENANCE

DES ÉCHANTILLONS À ANALYSE R.....

Les échantillons proviennent de la Dorsale Requibat, fragment du craton occidental africain constitué par un ensemble de formations métamorphiques et granitisées d'âge PC "précambrien". Le craton ouest africain comprend:

- Un socle métamorphique et granitique antécambrien.
- Une couverture infracambrienne.

Tous les échantillons proviennent du socle antécambrien. Ce socle comprend :

- Un vieux socle archéen (2600 MA), représenté par des séries gneissiques méso-catazonale et par des séries granitiques.

- Une série éburnéenne (Protérozoïque) inf.) "1800-2000 MA" peu ou pas métamorphique, plissée, discordante sur ce socle développée dans la partie orientale du Dorsale.

La carte de Tin Bessais I/200.000 de position 23 à 24 N et 8 à 9 W présente les différents ensembles du socle archéen et série éburnéenne.

**A-SOCLE ARCHEEN :** On a deux ensembles dans le socle archéen:

1- Granite du Ghallaman ( $\gamma_{GH}$ ) : "éch. IAS 265". situé à l'ouest de l'Oudian et il est de type intrusif dans la série Oudian Kharroub.

2- Série Oudian Kharroub (OK) : "éch. IAS I36a-I36b"; définie par G. ROCCI (1957). Il affleure dans la partie occidentale de la carte Tin Bessais de direction de I50-I60 N. Cette série est caractérisée par une couleur noire (gneiss micacés à biotite). Le métamorphisme est régionale. A l'ouest, le métamorphisme est plus intense. On y rencontre des gneiss à muscovite+grenat et à 2 micas.



## B- SÉRIE EDURNAMINE :

1- Série du Maret : "éch. MAS 151 a-b (leptynite) et MAS 152 (schiste). Cette série est métamorphique. Le faciès dominant est le x suivant :

° gneiss ° leptynite ° amphibolite ° schiste. La direction est de 140-160°N. Le pendage est de 60 à 90°. La continuité des bancs est interrompue par des grands décrochements NS dextres.

2- Série Tsalebia el Khadra : a été définie par G. ROCCI en 1955, en mentionnant l'existence d'une série épi-métamorphique formée des tuffs et des ardoises. Elle affleure juste en L=23°10', L=1°35'. Cette série constitue une étroite bande NW-SE décalée en bloc par les décrochements dextres. La série affleure sur une largeur de 12 km. Le cœur est constitué par des quartzites et brèches siliceuses encadrées à l'est et à l'ouest par des métasédiments (ardoises, calcschistes), métatuffs et des roches vertes épi-métamorphiques. Le contact est difficile à voir avec le socle. On note surtout, la grande discontinuité du métamorphisme entre les gneiss et leptynites catazonaux du socle et les formations épi-métamorphiques de la série. Elle comporte essentiellement des roches vertes, des tuffs (ardoisiques) et des quartziques bréchiques.

Légend :                   rv = roches vertes étant marines et conglomératiques  
                              s = métatuff étant détritique et grossière vers l'ouest et devenant très fin.

q = quartzite bréchique.

Le métamorphisme est très léger, il augmente vers le nord. Les roches vertes sont transformées en amphibolites à l'N et les tuffs en gneiss.

Les méta-roches vertes associées aux tuffs se trouvent en bancs concordants au sein de formations détritiques. Cette série est plissée, érodée, métamorphisée avant le dépôt des formations sédimentaires de la base synclise de Taoudeni ( 1000 MA). Elle a en générale un caractère volcano-sédimentaire. Les formations volcaniques (de basiques à acides) semblent s'apparenter à une association du type "spillite - kératophyre". (Voir le chapitre C -interprétation.). Cette série est recoupée sur sa bordure occidentale par un granite de Karot ( $\gamma_K$ ) "éch. MAS 140-179-180 " défini par G. ROSSI (1953-1957). Ce granite est riche en ferromagnésions. Par exemple : éch. MAS 140 est un granite à biotite. Il a une composition variable allant de granite aux granodiorite.

Macroscopiquement: ils ont une couleur grise; les plagioclases sont verdâtres; il a une forme granulitique du quartz.

Microscopiquement: Le quartz est en agrégats arrondis, les plagioclases sont subautomorphes et zonées; la biotite est plus ou moins chloritisée et existence de hornblende.

3- Série d'Alous Tnar : C'est une série volcanique acide plutôt volcanique détritique. Le faciès est le suivant:

- Rhyolite rubané : éch. MAS 217
- Rhyolite bréchique : éch. MAS 163-165
- Rhyolite noire : éch. MAS 169-177-178
- Brèche rhyolitique : éch. MAS 171
- Rhyolite porphyrique : éch. MAS 222
- Tuff rubané : éch. MAS 220a-b
- Rhyolite rose.

Cet ensemble est recoupé par un granite calco-alcalin rouge grenue ( $\gamma_{BT}$ ) affleurant en batholite.

4- Série granitique de l'est de "ALOUS EMAR" : (YA)-(YA).

Granite A (YA) est appelé comme "le granite d'Alous Emar" par G.ROCCI en 1957.IL coupe toute la partie orientale du socle.IL est sous forme de batholite et présenté un faciès porphyrique avec des grands cristaux de microcline à aurole de plagioclase .Le quartz est blouté.La pâte à grain fin est rose,violacé,tacheté .Ech. MAS 213-215. A l'ouest ,présente un faciès de bordure microgranu.Ech; MAS 211. YA Rhyolite de la série d'Alous Emar est séparé de ce microgranite par une zone mylonitique.

CATALI Ahmet Sevket.

B- ANALYSE DES ELEMENTS MAJEURS PAR EX

AUTRES QUE Fe - Si .....

B- PARTIE THEORIQUE.....

BI- Généralité sur RX.....

## BI-I- Nature et Propriété des RX-----

Les RX sont des rayonnements électromagnétiques transversales dont la longueur d'onde est plus courte que celle de la lumière. La longueur d'onde des RX se situe entre 0.1 et 200 Å°.

Au dessus de 200 Å° il y a le rayonnement ultra-violet et au-dessous de 0.1 Å° il ya le rayonnement gamma. Donc le RX se situe entre ces deux rayonnements de façon continue.

Les RX ont été considérés comme des ondes ayant une longueur d'onde  $\lambda$  ou bien comme un faisceau des photons ayant une énergie  $E$  et se propageant à la vitesse de la lumière. Donc l'énergie de propagation des photons est la suivante:

$$E = h\nu \dots\dots\dots(B1).$$

$\nu$  = la fréquence

$h$  = la constante de Planck :  $6.62 \cdot 10^{-34}$  joule/sec.

$c$  = la vitesse de la lumière :  $3 \cdot 10^8$  m/sec.

$\nu$  est égale à  $\frac{c}{\lambda}$  donc :

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \dots\dots\dots(B2).$$

Roentgen en 1895 constate qu'un tube à gaz de Crooks même recouvert de carton noir excité la fluorescence du platincyane de Ba. Le rayonnement qui traverse le carton noir est appelé "le RX". Les RX ont des propriétés des rayonnements électromagnétiques comme la lumière. En 1912 Laue prévoit la diffraction des RX par les cristaux. Friedrich et Knipping réalise l'expérience et ensuite Bragg (père et fils) utilisent cette propriété pour déterminer la structure de certains cristaux.

Les propriétés de RX sont les suivantes:

- Les RX sont invisibles;
- La longueur d'onde est voisine de  $1 \text{ \AA}$ ;
- La longueur d'onde la plus utilisée par les cristallographes est entre  $0.1 - 4 \text{ \AA}$ . Les plus courtes sont utilisées par les médecins. Elles sont entre :
  - °  $0.1 - 0.2 \text{ \AA}$  -----:Médecin
  - °  $0.70 - 2 \text{ \AA}$  -----:Diffraction
  - °  $2 - 4 \text{ \AA}$  -----:RX.
- Propagation rectiligne dans le vide à la vitesse de la lumière.
- Impression de la plaque photographique.
- Mêmes propriétés que la lumière. Par ex. : Réflexion, Diffraction, Polarisation.
- Absorbé par les matières et même par les corps humains.
- Ionisation des gaz qui devient conducteur.

## II-2-1 Introduction et mission des RX

### a) Atome de BOHR

Un atome de nombre atomique  $Z$  est constitué d'un noyau de charge  $+Ze$  entouré de  $Z$  électrons de charge  $-e$ . Les électrons se gravitent sur des orbites fermées appelées "couches électroniques". Ces couches électroniques sont désignées par les lettres K; L; M; N ... etc. Par exemple: pour  $n=1$  .....couche K  
 $n=2$  ..... " L  
 ..... etc.

Chaque couche a une énergie  $W_n$  bien définie. La couche la plus proche au noyau est la couche K.



Chacun de ces couches électroniques se subdivise en plusieurs sous niveaux. Ce sont les suivantes:

- ° La couche K a un niveau .....: K
- ° La couche L a 3 niveaux .....: L<sub>I</sub>, L<sub>II</sub>, L<sub>III</sub> ..
- ° La couche M a 5 niveaux .....: M<sub>I</sub>, M<sub>II</sub>, M<sub>III</sub>, M<sub>IV</sub>, M<sub>V</sub> ..
- ° La couche N a 7 niveaux .....: N<sub>I</sub>, N<sub>II</sub>, N<sub>III</sub>, N<sub>IV</sub>, N<sub>V</sub>, N<sub>VI</sub>, N<sub>VII</sub> ..
- ° .....etc.....etc.....etc...

Le nombre total des électrons d'une couche doit être égale à  $2n^2$ .  
C'est à dire, les couches K, L, M, N auront respectivement 2, 8, 18, 32 ..  
électrons. Il y aura une émission de rayonnement lorsque l'électron  
en gravitation passe d'une orbite d'énergie  $J$  à une autre énergie  
 $I$   
 $W$ . Ce passage d'électrons se fait avec absorption ou émission d'une  
2  
radiation de fréquence telle que :

$$h \nu_{I2} = W_2 - W_I \dots\dots\dots (B3).$$

Si l'électron saute sur une orbite plus externe (si  $E_2 > E_I$ ); il y a  
l'absorption c'est un état instable.

Si l'électron saute sur une orbite plus interne (si  $E_2 < E_I$ ); il y a  
l'émission d'un photon.

#### b) Mission de RX - Spectre de raies

On a vu que lorsque l'atome est dans un état stable  
l'électron n'émet aucun rayonnement au cours de sa révolution sur son  
orbite. Par contre une variation de l'énergie d'un électron donne lieu  
à l'émission ou l'absorption d'un rayonnement dit RX. Alors pour qu'il  
y ait une émission, il faut donc créer un déséquilibre au sein de l'atome

Si on fournit à l'atome une énergie suffisante pour arracher un électron sur une de ces couches électroniques, l'atome devient ionisé et un électron des couches extérieures viendra le remplacer. A chaque transition d'un électron d'une couche à une autre correspond l'émission d'une raie dont la fréquence représente la différence des énergies  $W_1$  et  $W_2$  des trajectoires entre les quelles l'électron peut sauter.

$$\nu = \frac{W_1 - W_2}{h} \dots\dots\dots (B4).$$

Si la couche K est ionisée il y aura une émission d'un photon dont l'énergie sera différence entre les énergies des niveaux K et L donc : (il y aura un saut d'électron de la couche L -----> K).

$$h\nu = W_L - W_K \dots\dots\dots (B5).$$

On dit qu'il y a une émission de la raie  $K\alpha$  .(Fig.I).

Si électron vient de la couche M -----> K ,il y aura une émission de la raie  $K\beta$  , donc :

$$h\nu_{MK} = E_M - E_K ; \dots\dots\dots (D6).$$

Le schéma de Kossel (fig.I) montre d'ailleurs que toutes les transition électroniques qui ont pour le niveau d'arrivée , le niveau K constitue la série K. Par exemple :

- ° L-----> K .....: Raie  $K\alpha$
- ° M -----> K .....: Raie  $K\beta$
- ° N -----> K .....: Raie  $K\gamma$ .

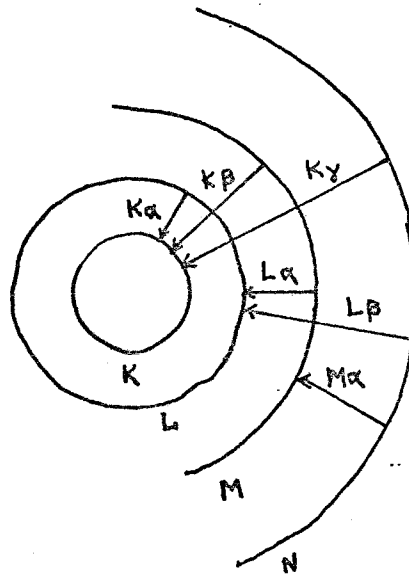
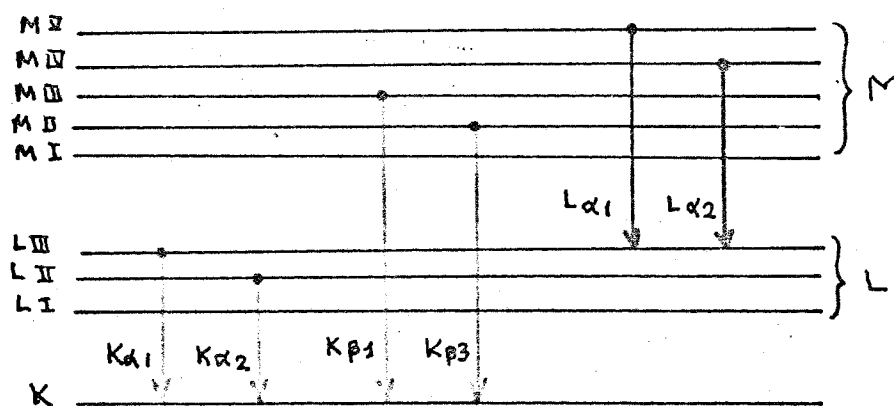


Schéma de Kossel.

FIG. I- Schéma de Kossel



changements Possibles de niveau

FIG. 2- Changement possible des niveaux.

de même pour le niveau d'arrivée L :

$$^{\circ} M \longrightarrow L \dots\dots\dots: \text{Raie } L\alpha$$

$$^{\circ} N \longrightarrow L \dots\dots\dots: \text{Raie } L\beta.$$

L'ensemble de ces raies  $K\alpha, K\beta, L\alpha, L\beta, \dots\dots\dots$  etc. appelés raies caractéristiques de l'élément considéré constitue l'émission K de cet élément.

Seulement il n'y a pas de couches K, L, M, N.....mais il y a plusieurs sous-couches. Et toutes les transitions ne sont pas possibles, les seules principales transitions possibles sont représentées dans la figure 2.

(fig.2). Donc en générale, un spectre d'émission K est constitué principalement des raies  $K\alpha_1, - K\alpha_2, - K\beta_1, - K\beta_2$ , dans la série K et  $L\alpha_1, - L\alpha_2, - L\beta_1, - L\beta_2$  dans la série L. Il est difficile de séparer les raies  $K\alpha_1, - K\alpha_2$  et  $K\beta_1, - K\beta_2$  donc on parle des raies  $K\alpha$  et  $K\beta$ . Pour un élément, la raie  $K\beta$  a une longueur d'onde plus courte que la raie  $K\alpha$ .

Par exemple pour le Na (Sodium). :  $Z = 11$

$$^{\circ} K\alpha = 11.909 \text{ \AA} \quad K\beta = 11.617 \text{ \AA}.$$

Pour Ca (Calcium). :  $Z = 20$

$$^{\circ} K\alpha_1 = 3.359 \text{ \AA} \quad K\alpha_2 = 3.362 \text{ \AA} \quad K\beta = 3.089 \text{ \AA};.$$

Ceci veut dire que :

$$\frac{E}{M} - \frac{E}{K} > \frac{E}{L} - \frac{E}{K} \dots\dots\dots (E7).$$

$$\text{Car ; } \frac{E}{M} - \frac{E}{K} = h\nu_{MK} = \frac{hc}{\lambda_{K\beta}} \dots\dots\dots (E8).$$

$$\frac{E_L - E_K}{h} = \nu_{LK} = \frac{hc}{\lambda_{K\alpha}} \dots\dots\dots (B9).$$

$$\frac{hc}{\lambda_{K\beta}} > \frac{hc}{\lambda_{K\alpha}} \quad \text{=====} \quad \lambda_{K\alpha} > \lambda_{K\beta} \quad \dots\dots\dots (B10).$$

Les deux raies les plus intenses qui sont  $K\alpha_1$  et  $K\alpha_2$  forment un doublet resserré  $K\alpha_1 - K\alpha_2$ . La raie  $K\alpha_1$  est deux fois plus intense que  $K\alpha_2$ . On adopte pour la longueur d'onde de  $K\alpha$  :

$$\lambda_{K\alpha} = \frac{2\lambda_{K\alpha_1} + \lambda_{K\alpha_2}}{3} \quad \dots\dots\dots (B11).$$

La troisième raie forte de la série est appelée  $K\beta$ . Elle a une longueur d'onde plus courte : 10 % et une intensité de l'ordre de 1/7  $K\alpha$ . (Fig. 3). Dans ce figure 3 on observe les spectres de raies  $K\alpha K\beta$  de Mo (Molibdène).

|               |                         |          |             |
|---------------|-------------------------|----------|-------------|
| Pour Mo ..... | $\lambda_{K\alpha_1}$ : | 0.709 Å° |             |
|               | $\lambda_{K\alpha_2}$ : | 0.713 Å° | .....(B12). |
|               | $\lambda_{K\beta}$ :    | 0.633 Å° |             |

$$\lambda_{K\alpha} = \frac{1.418 + 0.709}{3} = \frac{2.127}{3} = 0.709 \text{ Å°} \quad \dots\dots (B13)$$

$$10 \% \text{ de } \lambda_{K\alpha} = 0.07 \text{ Å°} \quad (\text{Fig.3}).$$

Pour une raie donnée , la fréquence dépend du numéro atomique  $Z$  de l'élément .(Loi de Moseley). La loi de Moseley est la suivante :

$$\sqrt{\nu} = c ( Z - \sigma ) \quad \dots\dots\dots (B13).$$

$c$  et  $\gamma$  sont des constantes. On voit que pour les éléments légers ( $Z$  faible) les fréquences sont plus petites donc la longueur d'onde plus grandes, ceci correspond à une énergie plus faible. Les électrons venant de la cathode dans un tube à RX (voir plus loin) bombardent les atomes de l'anode en les ionisant par arrachement des électrons des couches internes. Et par la suite de la transition des électrons d'une couche sup. vers une couche inf. Donc il y aura une émission de K.

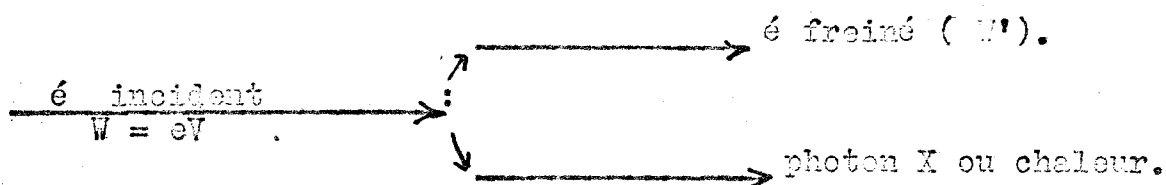
Pour que un électron arrache un électron "p r choc" de la couche K il faut que son énergie  $W$  soit supérieur à l'énergie de la liaison  $W_K$  de l'électron de la couche K.

K

$$W > W_K \quad \text{or} \quad W = eV \quad \text{donc} \quad eV > W_K \quad \dots\dots\dots (BI4).$$

Les électrons tombant sur l'anode avec une énergie  $W = eV$  sont freinés et leur énergies deviennent  $W' \leq W$ . L'énergie perdue se transforme en chaleur pour la plus grande part (99 %) ou en rayonnement K continue d'énergie  $h\nu$  (I'). Ce rayonnement K continue appelé "rayonnement de freinage ou Bremsstrahlung".

En résumé pour le spectre de rayonnement K continue:



Si la tension des électrons incidents a une certaine valeur, les spectres de raies caractéristiques de l'élément apparaissent. Donc chaque raie apparaît pour une certaine tension correspondant à la longueur d'onde  $\lambda_{\min.}$  au-dessus de la quelle il ne peut y avoir émission de cette série.

On a dit que :

$$eV \geq W_K$$

$$eV \geq h$$

$$eV \geq \frac{hc}{\lambda} \dots\dots\dots(BI5).$$

$$\lambda \geq \frac{hc}{eV}$$

Donc pour une certaine tension les raies apparaissent si .....

$$\lambda_{\min.} = \frac{hc}{eV} \dots\dots\dots(BI6).$$

avec : °  $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$  joule/sec.  
 °  $c = 3 \cdot 10^8$  m/sec.  
 °  $e = 1.6 \cdot 10^{-19}$  coulomb.  
 °  $1A^\circ = 10^{-10}$  m.

Donc (BI6) devient :

$$\lambda_{\min.} = \frac{12400}{V(\text{volt})} \text{ en } A^\circ. \dots\dots\dots(BI7).$$

$\lambda_{\min.}$  est bien inversement proportionnelle à V. On augmente V pour avoir une raie caractéristique de l'élément cible (anodicathode) à partir de  $\lambda_{\min.}$  (Fig.4). Dans cette figure, on observe bien le spectre continu "quand V faible" et le spectre continu+la raie caractéristique "quand V forte". Le fond continu comprend toutes les longueurs d'onde supérieures à la longueur d'onde  $\lambda_{\min.}$  correspondant aux électrons incidents ayant été complètement arrêtés. Si V est supérieur, il y a peu d'électrons incidents ayant une énergie cinétique suffisante au moment de la collision pour provoquer -

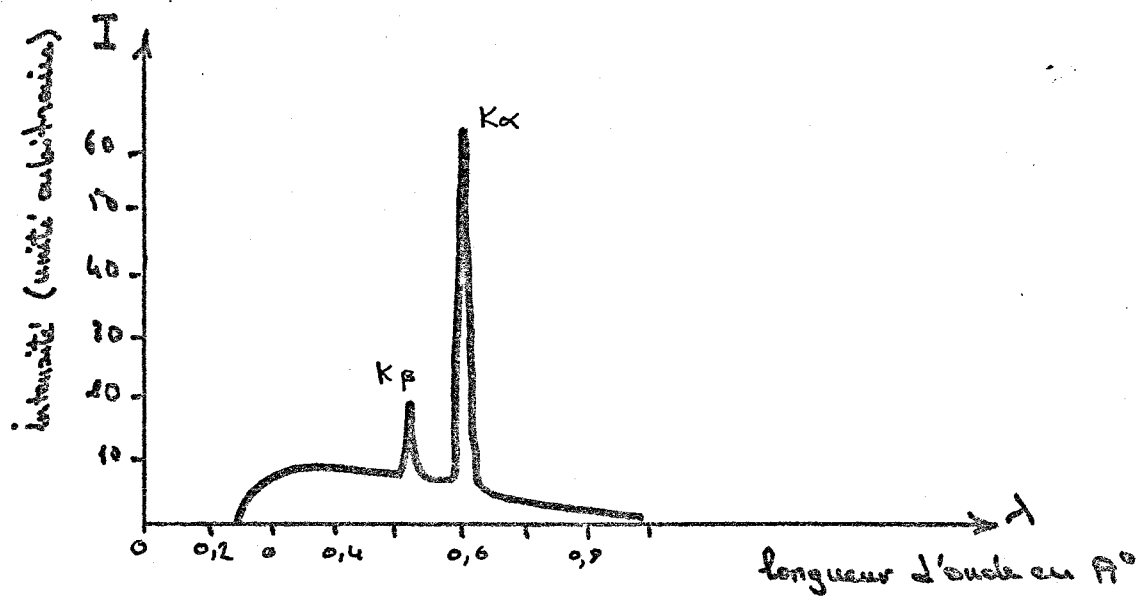


FIG.3

spectre obtenue avec  $V_K = 35$  kV sur molybdène.

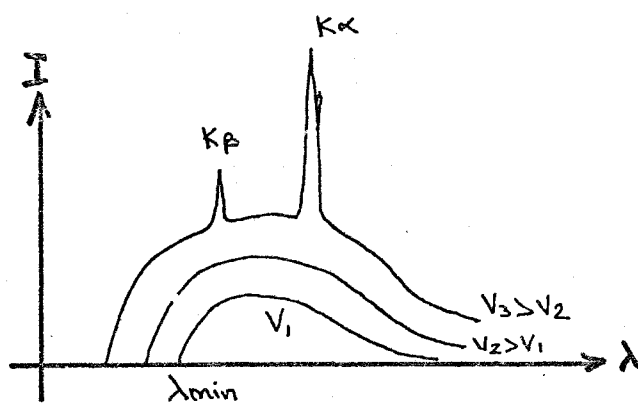


FIG.4



l'arrachement des électrons de la couche K et l'intensité des raies caractéristiques de la série K est faible. On a intérêt à avoir  $V = 3 \text{ à } 4 \text{ fois } V_K$ . Lorsque l'ionisation d'un élément obtenue par un bombardement d'électrons. On dit que le spectre K est d'émission direct ou primaire (RK). Lorsque l'ionisation est obtenue par RK, on dit que le spectre K est d'émission de fluorescence (FK) ou secondaire (Voir le chapitre BII).

La condition nécessaire pour qu'une raie soit excitée est que les électrons incidents aient une énergie suffisante pour arracher un électron de la couche vers la quelle se fait la transition. ( $eV \geq W_K$ ).

### c) Sources de RK

Elle est constituée par un tube à RK soit scellé soit démontable, fonctionnant sous vide poussée. Tube à RK est constitué d'une anthicathode et d'une cathode. L'anthicathode bombardée par les électrons émis par la cathode étant un filament en W et accélérée par une forte tension. L'énergie de ces électrons se transforme d'une part en rayonnement (spectre continu + spectre caractéristique dépendant du métal de l'anthicathode) et d'autre part en chaleur. Cette chaleur a été éliminée en refroidissant le tube au moyen de la circulation de l'eau.

#### **-Tube de Crooks :**

L'anthicathode de ce tube a été constituée par un métal lourd en raison de l'énergie globale du fond continu étant proportionnel à  $ZV^2$ . Les plus utilisés sont : Cu - Mo - Cr - W.

La fenêtre de sortie de RK doit être la plus perméable aux RK.

Par exemple : Be - Al (Les éléments légers étant moins absorbants).

Le rendement de tube X est très faible, 1 % de l'énergie est transformée en RX. (Fig. 5-Tube de Crookes).

-Tube de Philips :

L'anticathode est pourvu d'une circulation de l'eau (Fig. 6-Tube de Philips).

-Tube de Coolidge :

Les électrons nécessaires pour exciter sont produits par la spirale métallique, (filament de W) constituant la cathode, chauffée électriquement. Les intensités de l'émission d'électrons produits, c'est à dire le nombre d'électrons dans l'unité de temps est fonction de la température atteinte par le filament et le circuit de chauffage est séparé du circuit fournissant le potentiel d'accélération. Le choc des électrons accélérés avec l'anticathode cause l'émission d'un spectre continu ayant des raies caractéristiques de longueur d'onde indépendante du matériel d'anticathode et d'un spectre discontinu (raies caractéristiques des éléments anodiques.) avec des longueurs d'onde déterminées par anticathode. (Fig. 13).

Remarque : Tous les tubes ont des constances de fonctionnement, il ne faut jamais dépasser la tension conseillée. Faut utiliser le tube avec une tension 10 % inférieure à la tension conseillée.

BI-3-Interaction de RX avec la matière-----

a) Absorption de RX

Les RX traversant les substances opaques subissent une certaine absorption et l'énergie qu'ils perdent se dissipe par la diffusion et par l'ionisation dans la matière. Cette ionisation est la manifestation de l'absorption de RX. Considérons -par exemple-

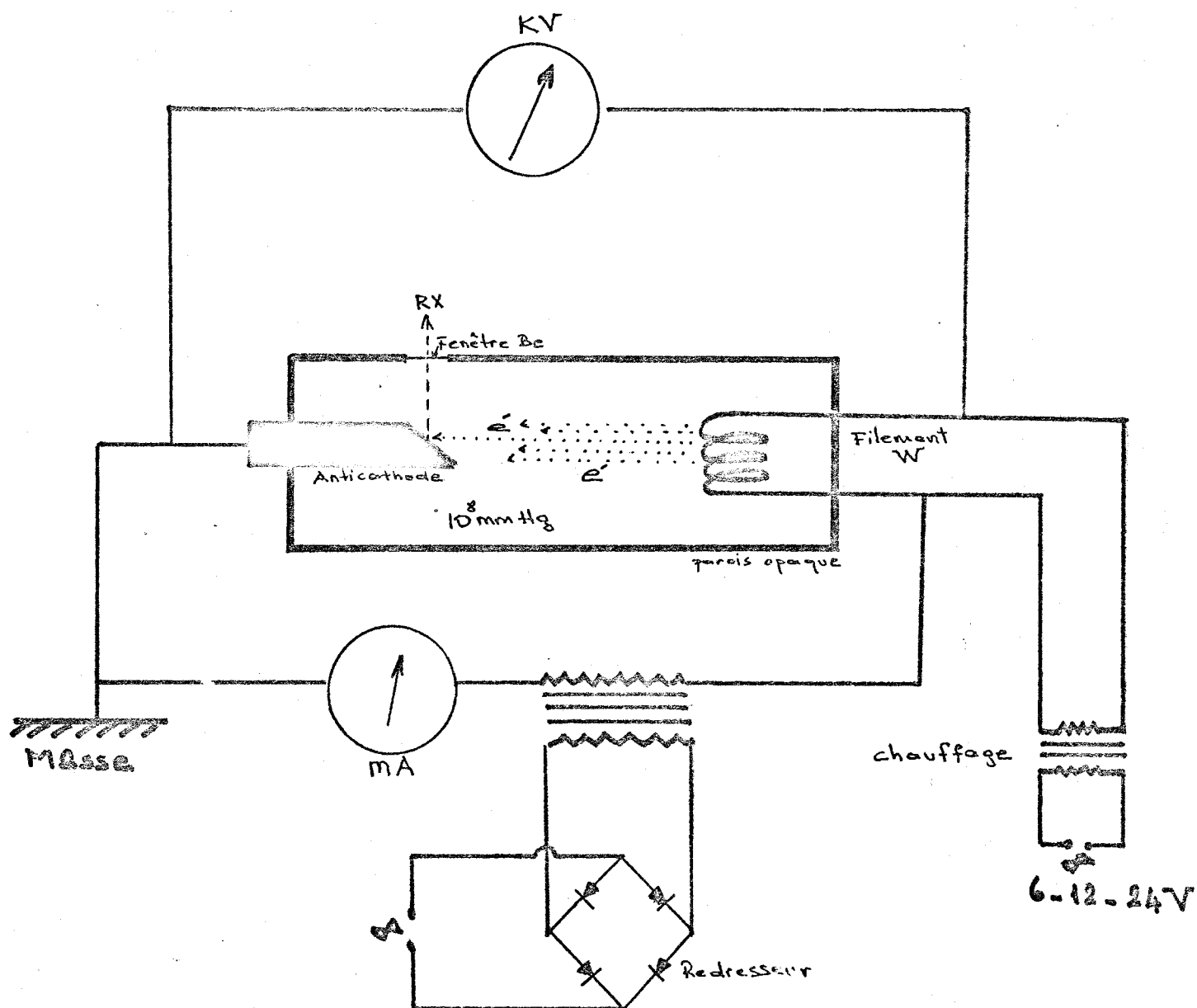


FIG.5

Tube de CROOKS à RX  
vide poussé à  $10^{-8}$  mm Hg.

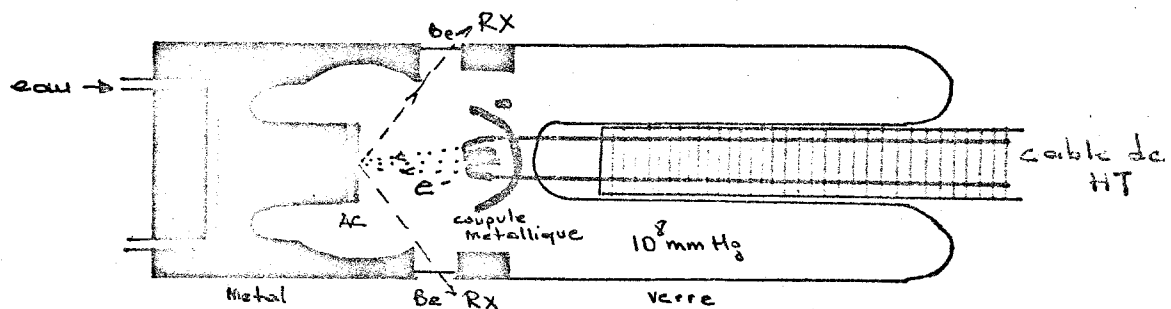
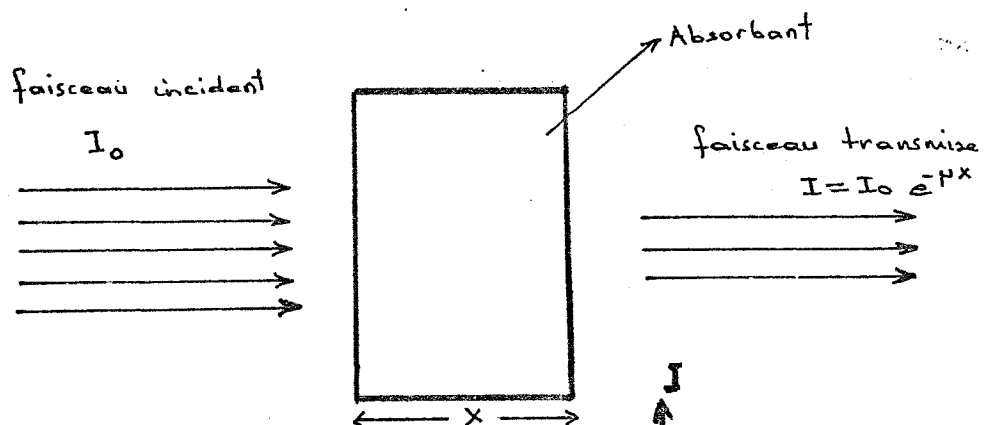


FIG.6

### Tube de Philips à RX



### Absorption de RX.

FIG.7

un faisceau monochromatique d'intensité initiale  $I_0$  traversant une matière absorbante et  $I$  son intensité transmise. (Fig. 7).

Donc :

$$I = I_0 e^{-\mu x} \dots\dots\dots (B18).$$

$\mu$  = coefficient de l'absorption linéaire.

$x$  = l'épaisseur de matière absorbante.

Par unité de masse.....:

$$I = I_0 e^{-\mu' m} \dots\dots\dots (B19).$$

$m$  = masse absorbante par  $cm^2$ .

$\mu'$  = coefficient d'absorption massique.

Si  $\rho$  est masse volumique ; donc :

$$\mu = \mu' \rho \dots\dots\dots: I = I_0 e^{-\mu' \rho x} \dots\dots\dots (B20).$$

Le phénomène d'absorption ne dépend pas de l'état physique de l'absorbant mais seulement du nombre d'atomes et de leur nature pour une longueur d'onde fixée. Le calcul de coefficient d'absorption massique pour un mélange est comme le suivant :

|                                                                                                                                                                        |   |                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\begin{array}{ccc} X & \% & \mu \\ I & & I \mu_I \\ X & \% & \mu \\ 2 & & 2 \mu_2 \\ X & \% & \mu \\ 3 & & 3 \mu_3 \\ & & \dots\dots\text{etc}\dots\dots \end{array}$ | : | $\mu_m = \frac{X_1 \mu_1 + X_2 \mu_2 + X_3 \mu_3 + \dots}{100}$ $\mu = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \mu_i}{100}$ |
|                                                                                                                                                                        |   | $\dots\dots\dots (B21).$                                                                                   |

Exemple : AIR ---:

$$75.5 \% H \quad \rho'_H = 8.5 \text{ cm}^2 / \text{g.}$$

$$23.2 \% O \quad \rho'_O = 12.7 \text{ " "}$$

$$1.3 \% Ar \quad \rho'_{Ar} = 113 \text{ " "}$$

$$\rho = 0.0013 \text{ à } 20^\circ\text{C}$$

$$X = 10 \text{ cm d'air.}$$

$$V_{\text{air}} = \rho V'_{\text{air}} \dots\dots\dots (B22).$$

$$\rho'_{\text{air}} = \frac{75.5 \times 8.5 + 23.2 \times 12.7 + 1.3 \times 113}{100} = 10.8$$

$$\rho = 0.0013 \times 10.8 = 0.014$$

$$I_R = I_0 e^{-0.14} \dots\dots\dots I = 0.87 I_0 \dots\dots\dots (B23).$$

$\rho$  est fonction de longueur d'onde. Quand  $\lambda$  croît (l'énergie des photons décroît) l'absorption augmente jusqu'à une valeur max. puis brusquement la matière devient transparente au rayonnement donc l'absorption diminue. Si on continue à augmenter la longueur d'onde l'absorption augmente de nouveau. Cette discontinuité d'absorption correspond aux longueurs d'onde critiques pour l'ionisation des différentes couches électroniques des atomes absorbantes. La figure 8 montre l'ionisation de la couche K. (Fig. 8).

Lorsque la longueur d'onde augmente,  $\rho$  augmente et le nombre de photons disparaissant avec ionisation de la couche K augmente.

Pour  $\lambda$ , l'absorption conduisant à l'ionisation de la couche K est maximale. Au delà de  $\lambda_K$ , l'énergie des photons devient

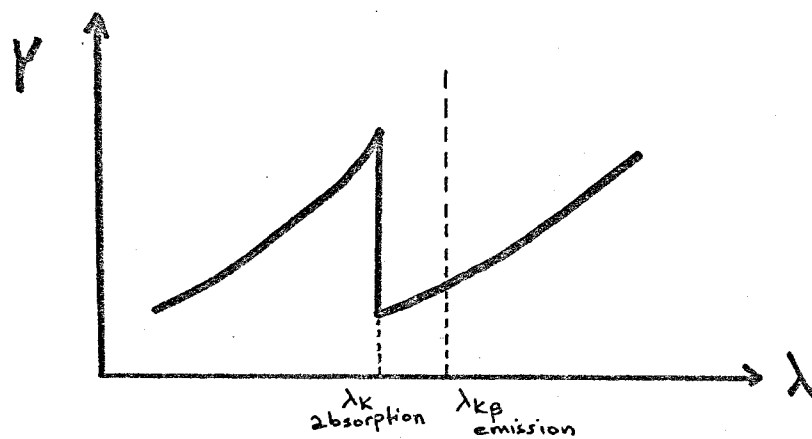


FIG.8 :L'ionisation de la couche K

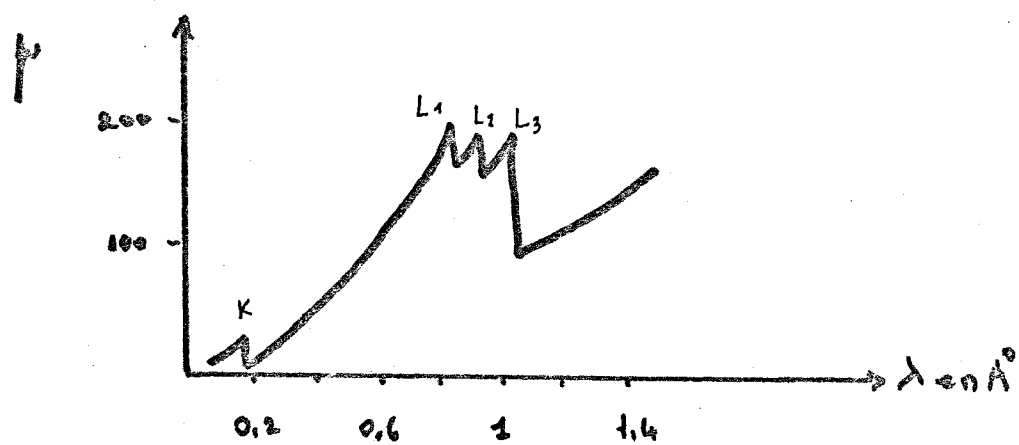


FIG.9 :Discontinuité d'absorption.

trop faible et la couche K ne peut plus être ionisée. Donc la brusque baisse d'absorption se produit. On a toujours :

$$\lambda_{K \text{ absorp.}} < \lambda_{K \text{ émission}} \dots\dots(B24).$$

Il y a la discontinuité d'absorption par couche ou sous-couche. (Fig 9). Pour la couche L, il y a trois sous-niveaux donc il y a trois discontinuités. Entre deux discontinuités,  $\mu$  suit la loi de Bragg Pierce

$$\mu = c Z^4 \lambda^3 \dots\dots(E25).$$

$c$  est un constant. Pour les éléments lourds, l'absorption est importante donc  $\mu$  croît très rapidement avec le numéro atomique. Les atomes légers comme Al et Be absorbent peu les RX. (application aux fenêtres de tube X)

#### b) Diffusion de RX par un électron

##### 1°-Diffusion de Thompson .... "choc élastique"

Quand un photon X ( $h\nu$ ) heurte un électron cet électron peut se mettre à vibrer et restituer dans toutes les directions un rayonnement de même énergie  $h\nu$ . Donc dans ce cas on a la conservation de fréquence. Cette diffusion est importante pour les éléments lourds.

##### 2°-Diffusion de Compton .... "choc anélastique"

Il peut y avoir un choc d'un photon X sur un électron avec perte d'énergie. Le photon X est diffusé dans une autre direction avec l'augmentation de sa longueur d'onde. elle devient importante pour les éléments légers. L'accroissement de la longueur d'onde est en fonction de l'angle de diffusion  $2\theta$ .

$$d\lambda = 0.0243 (1 - \cos 2\theta) \dots\dots(E26).$$



### c) Diffusion par un atome - effet photoélectrique

Si l'énergie des photons  $X$  incidents est suffisante il peut ioniser l'atome de l'élément par arrachement d'un électron interne. La place vide ainsi créée est comblée par le saut d'électrons des couches plus externes, il y a émission des raies caractéristiques de l'élément. C'est l'effet photoélectrique. On dit qu'on a un rayonnement de fluorescence  $X$  ou secondaire. (Voir le chapitre BII).

### d) Diffraction de RX

Considérons un cristal ayant une famille réticulaire (hkl). cette famille comment va-t-elle agir contre le rayonnement monochromatique ( $K\beta$  filtré)?

De façon suivante, les plans réticulaires sont capables de diffuser les radiations incidents. Chacun des atomes va fonctionner comme source de Thompson. (Fig. IO).

Le faisceau incident et diffracté font le même angle avec le plan  $\pi$  réticulaire du réseau direct comme s'il y avait réflexion sur ces plans. Afin que les deux rayons soient en concordance de phase, il faut que la différence de marche entre deux rayons soit égale à un numéro entier de la longueur d'onde. (Fig; IO).

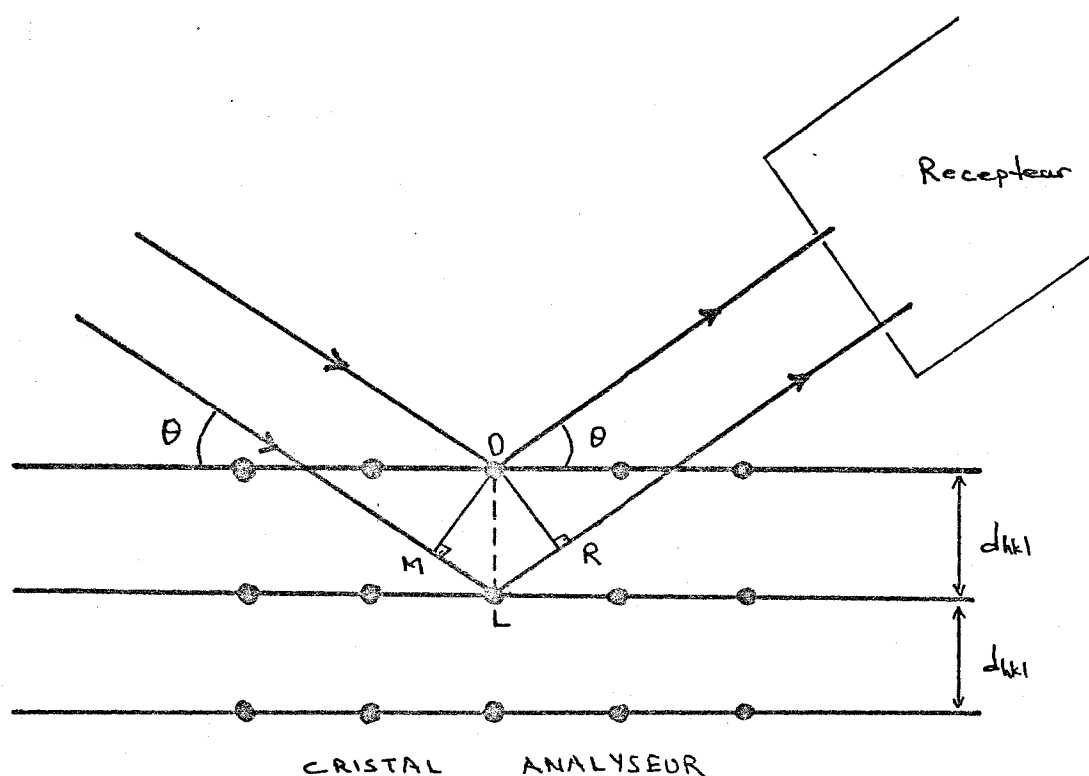
$$\delta = ML + LR = MLR = f \left( d_{(hkl)}, \theta \right)$$

$$ML = LR = d \sin \theta$$

$$\delta = 2 d \sin \theta = n$$

.....(27).

$$2 d \sin \theta = n \lambda \quad \text{"Loi de Bragg"}$$



$$2d \cdot \sin \theta = n\lambda$$

LOI DE BRAGG

FIG.IO-Diffraction de RX-La loi de BRAGG.

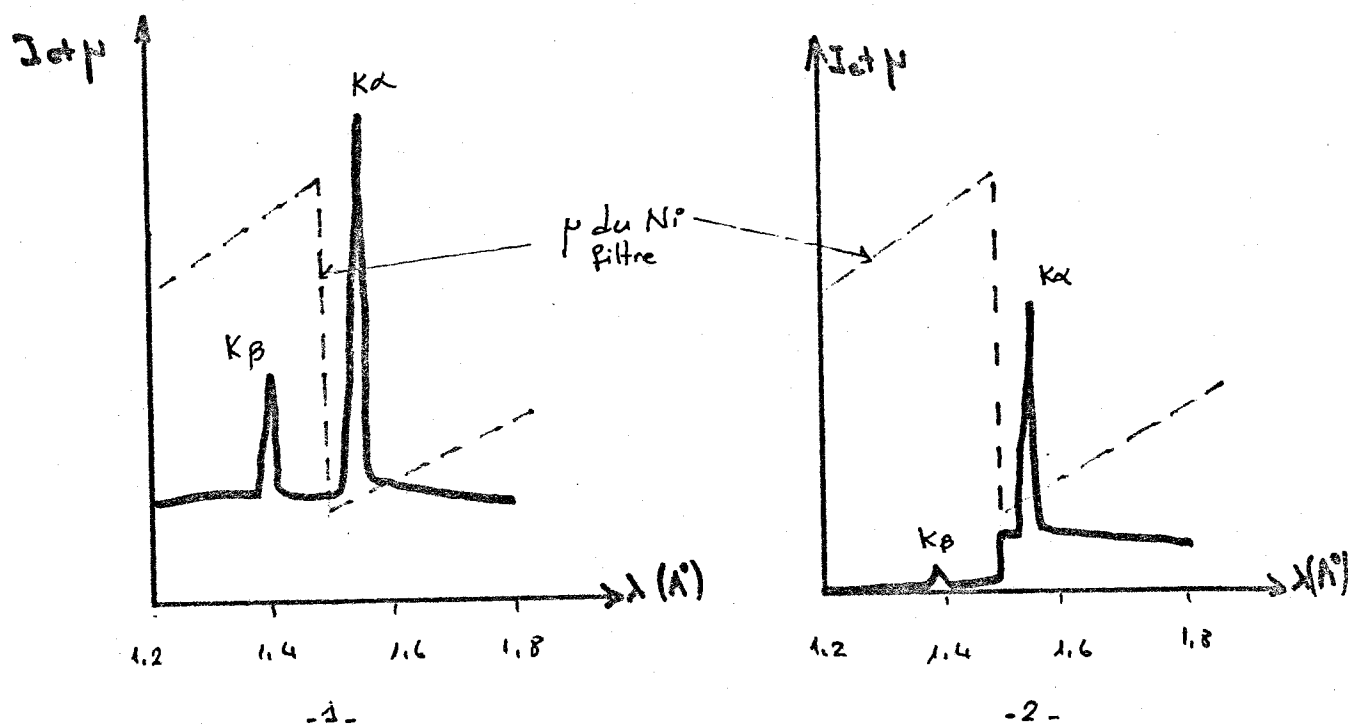


FIG.II- Intensités des raies  $K\alpha$  et  $K\beta$  du Cuivre avant (1) et après (2) le passage à travers un filtre de Nickel.

"n" est le nombre entier positif. C'est "l'ordre de diffraction".

Pour qu'il y ait un rayon diffracté, il faut que la loi de Bragg soit satisfaite.

La condition pour la diffraction .... :

$$^{\circ} \theta = 0^{\circ}$$

$$^{\circ} 2d \geq \lambda \text{ ..... (B28).}$$

Application de la loi de Bragg :

° Analyse spectrométrique RX qualitative. En prenant  $d$  constant on peut déterminer  $\lambda$  des différentes raies caractéristiques de l'échantillon. On peut obtenir un diagramme des spectres de raies RX à  $\lambda$  différentes caractérisant les différents éléments en fonction de  $2\theta$  connues; on en déduit la longueur d'onde  $\lambda$ .

° Mesure de distances réticulaires par la méthode de Debye-Scherrer et la détermination des éléments. On prend la longueur d'onde constante. L'échantillon broyé (en poudre), on le met dans un petit tube minuscule. On l'analyse par le RX monochromatique dont la longueur d'onde est connue. On obtient les traces de raies caractéristiques sur un film photographique.

Chaque raie correspond à une distance de plan réticulaire  $\lambda$  et  $\theta$  connues; on calcule " $d$ " de chaque raie et on détermine la nature et la structure de l'échantillon.

° Méthode par la diffractométrie: En prenant constante, en connaissant  $\theta$  on en déduit la distance réticulaire de chaque raie caractéristique enregistrée sur un papier graphique. Avec cette méthode

on peut connaître la nature des éléments. Donc toutes ces méthodes précédentes appuyées sur la diffraction se servent d'une analyse qualitative.

#### BI-4-Séparation des différentes radiations -----

Lorsqu'on a un rayonnement  $K$  comprenant plusieurs raies caractéristiques, il est nécessaire de pouvoir séparer les différentes radiations afin de les isoler. Ensuite il est intéressant de mesurer l'intensité de cette radiation isolée.

##### a) Les cristaux analyseurs

Il est possible d'utiliser pour séparer les différentes longueurs d'onde, le phénomène de la diffraction sur le cristal. Si un rayonnement contient plusieurs longueurs d'onde en faisant varier l'angle  $\theta$ , il y aura réflexion successive. C'est un moyen de séparer les différentes radiations. On dit qu'on réalise une analyse dispersive.

##### b) Filtre

Basée sur le phénomène de discontinuité d'absorption. Supposons qu'on désire séparer la raie  $K\alpha$  de la raie  $K\beta$  d'un rayonnement. On interpose sur le trajet du faisceau, une plaque constituée d'un élément tel que sa discontinuité d'absorption se trouve entre les longueurs d'onde des raies  $K\beta$  et  $K\alpha$ . (Fig. II).

$$\lambda_{K\beta} < \lambda_{\text{filtre absorb.}} < \lambda_{K\alpha} \dots\dots\dots (B29).$$

Après le passage à travers cette plaque, on voit que la raie  $K\beta$  a pratiquement disparu. Par contre la raie  $K\alpha$  a été très peu absorbée. Donc on a isolé la raie  $K\alpha$ . Cette plaque a été appelée "un filtre".

Exemple : Pour le cuivre " Cu " :  $Z = 29$

$$\lambda_{K\alpha} = 1.542 \text{ \AA}.$$

$$\lambda_{K\beta} = 1.392 \text{ \AA}.$$

filtre de Ni "  $Z = 28$  "

et

$$\lambda_{\text{Kabsorp.}} = 1.488 \text{ \AA}.$$

° Pour Co  $Z=27$  ..... Le filtre : Fe "  $Z=26$  "

° Pour Fe  $Z=26$  ..... Le filtre : Mn "  $Z=25$  "

° Pour Cr  $Z=24$  ..... Le filtre : V "  $Z=23$  ".

DONC :

Le  $Z$  DE FILTRE = Le  $Z$  DE L'ELEMENT - ( 1 ou 2 ) ....(B30).

### c) Séparation par la discrimination d'énergie

Il est possible d'obtenir une impulsion de courant dont l'amplitude soit proportionnelle à l'énergie du photon incident. On réalise une discrimination d'amplitude de l'intensité en mettant une limite inférieure et une limite supérieure très rapprochées pour les amplitudes. (Voir le chapitre BIII). L'écart entre deux limites fixes est appelée " la fenêtre ".

## BI-5-Compteurs et Enregistrement de RX

Les fonctions de compteurs sont celles de recevoir et mesure les intensités de RX ou FX réfléchis par un cristal analyseur vers une direction de  $2\theta$  avec la direction incident. Les compteurs  $\pi$  transforment les photons X constituant le rayonnement de FX émis par l'échantillon, en impulsion qui sont comptabilisées et enregistrées. Il nous intéresse deux types de compteurs pour détecter toutes les longueurs d'onde qui peuvent être analysées par FX.

- Compteur à scintillation
- Compteur à flux gazeux.

### a) Compteur à scintillation

Il est composé par un cristal NaI activé avec du thallium et par un photomultiplicateur contenant une photocathode des dynades, une anode. (Fig. I4). Principe de fonctionnement est le suivant: Les photons X absorbés par le cristal NaI provoquent des impulsions de lumière visible qui sont émises par NaI cristal et envoyés sur la photocathode qui émet des électrons. Les électrons vont frapper plusieurs dynades, le nombre d'électrons augmente sur chaque dynade et les électrons sont finalement collectés par l'anode. Le compteur à scintillation est caractérisé par un temps mort de 2 microsecond. L'intensité (le taux de comptage) est entre  $10^4$  -  $2 \cdot 10^4$  cou /

En pratique, on utilise pour les rayonnements ayant  $2.5 \text{ Å}^\circ$ .  
 Donc ce compteur est utilisé pour détecter les rayonnements X des éléments lourds.

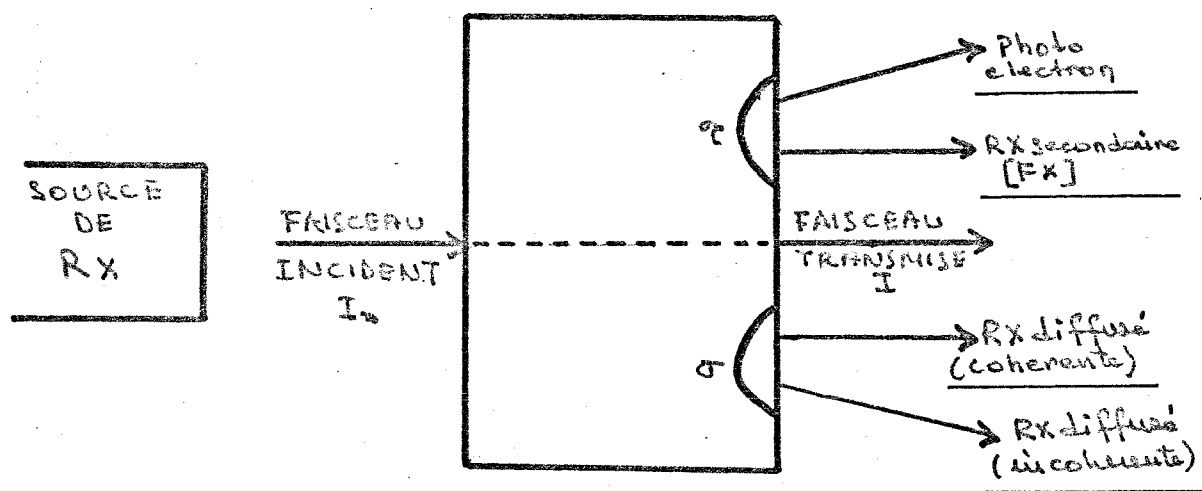
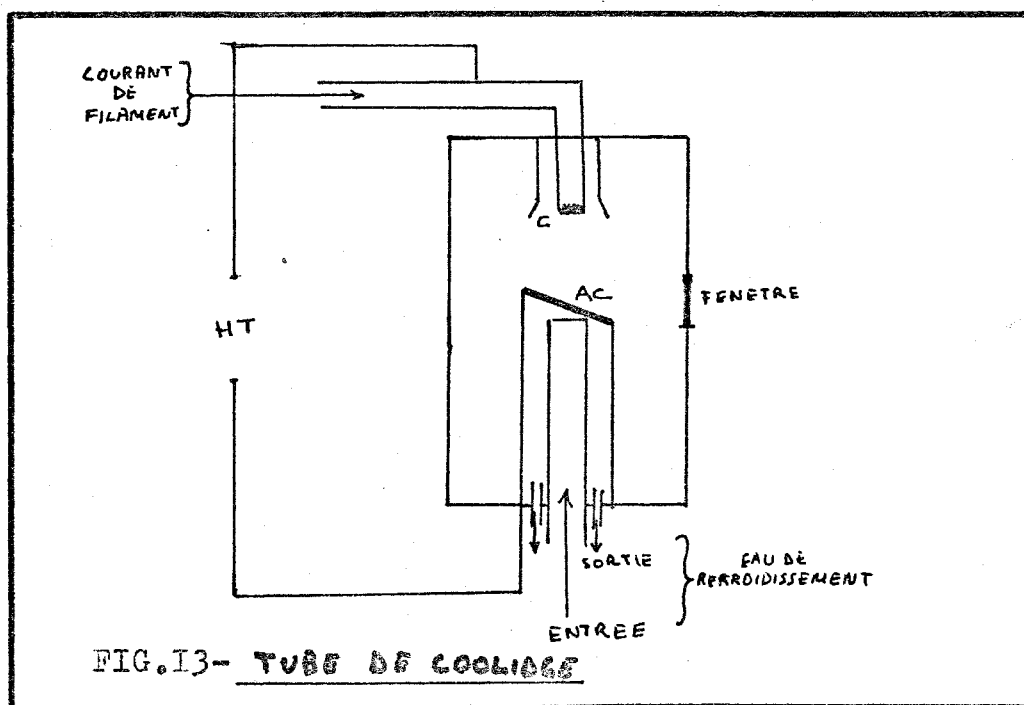


FIG. I2

FIG. I3- TUBE DE COOLAGE

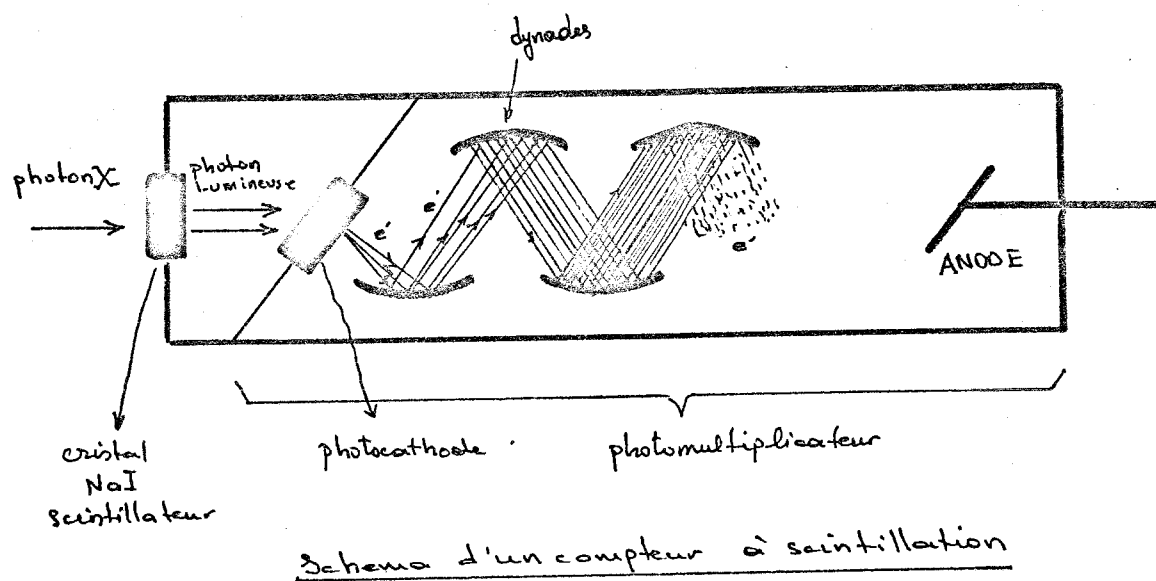
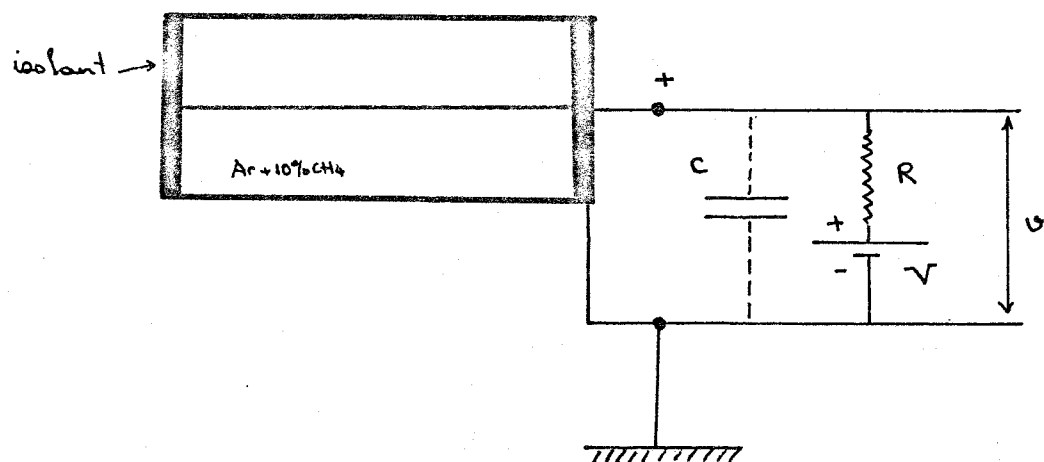


FIG. 14-15 COMPTeur A SCINTILLATION



Schema d'un tube à flux gazeux

FIG. 14-15 COMPTeur A FLUX GAZEUX



### b) Compteur à flux gazeux

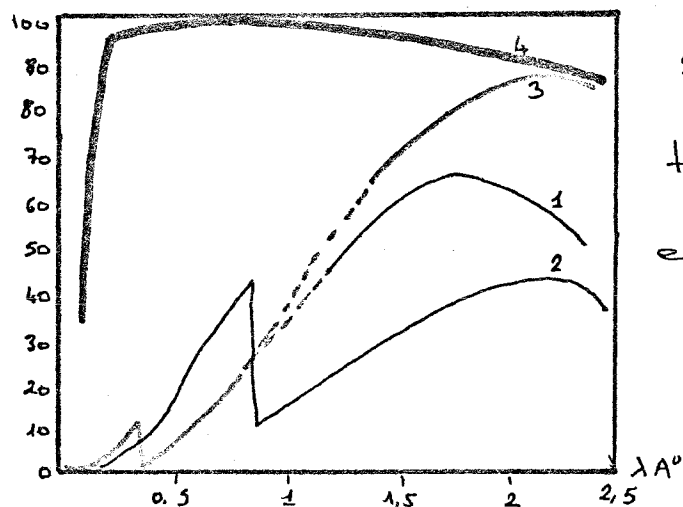
Il exploite l'effet de l'ionisation provoquée par les photons X sur les atomes d'un gaz inerte en libérant des électrons et en formant des ions des gaz. Il est un corps cylindrique on le remplit par un gaz inerte Ar et 10% du méthane. Le long de son axe se trouve un fil qui joint au pôle positif d'une source à haute température. (Fig. I5).

Fonctionnement: Les photons X sont absorbés par l'atome du gaz et ceci émet un photoélectron. L'atome ionisé perd son énergie en émettant un électron. Les électrons sont accélérés dans le champ électrique. Et il perd leur énergie cinétique en ionisant d'autres atomes du gaz. Ceci est une "avalanche de Townsend". (Production de grand nombre d'électrons). Les atomes ionisés créés par cet avalanche d'électrons libèrent de nouveaux d'électrons. On a décharge dans le tube. Pour un photon, on a  $10^7$  électrons en 100 microsecond.

La décharge est arrêtée par les ions positifs qui vont du fil vers le parois. Ils arrêtent l'ionisation. Il y a autoextinction.

Pendant la décharge et l'extinction, le compteur n'est sensible à un autre photon. C'est le temps mort du compteur. Dans le tube à flux gazeux, la fenêtre est en nylon de quelques microns d'épaisseur pour détecter les rayonnements très absorbables. Donc avec ce compteur on peut détecter des photons ayant  $\lambda \approx 200 \text{ \AA}$ .

Le rendement est grand pour  $\lambda$  grande  $> 1.5 \text{ \AA}$ . (Fig. I6).



Rendement des divers  
types de compteurs  
en fonction de  $\lambda$ .

1. Compteur Geiger-Müller Xénon —
2. Compteur GM Krypton —
3. Compteur à flux gazeux —
4. Compteur à scintillation —

FIG. 16-

Ce compteur détecte les rayonnements des éléments légers ayant  $\lambda$  grand. Le temps est réduit à 0,2 microsecond. La linéarité du comptage (c-à-d la réponse est linéaire) est liée au temps mort T par la formule suivante:

$$N = \frac{n}{1 - nT} \dots\dots\dots (B31).$$

N = le nombre de coups réels.

n = le nombre de coups effectifs comptés.

T = temps mort.

### c) Enregistrement

Les impulsions fournis par l'un des 2 types de compteurs décrit précédemment sont enregistrées soit graphiquement (analyse qualitative) soit comptabilisées par un numérateur électronique (analyse quantitative). (Voir Le Chapitre BIII).

°°°° QAFAKLI Ahmet Sevket .....

BII-Généralité sur FX et Principe de l'analyse  
par FX .....

### BII-I-Généralité

On peut obtenir une émission par absorption par la manière de photon K d'énergie élevée. Pour exciter le spectre K caractéristique de chaque élément on utilise un rayonnement K produit dans un tube à RX. Le photon K incident peut ioniser l'atome par arrachement d'un électron de la couche K. Comme on a vu précédemment l'atome retourne à son état d'équilibre par le saut de ses électrons plus externe vers les couches internes et il y aura l'émission de son rayonnement K caractéristique. On dit qu'on a un rayonnement de EX ou secondaire, et le spectre K sera l'émission de fluorescence lorsque l'ionisation d'un élément est obtenu par un rayonnement K.

Le terme EX est adopté quand le rayonnement émis ont une longueur d'onde plus courte que le rayonnement incident. Car il y a une reste d'énergie. Le photon K incident disparaît et l'électron arraché a une énergie cinétique  $\frac{1}{2} m v^2$  de valeur :

$$\frac{1}{2} m v^2 = h\nu - w_K \dots\dots\dots (B32).$$

Pour qu'il y ait une émission de EX, l'énergie de photon K incident doit être supérieure à l'énergie de la liaison de la couche.

$$h\nu \geq w_K \dots\dots\dots (B33).$$

"couche K".

Pour que le rayonnement  $\lambda$  d'un élément A puisse exciter la fluorescence d'un élément B par ionisation de sa couche K il faut que :

$$\lambda_A < \lambda_{\text{absorption de B}} \dots\dots\dots (B34).$$

Ce rayonnement secondaire FX avant de sortir de l'atome, peut expulser un électron d'une couche plus externe par effet photoélectrique. Dans ce cas-là il y a disparition de FX et l'atome est ionisé deuxième fois. C'est l'effet Auger et les électrons expulsés s'appellent "des électrons auger". Le rendement de FX est le rapport de nombre de photons X émis réellement dans la série K ou L au nombre d'atomes ionisés dans la couche K ou L. Le rendement  $W^X$  est inférieur à 1. Plus l'élément est léger plus l'effet auger est important. Donc le rendement de FX augmente avec le numéro atomique Z de l'élément.

Exemple:

| K  | Z  | $W^X$ |
|----|----|-------|
| O  | 8  | 0.08  |
| Kn | 25 | 0.26  |
| Cu | 29 | 0.40  |
| Mo | 42 | 0.75  |

" Z augmente ;  $W^X$  augmente ".

Donc plus élément léger, plus le rendement de FX diminue. Il faut aussi considérer que le rayonnement caractéristique des éléments légers est facilement absorbé par l'air. Parce que pour les éléments légers, les longueurs d'onde des ~~émissions~~ rayons caractéristiques sont grandes. Pour remédier ceci on met le spectromètre sous vide primaire ou sous une atmosphère, de l'Hélium (He). Car He est un élément léger qui n'absorbe pas beaucoup les rayonnements. Il faut donc se rendre que pour les éléments légers, l'analyse par FX devient de plus en plus superficielle. Actuellement on peut doser que les éléments au-dessus de Na " Z=11 ".

## BII-2-Principe -----

Une surface -étant plan- de l'échantillon à analyser est soumise à RX primaire issu d'un tube à RX. Ce rayonnement excite la fluorescence de l'échantillon. Ainsi on va obtenir un rayonnement secondaire constitué des raies caractéristiques des éléments présents dans l'échantillon. Les fentes de collars parallèles permettent d'avoir un faisceau parallèle de RX. Le rayonnement de RX rencontre le cristal analyseur. Il est possible de séparer les raies caractéristiques du rayonnement de fluorescence et de mesurer leur intensité par rotation du cristal " $\theta$ ." et du compteur " $2\theta$ " en restant dans les conditions de Bragg. (Fig. I7).

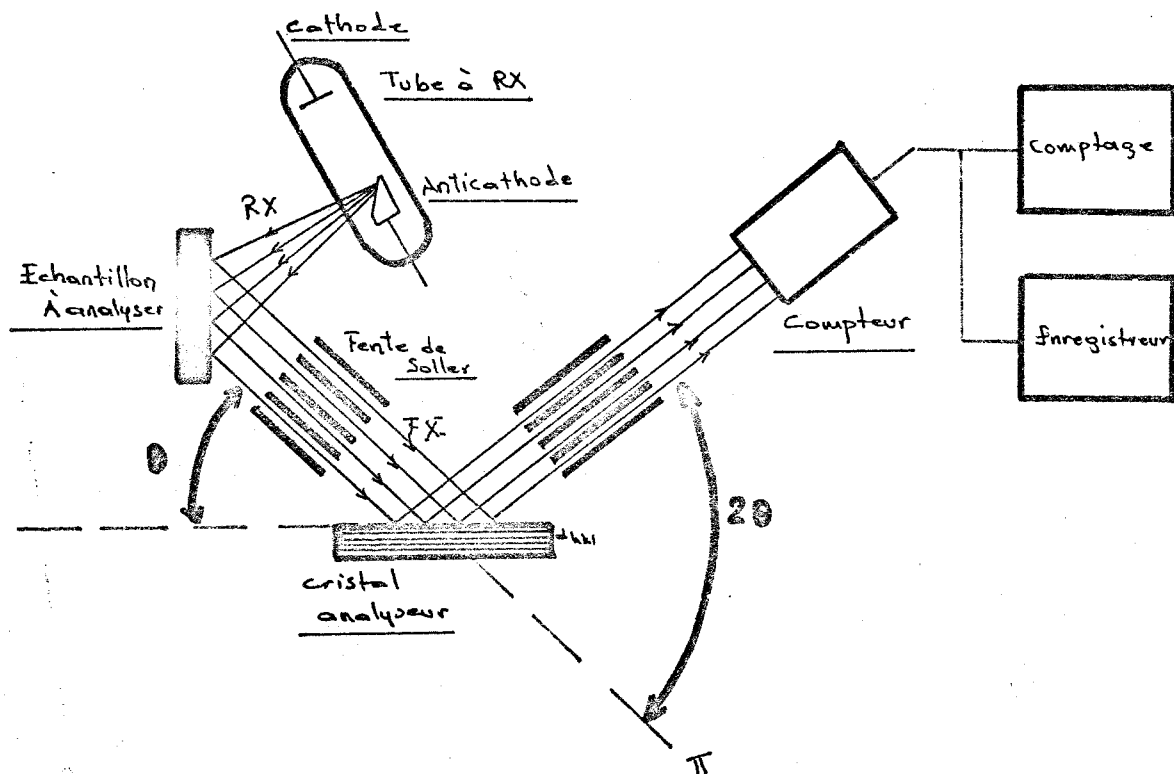
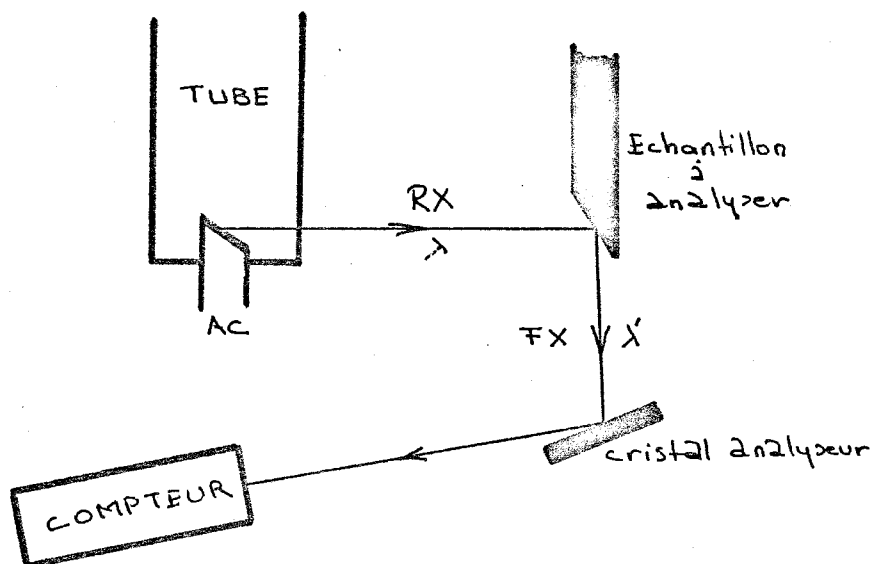
Pour qu'on connaisse les éléments présents, il est possible de faire une analyse quantitative. Pour cela, on va caler le cristal et le compteur sur la raie de l'élément à doser et on effectue des comptages sur cette raie. Par comparaison avec les valeurs trouvées sur la même raie dans les mêmes conditions avec un échantillon témoin (standard) de composition connue, on peut retrouver la teneur cherchée. L'appareil qui réalise ces analyses est appelé "le spectromètre à RX". (Fig. I7).

## BII-3-Différents types de spectromètre X-----

En générale 2 types :

a) Appareils manuels

On fixe pour analyse, l'angle correspondant à la raie de l'élément à doser. Ainsi que le cristal analyseur, compteur. Pour chaque élément que l'on analyse, on change la valeur de cette angle manuellement.



$$2d \cdot \sin \theta = n\lambda$$

LOI de BRAGG

FIG. I7-PRINCIPE DE FX.



### b)Appareil séquentiel automatique

Les appareils sont automatisés. On établit un programme des différents éléments à doser et pour chaque élément, on choisit la valeur de l'angle  $\theta$ . (Position de cristal et compteur). L'appareil effectuera automatiquement des comptages sur les raies caractéristiques des éléments choisis, les uns après les autres. Il est aussi automatisé le passage de plusieurs échantillons à la suite. (Voir le chapitre BIII).

#### BII-4-Relation entre l'intensité et la concentration----->--

L'intensité est le nombre de photons X arrivant sur une surface perpendiculaire au faisceau pendant l'unité de temps. Lorsqu'on parle de l'intensité d'une raie dans cet exposé on considère la valeur du comptage effectué, diminué de la valeur du fond continu à côté de cette raie. Considérons par exemple un échantillon composé des éléments A, B, C, .... etc. et on veut analyser A par exemple:

Un faisceau de RX primaire de  $\lambda$ , de  $I_0$  frappe sur la surface S de cet échantillon sous un angle  $\theta$  pour exciter la fluorescence de cet élément (Fig.18). Et considérons une tranche de matière d'épaisseur  $dx$  située à une profondeur de  $x$ . En admettant que  $\rho$  soit la masse spécifique de l'échantillon et  $\mu_{\lambda}$  soit sa coefficient d'absorption massique pour  $\lambda$ . L'intensité  $I_x$  du rayonnement primaire arrivant sur la couche  $dx$  sous un angle  $\theta$  est :

$$I_x = I_0 e^{-\frac{\mu_{\lambda} x}{\sin \theta}} \dots \dots \dots (B35).$$

Et la quantité de photon arrivant sur la surface  $S$  de la couche  $dx$  pendant l'unité de temps est :

$$R_x = I_x S \sin \theta \dots\dots\dots (B36).$$

Soit  $N_A$  le nombre d'atomes dans  $A$  dans l'unité de volume de l'échantillon

$N_A$  dans la tranche  $dx$  sera :

$$N_A S dx \dots\dots\dots (B37).$$

"nb. d'atomes de  $A$  dans la tranche  $dx$ ".

Soit  $Q_A$  la fraction de photon incident utilisé pour provoquer le rayonnement  $K\alpha$  de l'élément  $A$  de longueur d'onde  $\lambda$  pour un atome de  $A$ .

Donc la quantité de photon de fluorescence de  $\lambda$  émis par le volume " $S dx$ " pendant l'unité de temps dans toutes les directions est :

$$R_{FA} = R_x Q_A N_A S dx$$

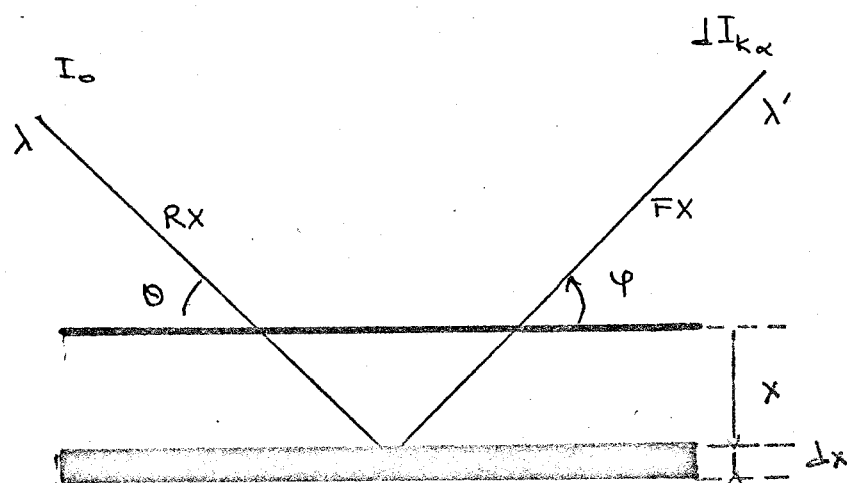
$$R_{FA} = I_x S \sin \theta Q_A N_A S dx \dots\dots\dots (B38).$$

Ces photons ne sont pas tous récupérés; seules ceux qui frappent le cristal analyseur, servent à la détermination de l'intensité  $I_{K\alpha}$  de la raie étudiée de l'élément  $A$ . Soit  $\Omega$  l'angle solide du faisceau de photons récupérés.  $R_{FA}$  devient dans cet angle :

$$R'_{FA} = I_x S \sin \theta Q_A N_A S dx \frac{\Omega}{4\pi} \dots\dots\dots (B39).$$

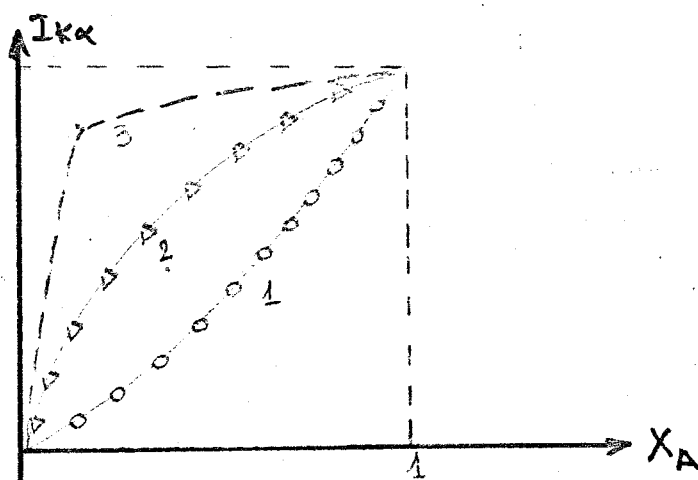
L'intensité émise par le volume  $S dx$  dans la direction devient :

$$dI'_K = I_x \frac{S \sin \theta}{S \sin \varphi} Q_A N_A S dx \frac{\Omega}{4\pi} \dots\dots\dots (B40).$$



$$I_{K\alpha} = K \cdot \frac{X_A}{P_A + P_A'}$$

FIG. 18 -

FIG. 19- COURBE DE  $I_{K\alpha} : f(X_A)$ .

Le rayonnement  $K\alpha$  avant de ressortir de l'échantillon subit une absorption. L'intensité du rayonnement  $K\alpha$  émis par la couche  $Sdx$  ressortant de l'échantillon est une fraction " $dI_{K\alpha}$ " de l'intensité totale de la raie  $K\alpha$  dans la direction  $\psi$ .

$$dI_{K\alpha} = dI'_{K\alpha} e^{-\mu' x \frac{\sin \theta}{\sin \psi}} \dots \dots \dots (B41).$$

$$dI_{K\alpha} = I_{K\alpha} \frac{\sin \theta}{\sin \psi} \frac{Q}{A} \frac{N}{A} S dx \frac{\omega}{4\pi} e^{-\mu' x \frac{\sin \theta}{\sin \psi}} \dots \dots \dots (B42).$$

$$dI_{K\alpha} = I_0 e^{-\mu x \frac{\sin \theta}{\sin \psi}} \frac{\sin \theta}{\sin \psi} \frac{Q}{A} \frac{N}{A} S \frac{\omega}{4\pi} e^{-\mu' x \frac{\sin \theta}{\sin \psi}} dx \dots (B43)$$

En intégrant :

$$I_{K\alpha} = \frac{I_0 \frac{\sin \theta}{\sin \psi} \frac{Q}{A} \frac{N}{A} S \frac{\omega}{4\pi}}{\rho \left( \frac{\mu}{\sin \theta} + \frac{\mu'}{\sin \psi} \right)} \dots \dots \dots (B44).$$

$$\frac{N}{A} = \frac{\frac{X}{A}}{\frac{M}{A}} \rho N_A \dots \dots \dots (B45).$$

" le nb. d'atomes de A ".

d'où :

- °  $\frac{X}{A}$  = concentration en poids de A.
- °  $\frac{M}{A}$  = masse atomique.
- °  $\rho$  = masse spécifique.
- °  $N_A$  = nb. d'Avogadro.

$$I_{K\alpha} = \frac{I_0 \frac{\sin \theta}{\sin \psi} Q_A \frac{X_A}{A} P N S \frac{\Omega}{4\pi}}{N_A \left( \frac{\mu_{\lambda}}{\sin \theta} + \frac{\mu_{\lambda'}}{\sin \psi} \right) 4\pi} \dots\dots(B46).$$

$$\theta \approx \psi \approx 45^\circ$$

$$I_{K\alpha} = K \frac{\frac{X_A}{A}}{\mu_{\lambda} + \mu_{\lambda'}} \quad \text{d'où} \quad K = \frac{I_0 Q_A N S \Omega}{4\pi N_A} \dots(B47)?$$

K dépend de la nature de l'élément considéré et des conditions opératoires.

- °  $Q_A$  = fraction des photons incidents.
- °  $N$  = le nb. d'avogadro.
- °  $S$  = surface.
- °  $\Omega$  = angle solide.
- °  $N_A$  = masse atomique de A.

$$I_{K\alpha} = K \frac{X_A}{A} \dots(B48).$$

$$K = \frac{X_A (\mu_{\lambda A} + \mu_{\lambda' A}) + X_B (\mu_{\lambda B} + \mu_{\lambda' B}) + \dots}{4\pi N_A}$$

On voit qu'il n'y a pas de proportionnalité entre l'intensité et la concentration, l'intensité dépend de la composition de l'échantillon (B48). Si la matrice (B, C, ... etc.) est moins absorbante que l'élément A on aura une courbe du type "1". Si la matrice est plus absorbante on aura une courbe de type "2". Si l'élément A est très absorbant et la matrice est très transparente, on aura une courbe de type "3". (Fig. I9).

En pratique on ne calcule pas directement la concentration de l'élément étudiée à partir de l'intensité de sa raie caractéristique. On se sert d'étalons de compositions connues. (Voir le chapitre BIII-5). L'hétérogénéité, la granulométrie, l'effet de matrice, l'effet minéralogique sont des facteurs principaux influant sur l'intensité.

-----  
CATALINI Miroslav Savket.

BIII - PARTIE PRATIQUE .....

BIII-OPERATION EXPERIMENTALE

ANALYSE PAR EX REALISE DANS LE LABORATOIRE

DE PETROLOGIE DE NANCY I.....



## BIII-I :Introduction-----

La spectrométrie de FX permet de faire des analyses quantitatives. Notre analyse a été faite par un spectromètre séquentielle automatique. L'analyse quantitative consiste à effectuer des comptages sur la raie la plus intense caractéristique d'un élément et à rapporter le nb. des coups "impulsion" ainsi mesuré sur une droite d'étalonnage établit en faisant la même opération pour le même élément sur plusieurs étalons de composition connue par analyse chimique. On rapportera les pourcentages en abscisse et le nombre des coups en ordonnée. Donc on mesure le nombre des coups "intensité" d'une raie caractéristique d'un élément. Ceci est proportionnel à la concentration comme on a vu précédemment.

$$I_a = f(K, Ca) \dots\dots\dots (B49).$$

$I_a$  : l'intensité de l'élément A

Ca : la concentration de l'élément A dans le mélange.

K : la somme de toutes les variables influant l'intensité mesurée.

Bien que l'on aille voir le mode et le dépouillement des mesures dans les chapitres suivantes, nous voulons préciser avant d'aboutir à des mesures expérimentales.

-On utilise une série de standard dont la composition bien connue. Dès que toutes les échantillons sont prêtes à mesurer;

on commence par la mesure des impulsions d'un element des etalons differents. Pour cet element ,on établit une courbe d'etallonnage " $I = f(C\%)$ ". La courbe que l'on a obtenu pour chaque element est une droite bien que les etalons aient des matrices différentes. On voit donc que la méthode de préparation supprime bien les effets minéralogiques ainsi que les effets de matrices. On établit une courbe d'étallonnage pour chaque element different.

-Ensuite on prend l'echantillon et on mesure l'impulsion d'un element A pour chaque echantillon successivement. On rapporte cette valeur de nb. des coups de l'element A en coordonnée du diagramme contenant la courbe d'etallonnage de l'element A des divers étalons.

-Enfin on trouve la valeur (en abscice) de la teneur correspondant à la valeur mesurée en comparaison par rapport à la courbe d'etallonnage de même element. On poursuit cette opération pour même elment de chaque echantillon.

On a fait l'analyse de 7 elements qui sont Al, Fe, Ti, Ca, Mg, Mn, K.

Donc on a établi 7 courbes d'etallonnage correspondant à 7 elements à analyser. La précision de la mesure dépend de la pente de la courbe d'etallonnage.

Les étalons que l'on a utilisé sont les suivantes:

GA-GH = 2 granites ; UBH = serpentinite ; DRN = diorite .

DRN : C'est un diorite de Neuntelstein. Provenance de Rocher de Neuntelstein du massif du Champs de Feu (Vosges cristallin du nord). Elle a été prelevée par H. DE LA ROCHE en quantité de l'ordre de 1400 kg. (1967 Juillet).

La composition minéralogique est comme la suivante:

56.4 % de plagioclase  
 20.5 % de hornblend verte  
 12.3 % de biotite  
 10.8 % de quartz  
 1.0 % opaques.

Les pourcentages en volume obtenues par l'étude au compteur de points portant sur trois lames minces. Les plagioclases et hornblends et opaques de DRN sont automorphes, tandis que le quartz interstitiel et la biotite est souvent chloritisée. On a fait plusieurs analyses pour cet étalon et on a préféré une valeur.

Ensuite à partir de cette valeur préférée, on a calculé  $\bar{X}_I$  (moyenne des valeurs préférées). La comparaison entre  $\bar{X}_I$  et  $M_I$  étant la valeur médiane des valeurs préférées, est favorable pour tous les éléments dosés. Donc on a proposé les valeurs  $\bar{X}_I$  comme les valeurs recommandées. (VR). Les valeurs  $R$ ,  $\bar{X}_I$  et  $M_I$  sont indiquées dans le tableau suivant:

DRN :

| elements                       |   | X<br>I | % | M<br>I | % | VR    | % |
|--------------------------------|---|--------|---|--------|---|-------|---|
| SiO <sub>2</sub>               | : | 52.65  |   | 52.37  |   | 52.65 |   |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | : | 17.42  |   | 17.53  |   | 17.42 |   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | : | 3.89   |   | 3.89   |   | 3.89  |   |
| FeO                            | : | 5.42   |   | 5.39   |   | 5.42  |   |
| MnO                            | : | 0.21   |   | 0.21   |   | 0.21  |   |
| MgO                            | : | 4.50   |   | 4.53   |   | 4.50  |   |
| Na <sub>2</sub> O              | : | 3.00   |   | 3.00   |   | 3.00  |   |
| CaO                            | : | 7.08   |   | 7.07   |   | 7.08  |   |
| K <sub>2</sub> O               | : | 1.70   |   | 1.70   |   | 1.70  |   |
| TiO <sub>2</sub>               | : | 1.11   |   | 1.10   |   | 1.11  |   |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | : | 0.27   |   | 0.26   |   | 0.27  |   |
| H <sub>2</sub> O +             | : | 2.09   |   | 2.03   |   | 2.09  |   |
| H <sub>2</sub> O -             | : | 0.23   |   | 0.20   |   | 0.23  |   |
| CO <sub>2</sub>                | : | 0.13   |   | 0.13   |   | 0.13  |   |
| TOTAL                          | : | 99.70  |   | 99.61  |   | 99.70 |   |

UBN: C'est un serpentinite (de Baguelle) provenant de col des Baguelles (Vosges moyen). Il a été prélevé 1000 kg. par H. de La Roche (1967 Juillet). UBN contient essentiellement 55.10 % de serpentine (aragonite à structure maillée), 42.10 % de l'olivine (craquelé, arrondie, serpentinisée), 1.10 % de diopside et 1.70 % de spinelle étant chromifère, brun et xénomorphe. (les % en volume).

## Tableau n° 2 :

La texture de UBN est grenue maillée.

Les valeurs recommandées de UBN ont été présentées dans le tableau suivant :

|                                |   |        |   |
|--------------------------------|---|--------|---|
| SiO <sub>2</sub>               | : | 39.40  | % |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | : | 2.99   | % |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | : | 5.52   | % |
| FeO                            | : | 2.70   | % |
| MnO                            | : | 0.12   | % |
| MgO                            | : | 35.00  | % |
| CaO                            | : | 1.12   | % |
| Na <sub>2</sub> O              | : | 0.10   | % |
| K <sub>2</sub> O               | : | 0.02   | % |
| TiO <sub>2</sub>               | : | 0.12   | % |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | : | 0.03   | % |
| H <sub>2</sub> O +             | : | 11.00  | % |
| H <sub>2</sub> O -             | : | 1.16   | % |
| CO <sub>2</sub>                | : | 0.42   | % |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | : | 0.32   | % |
| NiO                            | : | 0.25   | % |
| TOTAL                          | : | 100.26 | % |

GA-GH : Ce sont des granites. Pour chacun on a fait une quarantaine de mesures. On remarque que  $\bar{X}_I$  et  $M_I$  sont identiques sauf dans des rares cas où il existe une différence de l'ordre de 0.01 à 0.04 %.

Cette coïncidence remarquable entre  $\bar{X}_I$  et  $M_I$  incite à admettre ces valeurs comme valeurs recommandées. En effet les VR dans la présente étude 1970 sont les suivantes:

Tableau n° 3:

|                                |   | GA    | GH    |
|--------------------------------|---|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | : | 69.90 | 75.80 |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | : | 14.50 | 12.50 |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | : | 1.36  | 0.41  |
| FeO                            | : | 1.32  | 0.84  |
| MnO                            | : | 0.09  | 0.05  |
| MgO                            | : | 0.95  | 0.03  |
| CaO                            | : | 2.45  | 0.69  |
| Na <sub>2</sub> O              | : | 3.55  | 3.85  |
| K <sub>2</sub> O               | : | 4.03  | 4.71  |
| TiO <sub>2</sub>               | : | 0.38  | 0.08  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | : | 0.12  | 0.01  |
| H <sub>2</sub> O +             | : | 0.87  | 0.46  |
| H <sub>2</sub> O -             | : | 0.09  | 0.06  |
| CO <sub>2</sub>                | : | 0.11  | 0.14  |
| TOTAL                          | : | 99.72 | 99.63 |

On constate que GA est un granite calco-alcalin et GH est un granite alcalin. Donc GH est plus acide que GR.

Dans les chapitres suivantes ,on va voir successive-  
ment la preparation des echantillons, la description de spectromètre  
sequentielle automatique utilisé lors de l'analyse, les conditions  
et réglages de l'appareils; le dosage des standards, des echantillons  
et établissement de la courbe d'etallonnage , enfin le dépouillement  
des mesures en nous donnant des teneurs des elements majeurs  
sauf Si ,Na ,des nos echantillons que l'on veut analyser.

# BIII-2-Préparation des échantillons à analyser-----

## a) Broyage

D'abord on casse les échantillons avec un marteau en fragments de 5cm.x5 cm. max. Et ensuite on les broye plusieurs fois (2 ou 3 fois) dans un ~~mâchoir~~ broyeur à mâchoir, en réduisant l'intervalle de concasseur.(Fig.20)

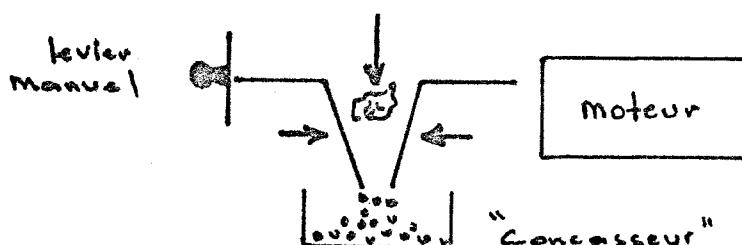


FIGURE 20:Schéma de broyeur à mâchoir.

Et on obtient par le broyage ,des fragments mm.(2-5mm.).

Broyage à mâchoir est un concasseur formé par deux lèvres dont l'une est immobile ,l'autre est mobile.(Fig.20).

Pendant l'utilisation ,il ne faut pas oublier de fermer l'entrée ds échantillons du concasseur avec un couvercle en bois;après l'utilisation il faut le nettoyer avec la brosse métallique et avec un chiffon en utilisant l'aspirateur.Il ne faut jamais utiliser de l'eau pour le nettoyer.Le broyage de 50 échantillons a duré presque deux jours.

### b) Porphyrisation

Après le broyage à mâchoir, on va les porphyriser avec le vibro-broyeur. Les échantillons déjà broyés en mâchoir deviennent après la porphrysation, en poudre fin. (10  $\mu$ )  
 Donc on a obtenu une homogénéisation par la porphrysation des échantillons. Après chaque utilisation de l'appareil, on lave les pièces de vibro-broyeur. La porphrysation doit durer d'environ une minute pour un échantillon. On a porphyrisé les 50 échantillons pendant presque deux jours.

### c) Calcination "Perte au feu"

1°-Élimination de l'eau d'absorption  $H_2O$  :

On dépose les poudres obtenus par la porphyrisation dans un bechoir et on les sèche dans l'étuve pour éliminer l'eau d'absorption sous une température de 110° C pendant 4 heures.  
 Caractéristique de l'étuve utilisé:

-Type: R. CHAIX M.C.C.A

n°=6916 type3

Volt=220 V A=4 T° max.=150° c.

2°-Calcination:

Après avoir éliminé l'eau d'absorption ( $H_2O$ ) par séchage, on les laisse à refroidir. Ensuite on va éliminer l'eau de constitution par la calcination à 1040° C. L'eau de constitution s'exprime conventionnellement par  $H_2O$ . La calcination à 1040° C n'élimine pas seulement l'eau de constitution, des gaz tels que le  $CO_2$  -par exemple- s'échappe également de l'échantillon. Il y a aussi un phénomène de "cracking" et "l'oxydation" (mal connue).



Ainsi il faudra mieux remplacer le terme  $H_2O$  par celui plus générale "perte au feu" à  $1040^\circ C$ .

Mode opératoire: Les prises d'échantillons (poudres après porphyrisation) d'environ 2 grammes, sont posées dans des creusets en alu inc en utilisant une balance précise (type Mettler H20 T). (Fig 22I) Les creusets sont repris au four à mouffle à  $1040^\circ C$  pendant une heure et demie, la température du four atteint à  $1040^\circ C$ ; Par ce processus on élimine l'eau de constitution ainsi que les gaz  $CO_2$  par calcination. Ensuite on laisse la porte du four ouverte pendant presque une demie heure afin de permettre l'oxydation totale de l'échantillon. Après refroidissement jusqu'à  $600^\circ C$ , les creusets sont mis dans le dessiccateur jusqu'à refroidissement totale.

Calcul de "perte au feu": On pèse les creusets sans échantillon ( $P_A$ ) et on ajoute d'environ 2gr. de poudres de l'échantillon dans le creuset et on pèse : ( $P_B$ ). Et on peut en déduire le poids précis de l'échantillon qui sera la différence de  $P_A$  et  $P_B$  :

Donc: 
$$P_I = P_B - P_A \dots\dots\dots (B50)$$

"poids de l'échantillon prise avant la calcination"

Après la calcination, on les repèse : ( $P'_B$ )

Donc: 
$$P_2 = P'_B - P_A \dots\dots\dots (B51)$$

"poids de l'échantillon après la calcination"

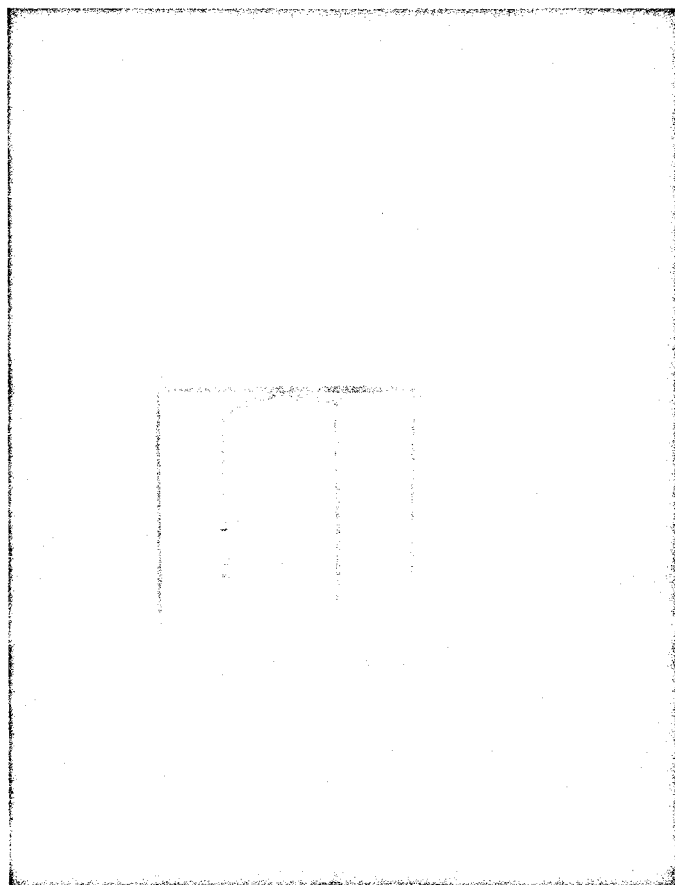


FIGURE :2I- Balance précise de type "Mettler H20 T ".

La différence  $P_1$  et  $P_2$ , rapportée au poids de l'échantillon  $P_1$  donne le pourcentage en eau de constitution c'est à dire en perte au feu. (B52).

$$\frac{P_1 - P_2}{P_1} \cdot 100 = \% \text{ de PF} \quad \dots\dots\dots(B52).$$

Exemple expérimentale: L'opération est comme la suite:

Ech. : MAS 220 a "Roche métamorphique à faciès cornéen".

avant la calcination:

$$\begin{array}{lcl} P_A = 12.1500 \text{ gr.} & & \\ P_B = 14.1521 \text{ gr.} & \text{-----} & P_I = P_B - P_A = 2.0021 \text{ gr.} \end{array}$$

après la calcination :

$$\begin{array}{lcl} P'_B = 14.1257 \text{ gr.} & \text{-----} & P_2 = P'_B - P_A = 1.9757 \text{ gr.} \end{array}$$

donc le pourcentage de PF :

$$\% \text{ PF} = \frac{(P_I - P_2)}{P_I} \cdot 100 = \frac{(2.0021 - 1.9757) \cdot 100}{2.0021}$$

$$\text{PF} = 1.32 \% \text{ de MAS 220a.}$$

Pour certain échantillon on a trouvé des valeurs étonnantes. On a fait une deuxième mesure et on a constaté que les deux valeurs

sont presque identiques. Donc il s'agit des roches contenant une quantité d'eau et de gaz importantes. Ce sont des roches surtout basiques et chloriteuses. (Roches vertes.). Les deux mesures de ces échantillons sont les suivantes:

|                 | PF 1ère mesure | PF 2ème mesure     |
|-----------------|----------------|--------------------|
| ech. : MAS 155  | 9.43%          | 9.44% Roche verte. |
| ech. : MAS 171  | 6.19%          | 6.22% Lave basique |
| ech. : MAS 253  | 7.43%          | 7.43 Méta tuf      |
| ech. : MAS 259b | 6.07%          | 6.05 Roche verte.  |

Ces deux mesures ont été effectuées dans un intervalle de 1 jour.

### 3°-Appareils utilisés pour le PF :

-Balance précise de type Mettler H20 T: (fig.21)

-Le four "HAGAT" :

"série I200 type I207 avec regularisation  
automatique"

T° max. = 1100° C ; W = 5000 watt ; V = 380 volt n° = 4570

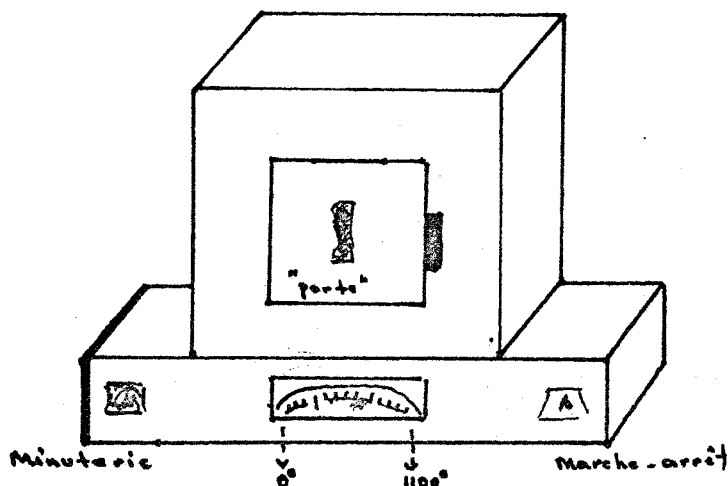


FIGURE :22-Four " HAGAT ".

On peut y mettre les dix creusets max. pour 2 heures.

On a pu terminé cet étape (mesure de PF) pendant presque une semaine.

## 4°--Résultats expérimentales de PF des échantillons

à analyser :

Les résultats obtenues sont néanmoins reproductibles. Elles sont représentées dans le tableau suivant:

Tableau n° 4 :

| ech.      | nature                            | % de PF |
|-----------|-----------------------------------|---------|
| MAS I36 a | :Schiste à 2 micas .....          | 2.23    |
| MAS I36 b | :Quartzite .....                  | 1.52    |
| MAS I40   | :Granite à biotite.....           | 0.37    |
| MAS I51 a | :Schiste quartzique détritique..  | 2.43    |
| MAS I51 b | :Leptynite à biotite.....         | 0.73    |
| MAS I52   | :Schiste amphibolique.....        | 1.36    |
| MAS I53   | :Gneiss amphibolique. ....        | 0.49    |
| MAS I55   | :Roche verte à passée épidotique: | 9.43    |
| MAS I63   | :Rhyolite bréchique.....          | 0.86    |
| MAS I65   | :Rhyolite bréchique.....          | 0.16    |
| MAS I67   | :Granite grenue.....              | 0.48    |
| MAS I69   | :Ignimbrite.....                  | 0.20    |
| MAS I71   | :Brèche de lave.....              | 6.20    |
| MAS I77   | :Rhyolite rose.....               | 0.84    |
| MAS I78   | :Rhyolite noire.....              | 0.65    |
| MAS I79   | :Granite.....                     | 0.89    |
| MAS I80   | :Granite.....                     | 0.50    |
| MAS I98 b | :Métatuf.....                     | 1.25    |
| MAS 201   | :Chlorito-schiste.....            | 2.60    |

suite.....

| ech.      | nature                         | % de PF |
|-----------|--------------------------------|---------|
| MAS 202   | :Méta roche verte.....         | 1.62    |
| MAS 204   | :Filon basique.....            | 0.64    |
| MAS 206   | :Lave claire écrasée.....      | 1.16    |
| MAS 209   | :Métatuf.....                  | 1.96    |
| MAS 211   | :Micro granite.....            | 0.30    |
| MAS 213   | ::Granite porphyrique.....     | 0.60    |
| MAS 215   | :Granite porphyrique.....      | 0.35    |
| MAS 220 a | :Tuf rubanné.....              | 1.32    |
| MAS 220 b | :Tuf rubanné.....              | 0.71    |
| MAS 222   | :Rhyolite.....                 | 0.64    |
| MAS 225   | :Rhyolite rose .....           | 0.64    |
| MAS 231   | :Granite alcalin.....          | 0.34    |
| MAS 237 a | :Diorite.....                  | 0.88    |
| MAS 237 b | :Micro diorite.....            | 1.13    |
| MAS 239   | :Granite alcalin.....          | 0.37    |
| MAS 250   | :Arkose grossière.....         | 0.59    |
| MAS 251   | :Métatuf.....                  | 1.70    |
| MAS 253   | :Métatuf.....                  | 7.43    |
| MAS 254   | :Métatuf détritique grossière: | 2.08    |
| MAS 256   | :Lave.....                     | 1.10    |
| MAS 258   | :Méta spillite.....            | 2.17    |
| MAS 259 b | :Roche verte.....              | 6.07    |
| MAS 259 d | :Métarhyolite.....             | 2.84    |
| MAS 260   | :Quartzite.....                | 1.05    |

suite.....

| ech.      | nature                            | de PF  |
|-----------|-----------------------------------|--------|
| MAS 262   | :Quartzique brechique.....        | : 1.70 |
| MAS 263-I | :Orthoamphibolite.....            | : 5.56 |
| MAS 264   | :Métatuf rhyolitique.....         | : 0.95 |
| MAS 265   | :Granite.....                     | : 0.83 |
| MAS 281-2 | :Amphibolite.....                 | : 1.37 |
| MAS 282   | :Amphibolite oriente.....         | : 2.16 |
| MAS 285   | :Gneiss à amphibole+chlorite..... | : 1.60 |

### ddPerles

Elle consiste à faire fondre l'échantillon en poudre (après PF) avec un fondant tel que le borate en lithium. Le produit en fusion est coulé sur une surface plane. On a ainsi des perles. La préparation pour obtenir les perles est comme la suivante:

On additione à l'échantillon calciné un mélange de carbonate de Li et d'acide borique qui joue le rôle fondant.

Echantillon X (PF) : 650 mg. + 650 mg. de carbonate de Li ( $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ) + 1.300 mg. de l'acide borique ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) = 2.600gr. de produit.

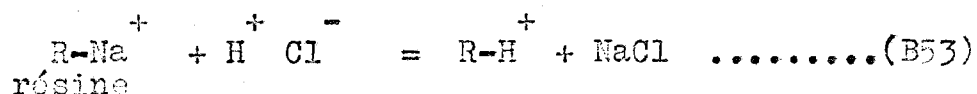
On les pèse dans la balance précise "Mettler H20 T" (fig. 2I) et le produit pesé après homogénéisation à la spatule pendant une minute est mis dans un creuset en graphite et introduit dans un four-à souffler à 1040°C pendant deux heures. (Pendant une heure et demie la température atteint à 1040°C et le produit reste une demie heure dans une température constante "1040°C").

On les laisse refroidir; ainsi on obtient les perles qui ont été broyées à vibro-broyeur (porphyrisation) pendant 20 second.

La préparation et porphyrisation des perles de 50 échantillons ont duré presque 4 jours.

#### e) Préparation des résines

La perle broyée est dissoute dans une solution d'acide nitrique à la quelle on ajoute une résine cationique. La résine étant "Amberlite CC I20" (100-200 mesh) fixe les cations en solution. La résine dans la commerce est sous forme de  $\text{Na}^+$ . D'abord on lave la résine avec HCl. (1 kilo de résine avec 10 l. HCl 5N). La réaction de lavage est la suivante:



Ensuite les résines sont lavées à l'acétone (2 ou 3 fois). Et on les laisse à se refroidir presque 2 jours.

On prend : 600 mg de perle broyée

10 ml d'acide nitrique à 3% (0.07 N)

200 ml d'eau distillée

5.5 gr. de résine d'amberlite 100/200 mesh.

On fixe 600 mg de l'échantillon sur 5.5 gr. de résine; on agite pendant 3 heures. On laisse décantier et on jette le liquide au dessus du bechoir, on rince les graines de résine ayant les cations fixées sur leur périphérie. Cette résine est séchée à l'étuve à 110°C pendant une nuit. (Fig. 23).



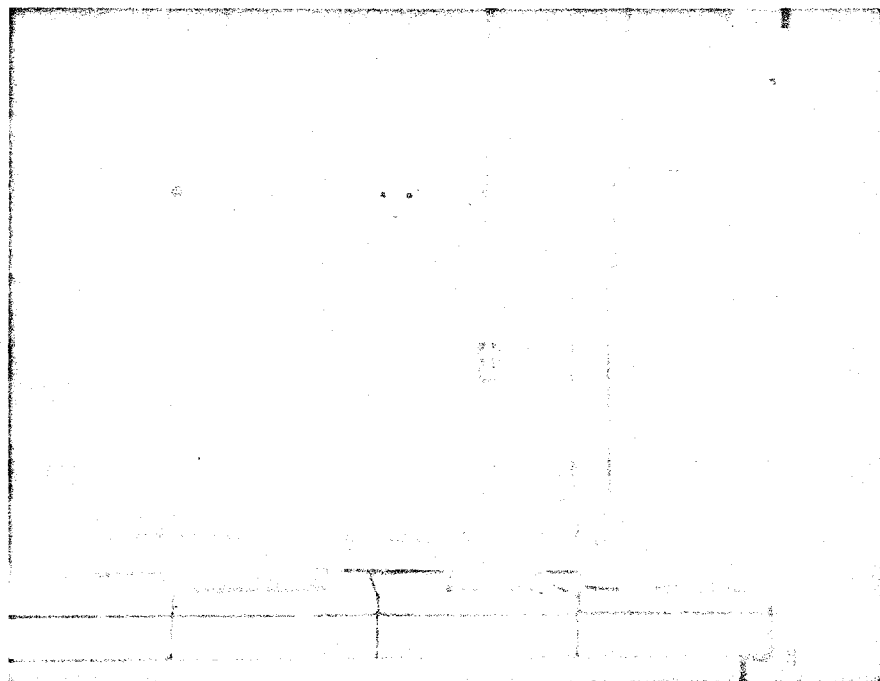


FIGURE 23 : AGITEUR - DECANTEUR

"Labo. de petrologie à Nancy "

Les graines de résines après séchage ont été déposées sur un papier collant de genre "scotch" de façon à avoir une seule couche de grains de résine à présenter au spectromètre X.

On se sert d'un porte d'échantillon représenté dans la figure 24.

(Fig.24). Ensuite on dépose ces portes d'échantillon dans le spectromètre X et on commence le dosage que l'on va étudier dans les chapitres suivantes. Les pastilles graphites dans la porte d'échantillon (voir la fig.24) servent à absorber le RX; on choisit le graphite pour ne pas être gêné par ses raies caractéristiques. Fixation des cations sur résines présente l'avantage de supprimer les effets de granulométrie et les effets minéralogiques qui sont des facteurs influant l'intensité. Les effets de matrice et inter-élément sont pratiquement supprimés. Parce que:

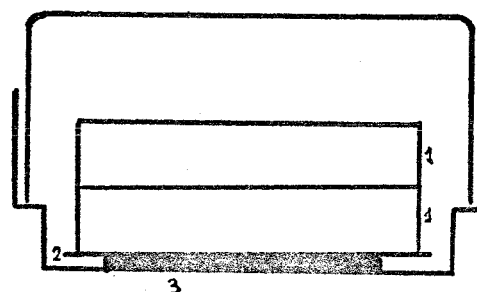
- l'analyse est superficielle, il n'y a qu'une seule couche de graines de résine. Les éléments réagissent peu les uns sur les autres.

- la matrice est constituée de résine c-à-d d'atomes C, H, O, N très peu absorbants.

### BIII-3-Description du spectrométrie X et l'accessoire utilisés

pendant l'analyse par RX-----

Le spectromètre X séquentiel SRS est un spectromètre pouvant être complété jusqu'au fonctionnement automatique et servant à l'analyse des éléments à partir de numéro atomique 9 "F". Pour le fonctionnement du tube à RX, il est recommandé d'utiliser un générateur de RX de type KRISTALLOFLUX 4 Siemens. Et un amplificateur d'impulsion a pour rôle d'amplifier les impulsions produites-



- 1- Pastilles de graphites    2- Papier scotch  
3- Grains de résine

Schema d'un porte echantillon

FIGURE 24- PORTE D'ECHANTILLON.

par le compteur et enfin une commande par tabulateur étant une commande automatique pour le SRS.

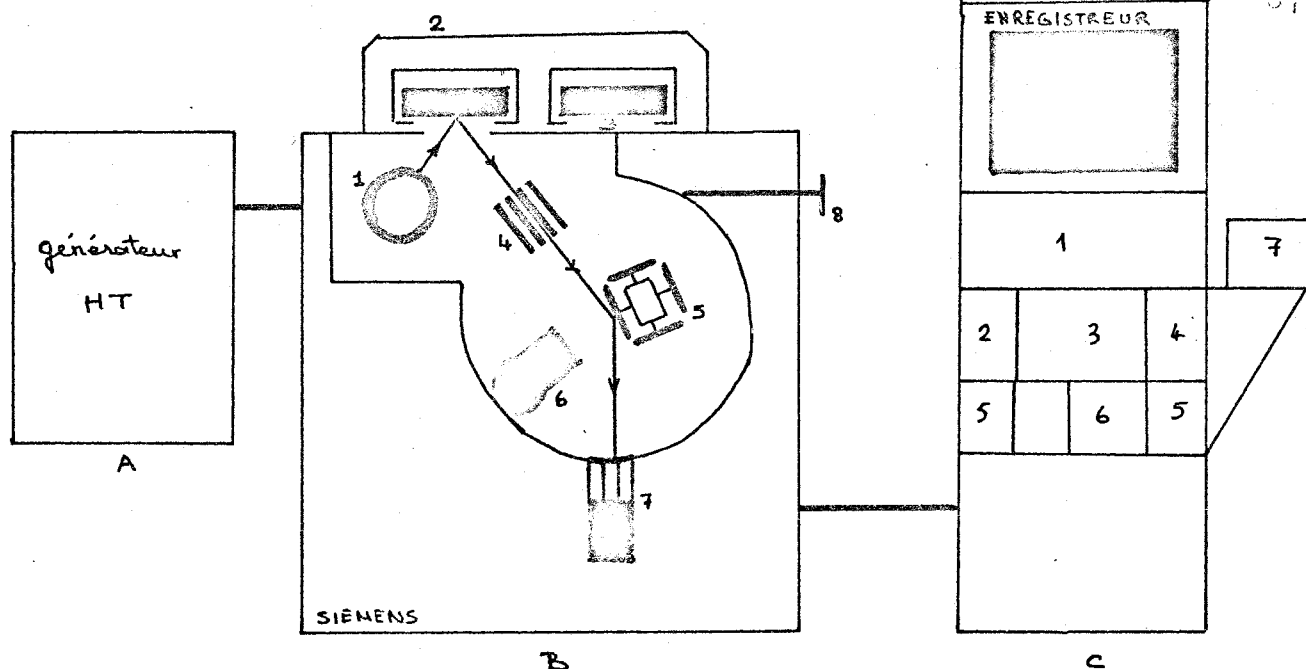
#### a) Spectromètre séquentiel SRS à RX

Il permet de faire des analyses "element par element". Il est équipé d'un tube X à anticathode de Cr (AG Cr6I) alimenté par un générateur Cristalloflex 4 délivrant une haute tension continue. (Fig.25). Dans le SRS, le goniomètre et spectromètre constituent un ensemble monté dans un bâti de table en acier. Il se couvre par une table sur laquelle se trouve le passeur d'échantillons. L'échantillon introduit dans le passeur d'échantillon, face de mesure est tournée vers le bas. Le passage d'un échantillon à l'autre est automatique. L'ensemble -échantillon, cristal et compteur- est sous vide. (Fig.25). Le tube à RX à axe horizontale irradie, de dessous, la surface de l'échantillon placé horizontalement. La distance moyenne entre foyer-échantillon est de 25 mm. On utilise les tubes de haute puissance de type AG 6I de l'anticathode de chrome.

Le rayonnement X caractéristique secondaire émis par l'échantillon est diaphragmé par un collimateur (fentes de Sollers) et est réfléchi par un cristal suivant un angle variante en fonction de  $\lambda$  (puisque  $d$  connue). L'appareil est équipé de quatre cristaux.

-PET, MAP, LIFIOO, LIFIOO.--. Le passage de l'un à l'autre s'effectue automatiquement par la rotation de leur support. (fig.25)

L'intensité des raies caractéristiques spectrales est enregistrée par un compteur à flux gazeux alimenté par un mélange de "Ar+IO<sub>2</sub>CH<sub>4</sub>" ou par un compteur à scintillation. Le compteur à flux gazeux est à l'intérieur de l'enceinte spectrométrique pouvant être mise sous vide. Le compteur à scintillation est monté à l'extérieur, derrière une



A - Générateur Kristalloflex 4

B - SRS - SIEMENS

1. TUBE X  $\alpha$  Cr
2. PASSEUR D'ECHANTILLONS
3. ECHANTILLONS
4. COLLIMATEUR
5. CHANGEUR DE CRISTAL
6. COMPTEUR À FLUX GAZEUX
7. " À SCINTILLATIONS
8. COMMANDE MANUELLE D'ÉGLAGE ANGULAIRE

C - LA BAIE - COMMANDE TABULATEUR

1. TABULATEUR
2. SPECTROSCOPE À IMPULSIONS
3. CHAÎNE DE COMPTAGE
4. INTÉGRATION
5. ALIMENTATION DES COMPTEURS
6. RÉGLAGE DE LA FENÊTRE DISCRIMINANTE
7. IMPRIMANTE

FIGURE 25 - ENSEMBLE DE L'APPAREIL TERMINÉ EN FX.

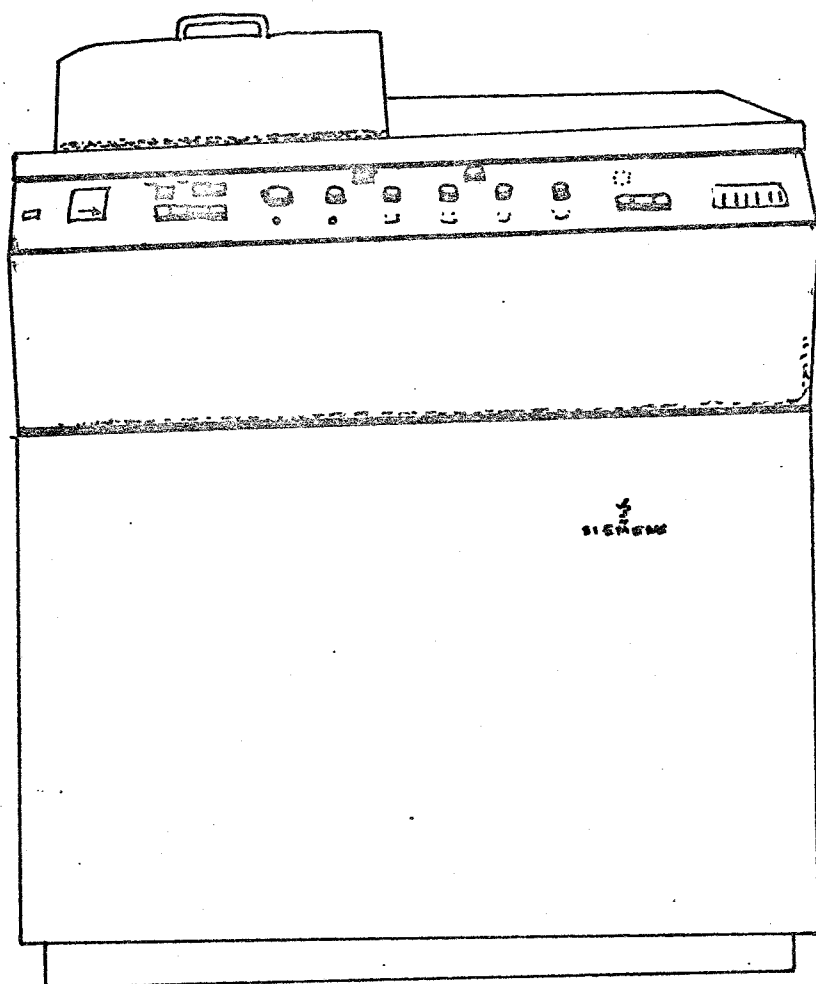
GÉNÉRATEUR - SPECTROMÉTRIE X - COMMANDE TABULATEUR

fenêtre d'hostaphan de 0.12 mm. d'épaisseur; Comme le compteur à flux gazeux réagit aux variations de pression externe par une modification de l'amplification. Le SRS peut être équipé d'une stabilisation de pression du gaz compteur. Pour l'alimentation en air comprimée on utilisera soit un compresseur soit de l'air comprimé sec. On amplifie les impulsions produites par compteurs, par un amplificateur d'impulsion.

Al'avant de la table de spectromètre X se trouve "la pupitre de command (Fig.26). Le passage de l'entraînement motorisé à l'entraînement manuelle s'effectue par pression sur la touche "Hand"(no°=18 de fig.26) La lecture de 2° s'effectue sur un totalisateur et sur un tambour gradué placé derrière une fenêtre percée dans la table.(no°=6 de fig.26) On peut amener en position de mesure, l'un des 4 cristaux analyseurs montés sur le porte cristaux par l'intermédiaire du selecteur no°11. Les collimateurs "fentes de Sollers" sont mises en position de mesure par le bouton no°10. Entre le tube à RX et l'échantillon, on peut monter sur le trajet du faisceau, un passeur de diaphragme et de filtre. Tous les deux sont amenés sur le trajet par le commutateur du pupitre (Blende/filter). Dans notre analyse, on n'a pas utilisé le filtre. Avec le bouton no°3 les compteurs à flux gazeux ou à scintillation sont placés en position de mesure. Les autres indications sur la pupitre sont indiquées dans la page 70. Caractéristiques techniques de SRS sont les suivantes:

-Domaine angulaire avec

- ° un compteur à scintillation : 2 = 0 à 117°
- ° un compteur à flux gazeux : 2 = 0 à 147°



SPECTROMETRIE  
SEQUENTIEL  
A  
RX SRS  
SIEMENS

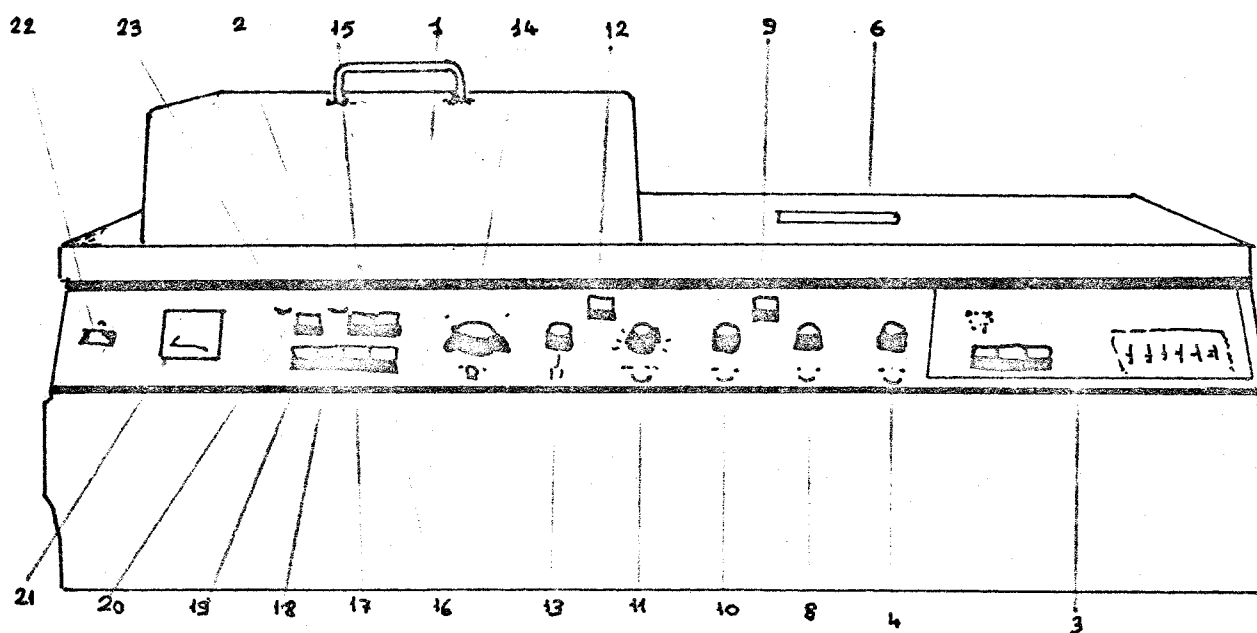


FIG. 26-

PUPITRE DE COMMANDE DU SRS

LEGEND DE LA FIGURE 26 "page 69":

- no°= 1 :Boitier du passeur d'echantillons.
  - no°= 2 :Lampe témoin du vide dans l'enceint.
  - no°= 3 :Partie centrale de commande.
  - no°= 9 :Touche de programmation.
  - no°=12 :Touche de mise sous tension.
  - no°=13 :Interrupteur marche-arrêt pour la rotation de cristal.
  - no°=15 :Touches pour la mise en position de mesure de l'echantillon.
  - no°=16 :Touche de mise en marche du positionnement angulaire.
  - no°=19 :Touche de commutation de la jauge à vide.
  - no°=20 :Touche marche-arrêt de l'automatique du vide.
  - no°=21 :Jauge à vide.
  - no°=22 :Lampe témoin de mise sous tension du tube à RK.
  - no°=23 :Lampe témoin du vide dans le sas echantillon.
- RE:Les autres indications ont été expliquées dans les pages precedents.  
 "pages 68 - 69 ".

-----



suite de page 68:

2Vitesse angulaire ( $2\theta/\text{min.}$ ) :  $1/8, 1/4, 1/2; 1, 2, 4, 300$ .

-Tube à RX : Cr , Au , Mo , W .

-Charges max. des tubes :

° AG Cr 6I = 2600W

°AG (Mo,W) 6I = 3600W.

-Distance moyenne "echantillon-foyer" = 26mm.

-Dimension max. porte-echantillon = 53.5 mm. de diamètre.

-Vitesse de rotation de l'echantillon = 6.5 tr/min.

-Intervalle de temps entre introduction de l'echantillon  
et le début de mesure = 10 sec.

-Passe-cristaux = 4 cristaux.

-Cristaux analyseurs = LIF 100

LIF 110

HP (Adp)

PMT

"voir les caractéristiques de ces quatre  
cristaux analyseurs dans la page 73."

-Collimateur : Fente de Sollers "angle d'ouverture =  $0.15^\circ$

$0.4^\circ$

6Compteurs :

°Compteur à scintillation

°Compteur à flux gazeux.

-Dimension :

°Largeur = 620 mm.

°Hauteur = 910 mm. (rapporté à la surface  
de table.)

°Hauteur = 1010 mm. (y compris le passeur  
d'echantillon.).

°Profondeur = 800 mm.

-Poids :

°SRS avec dispositif vide = 330 kg.

°SRS sans dispositif vide = 305 kg.

#### b) Générateur Kristalloflex 4 Siemens

Il alimente le tube à RK à anodicathode de chrome sous une haute tension. (Fig.27). et (Fig.28-29).

Caractéristiques techniques sont les suivantes:

-Puissance fournie : 4 KW max. type S4

2 KW max. type S2.

-Consommation max. de courant: 27 A "S4" ; 20 A "S2"

-Haute tension : 20 à 60 KV.

-Ondulation de la haute tension : 40 V/mA.

-Alimentation du secteur : 220 , 240 V ; 50 ou 60 Hertz.

-Courant d'émission des tubes RK : 5 à 50 mA.

-Charge au sol = 400 kg/m<sup>2</sup>.

-Surface de la table : 1456 mm. x 725 mm.

Poids : 412 kg.

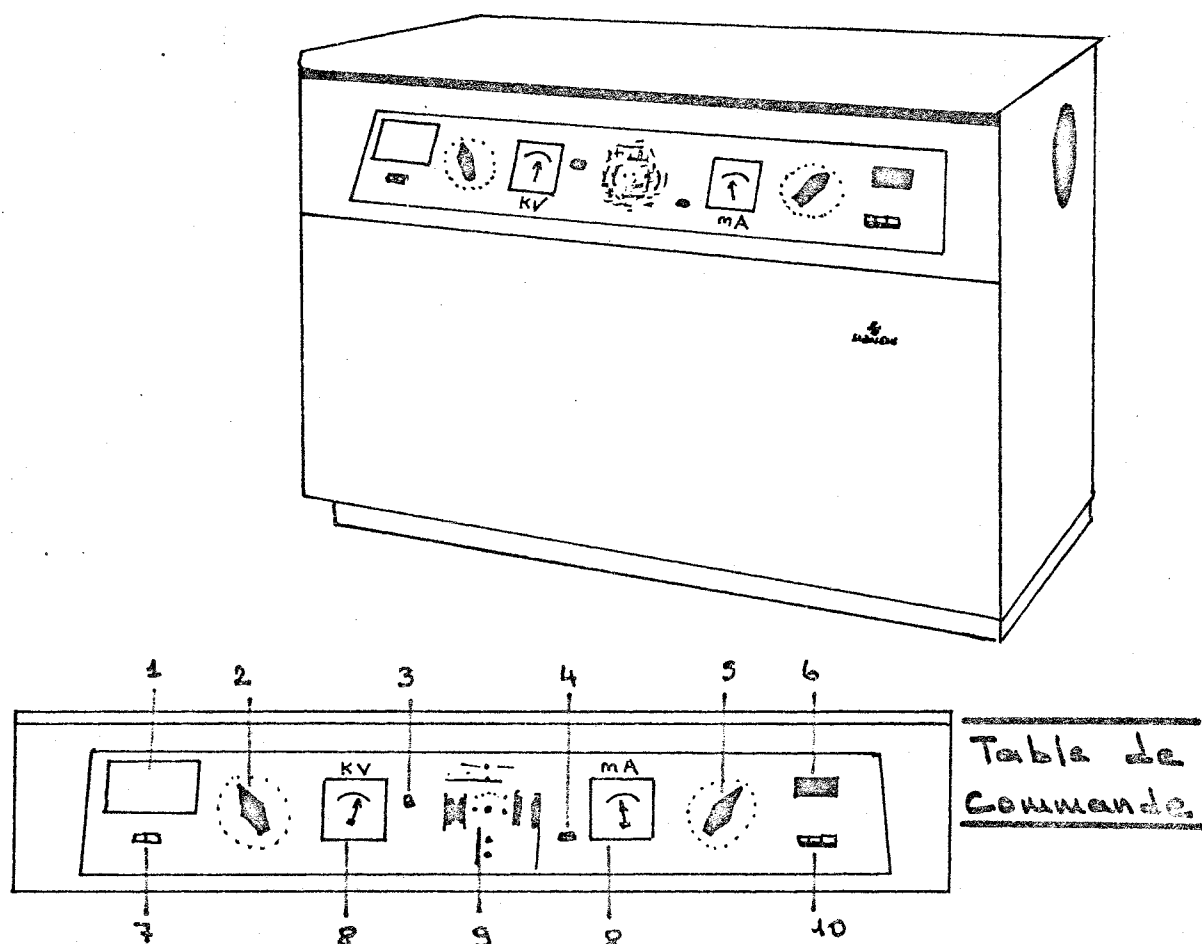
#### c) Commande par tabulateur

Un tabulateur permet avant chaque série d'analyse pour chaque élément à doser, de presélectionner le cristal et l'angle de diffraction correspondant à la raie de dosage choisie ainsi que le compteur, le temps de comptage, l'ordre de réflexion, l'angle d'ouverture du collimateur.

## CARACTERISTIQUES DES CRISTAUX ANALYSES PAR UTILISEES:/

Tableau n° 5 :

| Cristal                                | formule       | plan réticulaire<br>hkl | rayonnement<br>propre |
|----------------------------------------|---------------|-------------------------|-----------------------|
| Fluorure<br>de lithium<br>"taille IIO" | : LiF         | (220)                   | -                     |
| Fluorure de lithium<br>"taille IOC"    | LiF           | (200)                   | -                     |
| PET<br>pentaérythrite                  | $C(CH_2OH)_4$ | (002)                   | -                     |
| KAP (phtalate<br>acide de potassium)   | $KHC_8H_4O_4$ | (100)                   | K                     |



## GENERATEUR DE RX KRISTALLOFLEX 4

### LEGENDE

- |                                                                       |                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1. Tableau de charge pour tube RX                                     | 5. Selecteur à plots en mA                               |
| 2. Selecteur en plots en KV                                           | 6. "Voyant Lumineux" Haute Tension                       |
| 3. Interrupteur de contrôle                                           | 7. Selecteur à touches pour le choix du poste de travail |
| 4. Reglage fin de mA.                                                 | 8. Indicateur en KV et en mA                             |
| 9. Minuterie                                                          |                                                          |
| 10. Selecteur à touches pour le choix de la nature du fonctionnement. |                                                          |

FIGURE 27.

30cm.

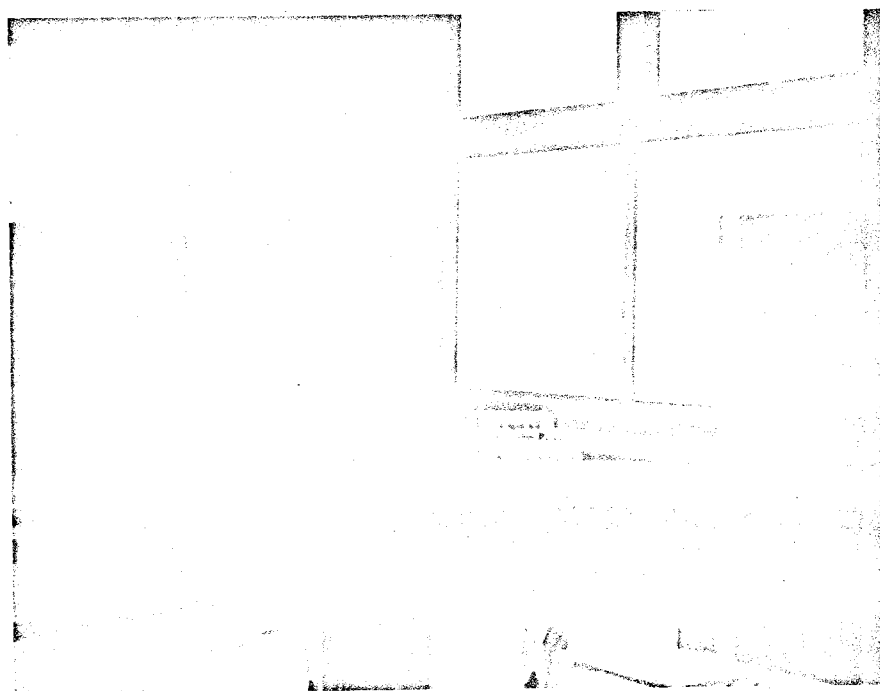


FIGURE 28 -L'ENSEMBLE DE SPECTROMETRE A FX.

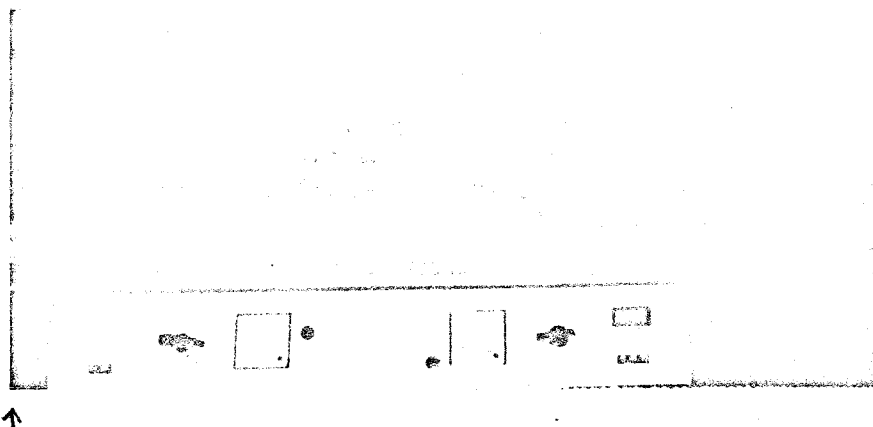
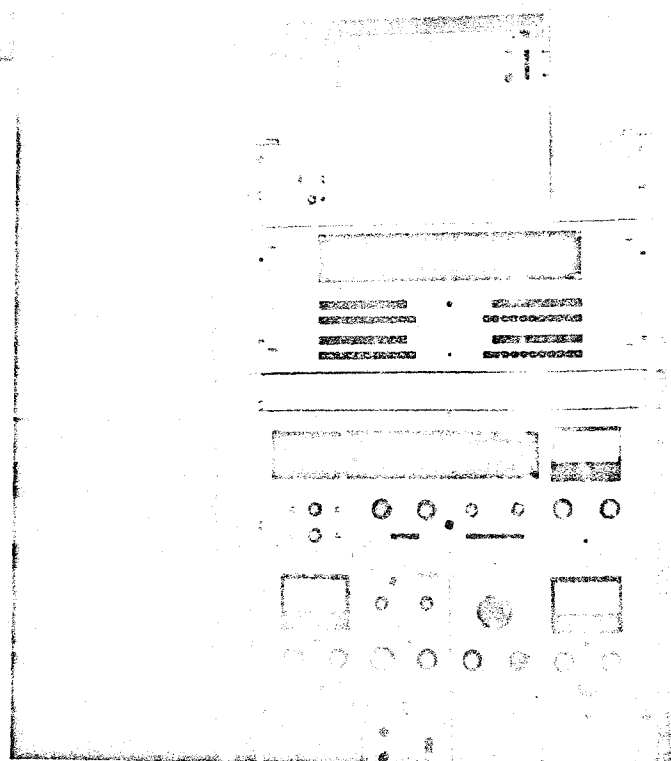


Fig.29/1-Générateur Kristalloflex 4 Siemens.

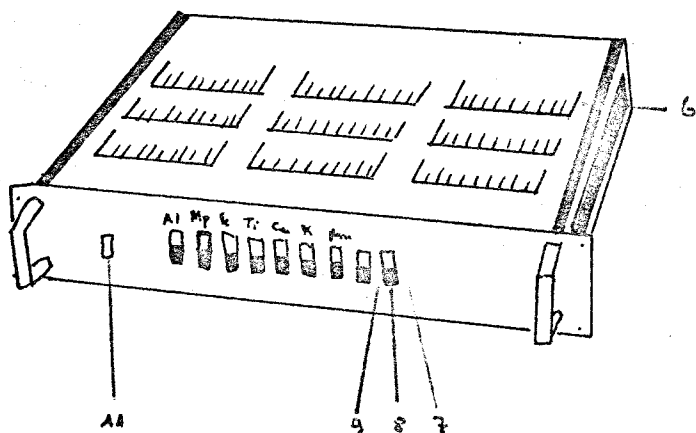
← Fig.29/2 - Spectrométrie  
séquentiel 700 Å.

Fig.29/3-Commande par  
Tabulateur.



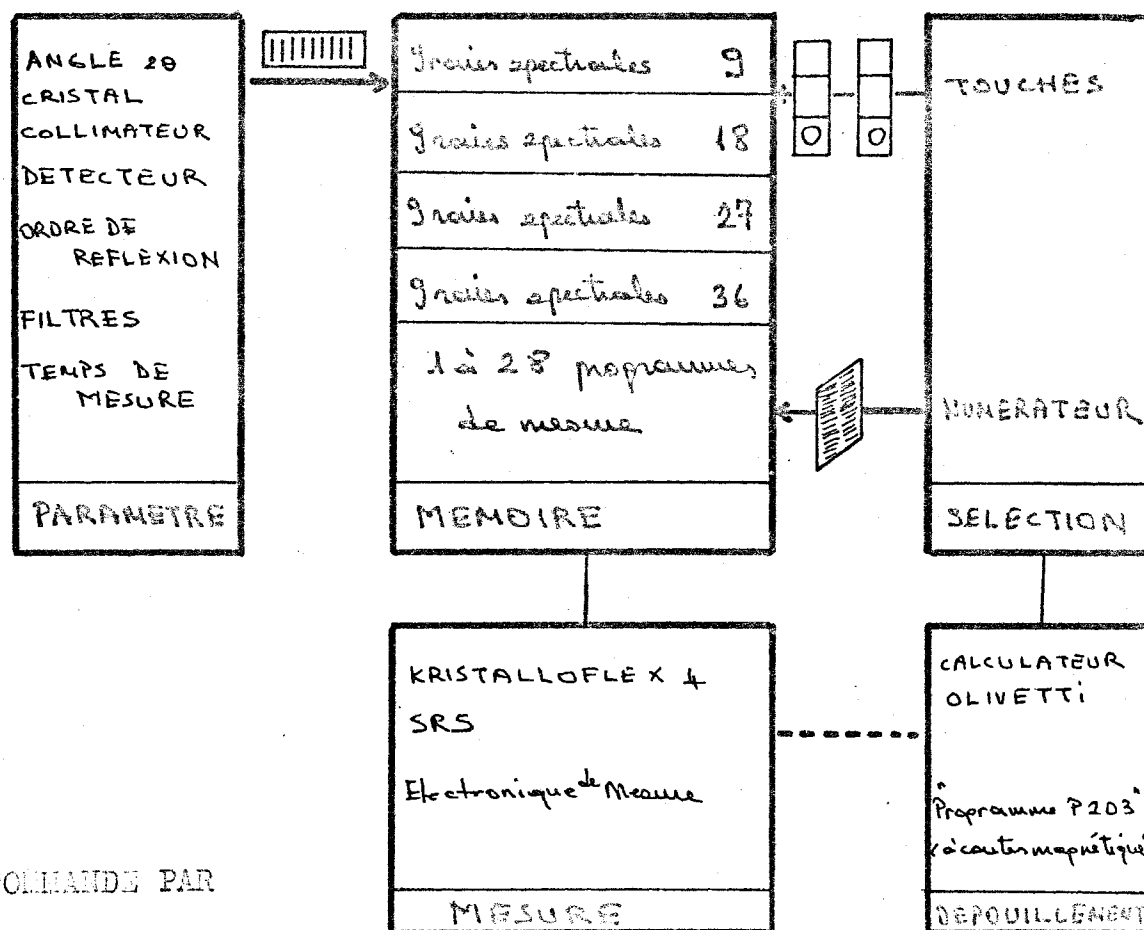
LEGEND

- 6 - Groupe d'unimateurs pour une raie spectrale  
 7 - Indicateur de la raie spectrale choisie (Blanc)  
 8 - Bouton-poussoir pour le choix d'une raie  
 9 - Indicateur de la mesure en cours (rouge)  
 11 - Bouton-poussoir pour effacer les raies spectrales choisies manuellement.



### TIROIR TABULATEUR DU PROGRAMMATION

### SCHEMA DE FONCTIONNEMENT DE LA COMMANDE PAR TABULATEUR POUR SRS.



IG.30-COMMANDE PAR  
TABULATEUR.

"suite de la page 72"

La commande par tabulateur est une commande automatique pour le SRS lors de la quelle toutes les instructions sont mises en mémoire à l'aide de registre et transmise à l'unité de mesure par l'intermédiaire d'un câblage fixe? (hardware) On peut citer 7 avantages de la commande par tabulateur:

- Analyse rapide et sûr
- Programmation claire
- Manipulation très simple
- Application universelle
- Adaptation rapide
- Extension par étapes

-Dépouillement automatique par raccordement d'un appareil de dépouillement couramment utilisée (Calculateur Olivetti F203).

Le tabulateur de programmation est composé des sous ensembles suivants:

- |                                                |                                                   |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Dans le spectromètre ppd. :                    | °Unité de lecture angulaire.                      |
|                                                | °Unité central de commande.                       |
| Dans la baie contenant l'électronique mesure : | °Tiroir de commande angulaire                     |
|                                                | °Tiroir d'alimentation "introduire 20 plaquettes" |
|                                                | °Tiroirs tabulateurs.                             |

1°-Unité de lecture angulaire: Consiste en un émetteur d'impulsions électro-optiques monté sur l'axe 20 pour le comptage de l'angle.

2°-Tiroir de commande angulaire: (Fig.30). Ce tiroir commande le positionnement angulaire par comptage et contrôle de l'angle



Les impulsions provenant de l'unité de lecture sont comptées et comparées à la valeur de consigne angulaire, programmées à l'aide des numérateurs. Le positionnement angulaire s'effectue à la vitesse de  $300^\circ/\text{mn.}$  jusqu'à une valeur programmée. Ensuite la vitesse diminue à  $4^\circ/\text{mn.}$  pour effectuer le réglage précis à la valeur programmée.

3°-Tiroir d'alimentation : Contient les alimentations du tiroir de commande angulaire, de l'unité de lecture et de tiroir tabulateur de programmation.

4°-Tabulateur de programmation: Dans la baie de mesure on peut placer 1 à 4 tiroirs tabulateurs ce qui correspondent à 9 à 36 raies spectrales programmables. Le tabulateur comporte les unités nécessaires à la programmation des commandes de positionnement. Chaque tiroir possède neuf numérateurs avec chacun neuf positions. (Fig. 50). Chaque numérateur est relié à l'une des neuf lampes témoins des touches correspondantes de la plaque frontale. avec les numérateurs on peut programmer des mesures suivantes pour neuf raies spectrales:

- numéro des molettes du numérateur -

| I                                                 | 2                                                                               | 3                                                                                                     | 4 à 9                                                                          |
|---------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Temps de mesure<br>(9 valeurs)<br>de 4 à 400 sec. | Cristal<br>analyseur<br>( 4 cris.)<br>+<br>ordre de<br>reflexion<br>(2 valeurs) | Compteurs<br>(2 possibilités)<br>+<br>Collimateurs<br>(0.15 et 0.4 )<br>+<br>Filtres<br>(3 positions) | Angles $2\theta$<br>6 positions<br>avec trois<br>chiffres après<br>le virgule. |

-----

Le spectromètre SRS comporte un amplificateur sinusoïdale, couplé à la commande angulaire et sert à ramener la répartition énergétique des impulsions dans la même fenêtre et réaliser une discrimination automatique. On peut programmer le canal du discriminateur en renonçant à la commande d'un autre paramètre. Les boutons-poussoirs de commutation de la plaque frontale servent à choisir les raies spectrales que l'on veut programmer (n°°=8 de fig.30). Les lampes blanches (7 de fig.30) correspondant au contrôle des raies spectrales choisies s'allument. Pendant la mesure, une lampe rouge (9 de fig.30) de contrôle s'allume lorsque la raie correspondante est mesurée. Le programme peut être effacé par l'intermédiaire de la touche n°°=II (fig.30) existant sur chacun des tiroirs de programmation.

5°-Unité centrale de commande: Montée dans la pupitre du SRS. Le programme de mesure est commencé en appuyant sur la touche "start". (n°°=3 de fig.26). Pendant toute la mesure, la lampe signal "marron" reste allumée. L'unité centrale de commande attend une impulsion de fin de positionnement du spectromètre puis libère le compteur d'impulsion et de temps pour la mesure. L'utilisation de la touche "Le Löschen" (effacement) permet d'interrompre le cours d'un programme, la mesure en cours est arrêtée et la baie de mesure est mise en position initiale.

#### DIII-4-Choix de différents paramètres - Conditions opératoires et réglages de l'appareil -----

On a sept éléments à doser qui sont les suivants:

Al , Fe , Ag , Ti , Mn , Ca , K .

##### a) Choix des paramètres pour réaliser analyse:

1°-Choix de tube : On a vu que le rayonnement du tube doit avoir une longueur d'onde légèrement plus courte que la discontinuité d'absorption de l'élément à doser pour que son absorption par effet photo-électrique soit le plus grand. Cela nous conduit lorsqu'on utilise la raie  $K\alpha$  du tube, à prendre une anodicathode plus lourde que l'élément à doser dans le cas où la raie de dosage est aussi la raie  $K\alpha$ .

Un tube à RX à anodicathode de Cr ( $Z=24$ ) alimenté avec une tension de 55 KV donne un spectre d'émission ayant la raie  $K$  du Cr vers une  $\lambda_{K\alpha Cr} = 2.2 \text{ \AA}$  convenant pour exciter les raies  $K$  des éléments jusqu'à Ag ( $Z=47$ ) ( $\lambda_K = 0.49 \text{ \AA}$ ). De ce raisonnement, on a choisi pour l'analyse un tube RX à anodicathode de Cr parmi les autres anodicathodes.

Parce que nous avons des éléments à doser ayant  $Z < 47$ .

2°-Choix de cristaux analyseurs: On a vu qu'un cristal à grande valeur de "d" conduit à des angles de diffractions  $\theta$  petits. On a un moins bon pouvoir dispersif. Il est possible d'avoir avec le même cristal, plus d'éléments mais pour les éléments lourds, la dispersion est insuffisante. Par exemple: Les raies  $Mn_{K\beta}$  et Fe " $K\alpha$ " distinguées avec un cristal HIF ( $d=2.01 \text{ \AA}$ ) mais elles sont confondues avec un cristal de graphite ( $d=1.89 \text{ \AA}$ ). Donc il faut choisir un cristal ayant "d" voisin de longueur d'onde du rayonnement à étudier.

Nous, on a choisi 4 cristaux analyseurs pour les raies des différents éléments. Ce sont :

22

11.3.1

-111 (111) : "Proton de l'hydrogène"  $A=1,01 A^0$ -112 (112) : "Neutron de l'hydrogène"  $A=1,01 A^0$ -113 (113) : "Proton de l'hydrogène"  $A=1,01 A^0$ -114 (114) : "Neutron de l'hydrogène"  $A=1,01 A^0$ -115 (115) : "Proton de l'hydrogène"  $A=1,01 A^0$ -116 (116) : "Neutron de l'hydrogène"  $A=1,01 A^0$ 

"voir la page 11.3.2"

11.3.2 Les données pour les éléments légers ( $Z=1, 2, \dots$ ).Les données pour les éléments légers ( $Z=1, 2, \dots$ ) sont les suivantes :

Les données pour les éléments légers ( $Z=1, 2, \dots$ ) sont les suivantes :

Les données pour les éléments légers ( $Z=1, 2, \dots$ ) sont les suivantes :

11.3.3 Les données pour les éléments légers ( $Z=1, 2, \dots$ ).Les données pour les éléments légers ( $Z=1, 2, \dots$ ) sont les suivantes :Les données pour les éléments légers ( $Z=1, 2, \dots$ ) sont les suivantes :Les données pour les éléments légers ( $Z=1, 2, \dots$ ) sont les suivantes :11.3.4 Les données pour les éléments légers ( $Z=1, 2, \dots$ ).Les données pour les éléments légers ( $Z=1, 2, \dots$ ) sont les suivantes :11.3.5 Les données pour les éléments légers ( $Z=1, 2, \dots$ ).Les données pour les éléments légers ( $Z=1, 2, \dots$ ) sont les suivantes :Les données pour les éléments légers ( $Z=1, 2, \dots$ ) sont les suivantes :Les données pour les éléments légers ( $Z=1, 2, \dots$ ) sont les suivantes :Les données pour les éléments légers ( $Z=1, 2, \dots$ ) sont les suivantes :Les données pour les éléments légers ( $Z=1, 2, \dots$ ) sont les suivantes :

b) Conditions opératoires :

1°-Conditions identiques pour 7 éléments:

-Condition d'alimentation: de tube ARK par le générateur pour tous les éléments :

° Tube : Cr

° 55 HV ; 48 ml ; 2400 Watt.

-Le temps de comptage est constant :  $t=20^{\circ}$ .

-Raies de dosage : raie  $K\alpha$  (car  $Z < 50$ ).

-On les programme avec des numérateurs de la commande par tabulateur.

Extension des compteurs :

° 1635 V pour le compteur à flux gazeux.

° 1250 V pour le compteur à scintillation.

2°-Conditions différentes pour les 7 éléments:

Le tableau ci-dessous résume les conditions opératoires pour chaque élément.

NB: Bien entendu que le tableau ci-joint ne montre pas les conditions identiques pour les 7 éléments, puisque l'on vient de les parler.

**TABLERAU:**

Légend :

° FG : Compteur à flux gazeux

° CS : Compteur à scintillation.

°  $0.4^{\circ}$ - $0.15^{\circ}$  : L'angle d'ouverture de fentes de  
Sollers.

TABLEAU : n° 6 :

| elements | Z    | $\lambda_{K\alpha}$ en Å | cristal<br>analyseur | compteurs | angle de<br>collimateur | 2 $\theta$ ° |
|----------|------|--------------------------|----------------------|-----------|-------------------------|--------------|
| Al       | : 13 | 8.34                     | KAP et PET           | FG        | 0.4 °                   | 36.495       |
| Mg       | : 12 |                          | KAP                  | FG        | 0.4°                    | 43.500       |
| Fe       | : 26 | 1.94                     | LIF 100              | CS        | 0.15°                   | 57.490       |
| Ti       | : 22 | 2.75                     | LIF 100              | FG        | 0.4°                    | 86.175       |
| Mn       | : 25 |                          | LIF 100              | FG        | 0.4°                    | 95.490       |
| Ca       | : 20 | 3.36                     | LIF 100              | FG        | 0.4°                    | 113.105      |
| K        | : 19 |                          | PET                  | FG        | 0.4°                    | 136.702      |

c) Réglages de l'appareil :

I°-Programmation : Les 7 numérateurs de la tabulateur correspondant à 7 raies spectrales caractérisant les 7 éléments à doser "Al, Mg, Fe, Ti, Mn, Ca, K" ayant chacun 9 positions ont été programmés à partir des conditions citées ci-dessus pour ces 7 éléments. Les paramètres de mesure pour chaque numérateur ont été établies dans le tableau ci-dessous

Légend :

Codifications :

Les cristaux analyseurs :

- ° LIF 100 = 1
- LIF 110 = 2
- PET = 3
- KAP = 4

-compteurs :

° FG = 1

CS = 2

-collimateurs :

° 0.15 = 1

0.4 = 2

NB: La codification a été réalisée de nous pour faciliter la lecture du tableau.

Tableau n° 7 :

| Positions               | :                            | I        | 2                       | 3                  | 4 à 9        |                       |  |
|-------------------------|------------------------------|----------|-------------------------|--------------------|--------------|-----------------------|--|
| Paramètres              | : t. de<br>mesures.-<br>sec. | C.A<br>4 | +ordre<br>de -<br>repl. | Comp.+Coll.<br>2 2 | +Filtre<br>3 | 4+5+6+7+8+9<br>-      |  |
| Al : 1ère<br>numérateur | : 20                         | 4        | K                       | I                  | 2            | - 0 3 6 4 9 5         |  |
| Mg : 2ème " "           | : 20                         | 4        | K                       | I                  | 2            | - 0 4 3 5 0 0         |  |
| Fe : 3ème " "           | : 20                         | I        | K                       | 2                  | I            | - 0 5 7 4 9 0<br>6574 |  |
| Ti : 4ème " "           | : 20                         | I        | K                       | I                  | 2            | - 0 8 6 1 7 5         |  |
| Mn : 5ème " "           | : 20                         | I        | K                       | 2                  | 2            | - 0 9 5 4 9 0         |  |
| Ca : 6ème " "           | : 20                         | I        | K                       | I                  | 2            | - 1 1 3 1 0 5         |  |
| K : 7ème " "            | : 20                         | 3        | K                       | I                  | 2            | - 1 3 6 7 0 2         |  |

2°-Réglage de largeur de la fenêtre de discrimination-

de l'énergie : Il faut que la raie de dosage soit comprise dans la fenêtre, sans pour cela qu'il y ait d'autres rayonnements parasites. On prend une largeur de la fenêtre double de la longueur à mi-hauteur de la raie, ainsi un léger décalage de la raie affectée par les comptages.

### BIII-5- Dosage des éléments et dépouillement des mesures-----

#### a) Processus de dosage :

Les étalons de composition connue et les échantillons préparés ont été placés dans le poussoir de l'échantillon. Quand tous les appareils sont en ordre de marche, que la touche "programme" a été enclenchée et que les raies spectrales désirées ont été affichées par les touches correspondantes de tabulateur. Le départ de la mesure se fait en appuyant sur la touche "start" de l'unité central de commande. Alors les commandes de mise en place sont données automatiquement aux différents organes ainsi qu'au positionnement angulaire. Le spectromètre contrôle son zéro et prend la première valeur angulaire programmée. L'unité central de commande reçoit un signal de fin de mise en place de chacun des paramètres de mesure et la mise en place de chacun des paramètres du magasin dans le passeur d'échantillon. Il donne alors l'ordre de départ pour la première mesure. Ainsi on peut lire dans l'appareil électronique, la valeur de l'impulsion par une unité de second (20 second) pour élément que l'on dose. A la fin de mesure, les résultats sont prises en charge par l'imprimante qui les transcrit; enfin fin d'opération elle envoie un signal au tabulateur. Sur l'imprimante, les touches "Auto. Null" et "Zähler Start" peuvent être enclenchées. Il en résulte que le numéro suivant de mesure choisie est automatiquement pris en mémoire et la mesure correspondante démarre. Après la dernière mesure, la lampe "Messung" de l'unité central de commande s'éteint. En effet lorsque la série d'analyse est lancée, le spectromètre se règle automatiquement sur le premier élément et effectue les dosages successifs sur les 10 échantillons. (Standarts + échantillons). Les résultats pour cet élément qu'il s'agit ont été transcrits par un imprimante. (Fig. 3I). et (Fig. 3I bis.). Ensuite le spectromètre se règle sur le deuxième élément et il effectue les dosages sur les mêmes



**RAPPORT DE STAGE DE D.E.A.**

**AHMET SEVKET CATAKLI**

**La page 87 n'existe pas dans  
L'original.**

|    |      |     |                |
|----|------|-----|----------------|
| 0  | 0000 | DRN | DRN            |
| 1  | 0000 | UBN | UBN            |
| 2  | 0000 | GA  | GA "standarts" |
| 3  | 0000 | GH  | GH             |
| 4  | 0000 |     |                |
| 5  | 0000 |     |                |
| 6  | 0000 |     |                |
| 7  | 0000 |     |                |
| 8  | 0000 |     |                |
| 9  | 0000 |     |                |
| 10 | 0000 |     |                |
| 11 | 0000 |     |                |
| 12 | 0000 |     |                |
| 13 | 0000 |     |                |
| 14 | 0000 |     |                |
| 15 | 0000 |     |                |
| 16 | 0000 |     |                |
| 17 | 0000 |     |                |
| 18 | 0000 |     |                |
| 19 | 0000 |     |                |
| 20 | 0000 |     |                |
| 21 | 0000 |     |                |
| 22 | 0000 |     |                |
| 23 | 0000 |     |                |
| 24 | 0000 |     |                |
| 25 | 0000 |     |                |
| 26 | 0000 |     |                |
| 27 | 0000 |     |                |
| 28 | 0000 |     |                |
| 29 | 0000 |     |                |
| 30 | 0000 |     |                |
| 31 | 0000 |     |                |
| 32 | 0000 |     |                |
| 33 | 0000 |     |                |
| 34 | 0000 |     |                |
| 35 | 0000 |     |                |
| 36 | 0000 |     |                |
| 37 | 0000 |     |                |
| 38 | 0000 |     |                |
| 39 | 0000 |     |                |
| 40 | 0000 |     |                |
| 41 | 0000 |     |                |
| 42 | 0000 |     |                |
| 43 | 0000 |     |                |
| 44 | 0000 |     |                |
| 45 | 0000 |     |                |
| 46 | 0000 |     |                |
| 47 | 0000 |     |                |
| 48 | 0000 |     |                |
| 49 | 0000 |     |                |
| 50 | 0000 |     |                |
| 51 | 0000 |     |                |
| 52 | 0000 |     |                |
| 53 | 0000 |     |                |
| 54 | 0000 |     |                |
| 55 | 0000 |     |                |
| 56 | 0000 |     |                |
| 57 | 0000 |     |                |
| 58 | 0000 |     |                |
| 59 | 0000 |     |                |
| 60 | 0000 |     |                |
| 61 | 0000 |     |                |
| 62 | 0000 |     |                |
| 63 | 0000 |     |                |
| 64 | 0000 |     |                |
| 65 | 0000 |     |                |
| 66 | 0000 |     |                |
| 67 | 0000 |     |                |
| 68 | 0000 |     |                |
| 69 | 0000 |     |                |
| 70 | 0000 |     |                |
| 71 | 0000 |     |                |
| 72 | 0000 |     |                |
| 73 | 0000 |     |                |
| 74 | 0000 |     |                |
| 75 | 0000 |     |                |
| 76 | 0000 |     |                |
| 77 | 0000 |     |                |
| 78 | 0000 |     |                |
| 79 | 0000 |     |                |
| 80 | 0000 |     |                |
| 81 | 0000 |     |                |
| 82 | 0000 |     |                |
| 83 | 0000 |     |                |
| 84 | 0000 |     |                |
| 85 | 0000 |     |                |
| 86 | 0000 |     |                |
| 87 | 0000 |     |                |
| 88 | 0000 |     |                |
| 89 | 0000 |     |                |
| 90 | 0000 |     |                |
| 91 | 0000 |     |                |
| 92 | 0000 |     |                |
| 93 | 0000 |     |                |
| 94 | 0000 |     |                |
| 95 | 0000 |     |                |
| 96 | 0000 |     |                |
| 97 | 0000 |     |                |
| 98 | 0000 |     |                |
| 99 | 0000 |     |                |

FIGURE : 3I

|    |      |     |     |
|----|------|-----|-----|
| 0  | 0000 | DRN | DRN |
| 1  | 0000 | UBN | UBN |
| 2  | 0000 | GA  | GA  |
| 3  | 0000 | GH  | GH  |
| 4  | 0000 |     |     |
| 5  | 0000 |     |     |
| 6  | 0000 |     |     |
| 7  | 0000 |     |     |
| 8  | 0000 |     |     |
| 9  | 0000 |     |     |
| 10 | 0000 |     |     |
| 11 | 0000 |     |     |
| 12 | 0000 |     |     |
| 13 | 0000 |     |     |
| 14 | 0000 |     |     |
| 15 | 0000 |     |     |
| 16 | 0000 |     |     |
| 17 | 0000 |     |     |
| 18 | 0000 |     |     |
| 19 | 0000 |     |     |
| 20 | 0000 |     |     |
| 21 | 0000 |     |     |
| 22 | 0000 |     |     |
| 23 | 0000 |     |     |
| 24 | 0000 |     |     |
| 25 | 0000 |     |     |
| 26 | 0000 |     |     |
| 27 | 0000 |     |     |
| 28 | 0000 |     |     |
| 29 | 0000 |     |     |
| 30 | 0000 |     |     |
| 31 | 0000 |     |     |
| 32 | 0000 |     |     |
| 33 | 0000 |     |     |
| 34 | 0000 |     |     |
| 35 | 0000 |     |     |
| 36 | 0000 |     |     |
| 37 | 0000 |     |     |
| 38 | 0000 |     |     |
| 39 | 0000 |     |     |
| 40 | 0000 |     |     |
| 41 | 0000 |     |     |
| 42 | 0000 |     |     |
| 43 | 0000 |     |     |
| 44 | 0000 |     |     |
| 45 | 0000 |     |     |
| 46 | 0000 |     |     |
| 47 | 0000 |     |     |
| 48 | 0000 |     |     |
| 49 | 0000 |     |     |
| 50 | 0000 |     |     |
| 51 | 0000 |     |     |
| 52 | 0000 |     |     |
| 53 | 0000 |     |     |
| 54 | 0000 |     |     |
| 55 | 0000 |     |     |
| 56 | 0000 |     |     |
| 57 | 0000 |     |     |
| 58 | 0000 |     |     |
| 59 | 0000 |     |     |
| 60 | 0000 |     |     |
| 61 | 0000 |     |     |
| 62 | 0000 |     |     |
| 63 | 0000 |     |     |
| 64 | 0000 |     |     |
| 65 | 0000 |     |     |
| 66 | 0000 |     |     |
| 67 | 0000 |     |     |
| 68 | 0000 |     |     |
| 69 | 0000 |     |     |
| 70 | 0000 |     |     |
| 71 | 0000 |     |     |
| 72 | 0000 |     |     |
| 73 | 0000 |     |     |
| 74 | 0000 |     |     |
| 75 | 0000 |     |     |
| 76 | 0000 |     |     |
| 77 | 0000 |     |     |
| 78 | 0000 |     |     |
| 79 | 0000 |     |     |
| 80 | 0000 |     |     |
| 81 | 0000 |     |     |
| 82 | 0000 |     |     |
| 83 | 0000 |     |     |
| 84 | 0000 |     |     |
| 85 | 0000 |     |     |
| 86 | 0000 |     |     |
| 87 | 0000 |     |     |
| 88 | 0000 |     |     |
| 89 | 0000 |     |     |
| 90 | 0000 |     |     |
| 91 | 0000 |     |     |
| 92 | 0000 |     |     |
| 93 | 0000 |     |     |
| 94 | 0000 |     |     |
| 95 | 0000 |     |     |
| 96 | 0000 |     |     |
| 97 | 0000 |     |     |
| 98 | 0000 |     |     |
| 99 | 0000 |     |     |

FIGURE :3I bis

10 échantillons et ainsi de suite ... (Fig.31 et 31 bis ).

Toutes les résultats des comptages sont visualisées sur l'appareil et affichées sur imprimante.

Ainsi on a mesuré les impulsions pour chaque élément (oxyde) des échantillons et des échantillons des étalons de compositions parfaitement connues.

#### b) Dépouillement des mesures :

Le nombre de cation de l'élément à doser (présents sur les grains de résines) est proportionnel à la teneur de cet élément dans l'échantillon après perte au feu. On relève donc l'intensité de la raie de dosage (impulsion/20 sec.) comme on a vu ci-dessus. On démarre pour le dépouillement, des valeurs de l'intensité (impulsion) des éléments des étalons de composition connue. On trace la courbe de l'intensité en fonction du pourcentage de l'oxyde de l'élément dans l'étalon après la perte au feu. (Voir les graphiques montrant les courbes d'étalonnage pour chaque élément à doser. Fig.32 " $Al_2O_3$ " - Fig.33 " $MgO$ " - Fig.34 " $Fe_2O_3$ " - Fig.35 " $TiO_2$ " - Fig.36 " $CaO$ " - Fig.37 " $K_2O$ ".). Pour déterminer la concentration de ce même élément dans un échantillon inconnu, on prend l'intensité mesurée de ce même élément de l'échantillon; sur la courbe d'étalonnage obtenue précédemment on rapporte cette valeur en ordonnée et on lit directement le pourcentage de cet élément (son oxyde) dans l'échantillon après la perte au feu. En tenant compte du perte au feu, on calcule la teneur de l'élément à doser dans l'échantillon de départ.

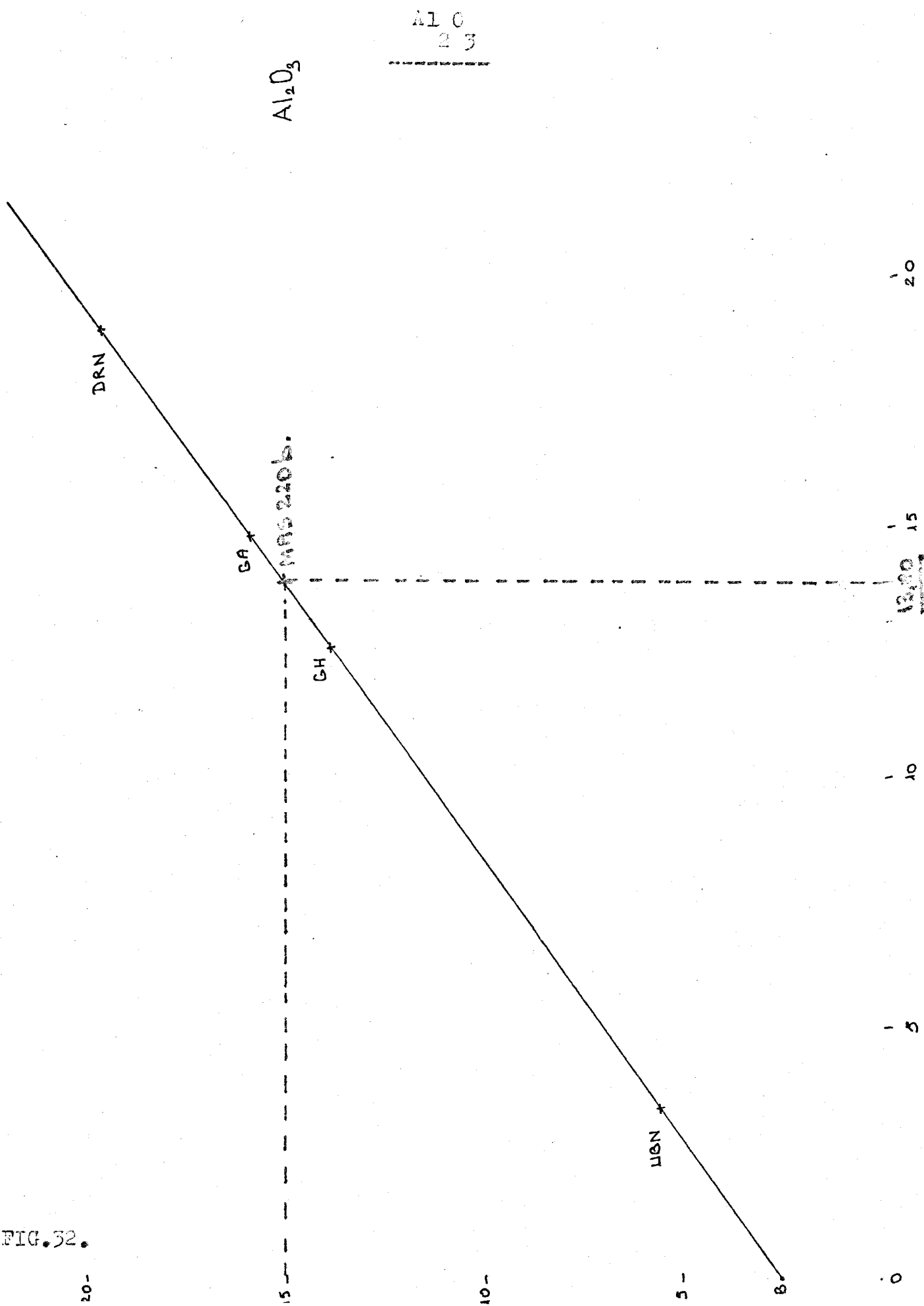
Par exemple :

Soit  $PA'$ : pourcentage lu directement après le PF.

Supposons que la valeur de perte au feu est  $X\%$ , donc la teneur de cet élément A dans l'échantillon, au départ (avant PF) sera comme la suite:

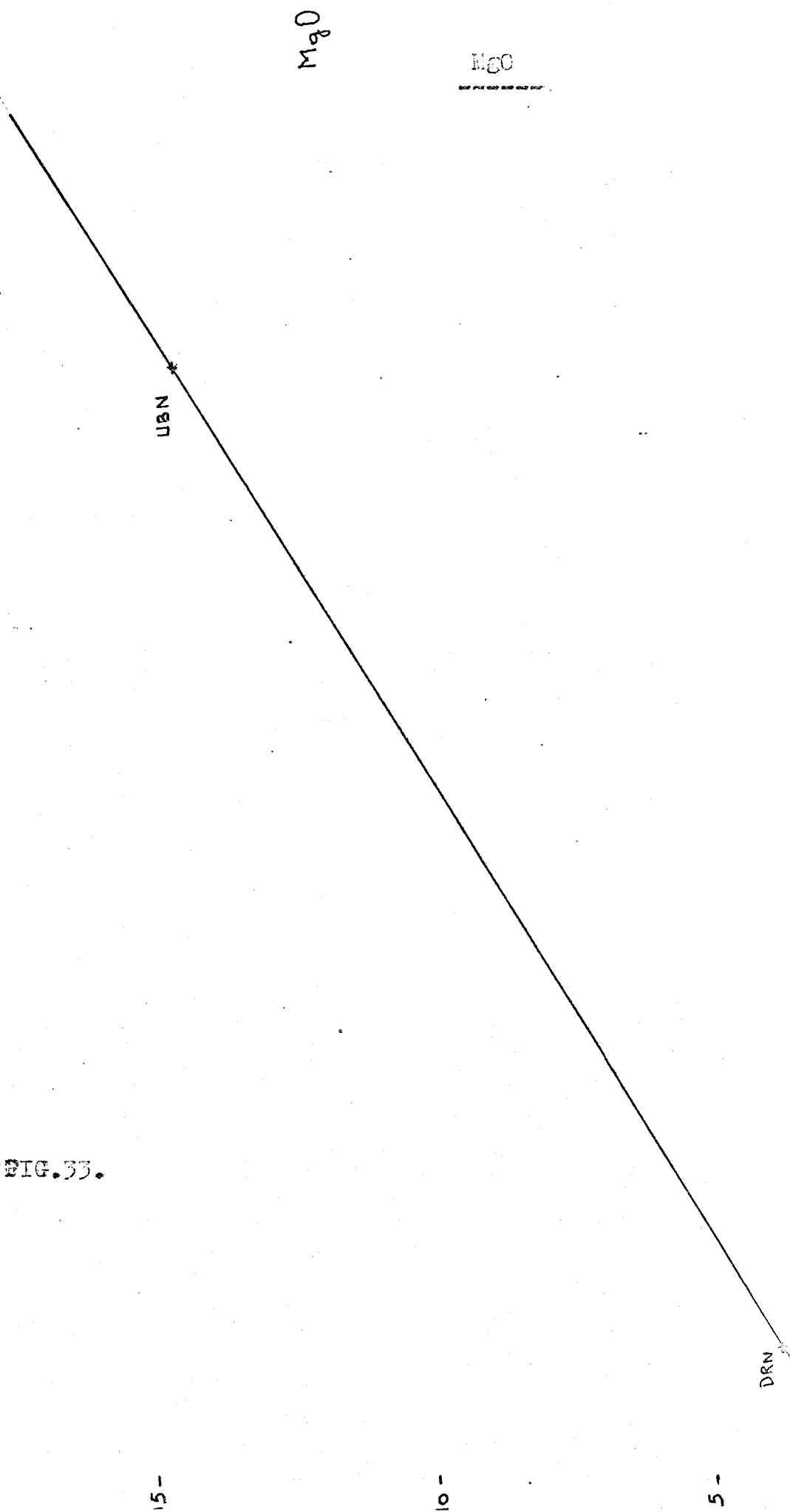
$\times 10^3$

FIG. 32.



10/2020  
x10<sup>3</sup>

FIG. 33.



He  
23

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

1234

10

5

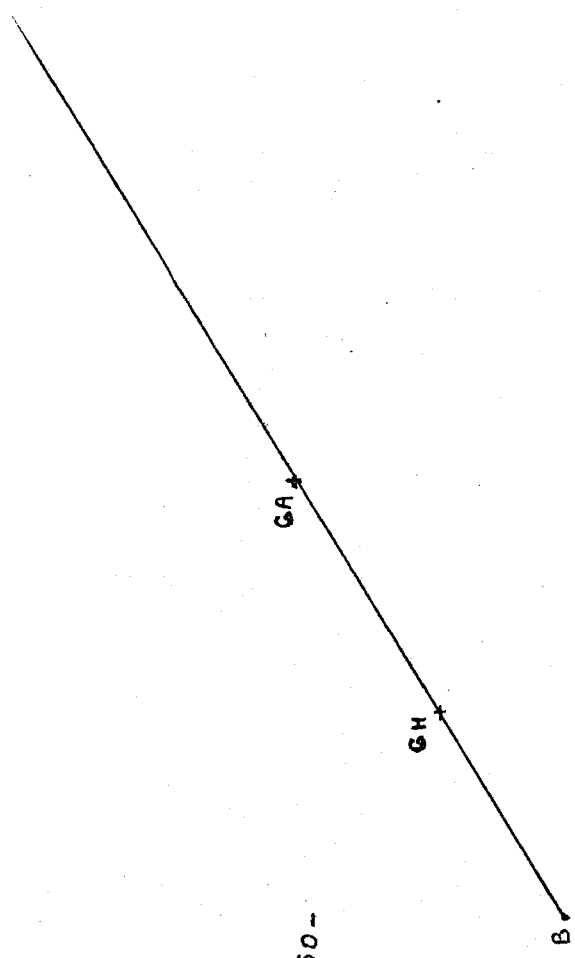
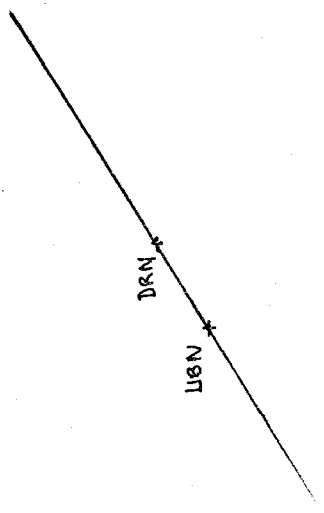
0

FIG .34

$\times 10^3$

150-

50-



%

93

TiC  
2

TiO<sub>2</sub>

1 2

1,5

1 1

0,5

0

0

GH\*

UBN

50-

GA \*

DRN \*

150-

100-

FIG. 35.  
96

10<sup>3</sup>

102

10

FIG. 36.

300-

200-

100-

B

GH

UEN

GA

DRN

CaO

CaO

20

15

10

94

%



$\frac{Z}{2}$   
0  
2

$K_2O$

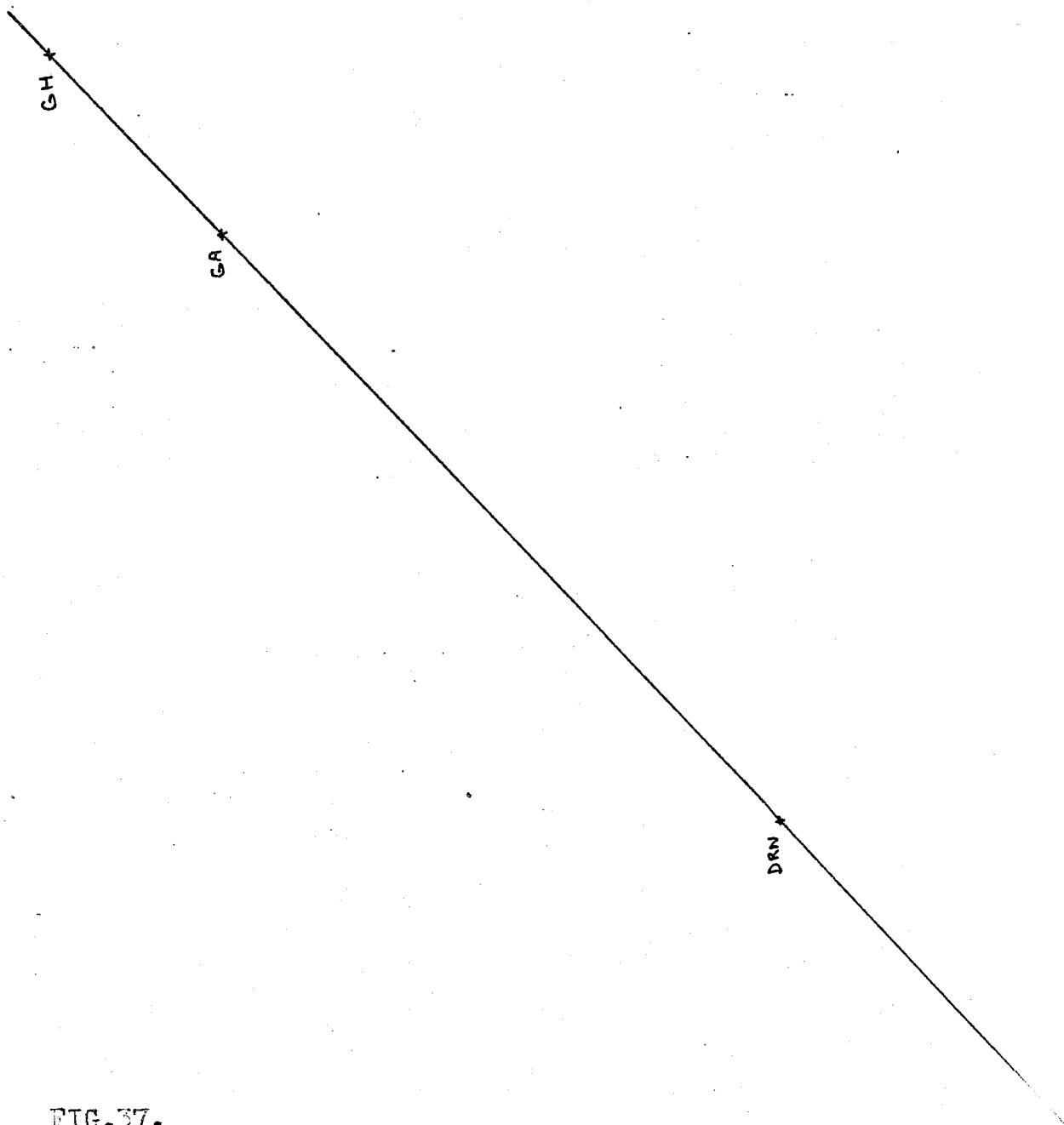


FIG. 37.

$$PA = \frac{PA'}{100+X} \cdot 100 \quad \dots\dots\dots(B54)$$

"pourcentage de l'element A (ou oxyde)  
avant le PF au départ".

Prenons quelques exemples de notre dosage pour bien suivre et comprendre  
le mode de dépouillement:

Un exemple expérimentale:    -Element : Al  
                                  -Étalons : 4 = DRH , UBN , GH , GA ;  
                                  -Echantillon : MAS 220 b "tuf rubanné"  
                                  d'après : (Fig. 31 "E2" et Fig. 32)

Les données expérimentales obtenues :

|                                |          |           |
|--------------------------------|----------|-----------|
| -Impulsions /20 sec. = °18.561 | pour DRH |           |
| ° 6.168                        | pour UBN |           |
| °16.089                        | pour GA  | "fig. 31" |
| °14.164                        | pour GH  |           |

En connaissant les pourcentages de l'oxyde de "Al" pour 4 étalons cités  
ci-dessus, on établit la courbe d'étalonnage pour l'oxyde d'Al.

(Voir fig. 32, page 90; le graphique de l'Al O<sub>2</sub> ).

Et les impulsions mesurées de même element "Al" de l'échantillon  
MAS 220 b sont les suivantes:

|                       |          |            |
|-----------------------|----------|------------|
| -Impulsions /20 sec.: | ° 14.802 |            |
|                       | ° 14.922 | I = 15.040 |
|                       | °15 .397 | moy.       |

"NB: effectué trois mesures."

Pour chaque échantillon, on fait 3 mesures et on prend leur moyenne.  
on rapporte cette valeur "moyenne" en ordonné dans le graphique  
d'étalonnage de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Et on lit directement en abscisse la valeur de  
pourcentage.

-Valeur trouvée pour IAS 220 b = 13.80 %.

Ensuite il faut faire la correction en tenant compte la perte au feu.

-Perte au feu de IAS 220 b = 0.71 % "par calcination"

-Correction : "en appliquant la formule B54"

$$\% \text{ de } \text{Al}_2\text{O}_3 = \frac{13.80}{100 + 0.71} \cdot 100$$

$$\% \text{ de } \text{Al}_2\text{O}_3 = 13.70 \%$$

Ainsi on a trouvé la valeur de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de l'échantillon IAS 220 b au départ.  
(avant la perte au feu) %

La précision relative doit être inférieure à 1 %.

La précision entre 2 mesures qui ont été effectuées dans un intervalle  
d'un jour est inférieure ou égale à 1 : Par exemple : l'éch; IAS 285

-----  
"métatuf"

1ère mesure :  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 15.38$  ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 6.70\%$  ;  $\text{TiO}_2 = 0.77$  ;  $\text{CaO} = 4.92$   
 $\text{K}_2\text{O} = 1.00$  ;  $\text{MgO} = 3.25$  ;  $\text{MnO} = 0.09 \%$ .

2ème mesure :  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 15.24\%$  ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 6.70$  ;  $\text{TiO}_2 = 0.77$  ;  $\text{CaO} = 4.87$   
 $\text{K}_2\text{O} = 1.00$  ;  $\text{MgO} = 3.25$  ;  $\text{MnO} = 0.10\%$ .

Donc la précision relative :

= 0.3 % sur Al

= 0.0 % sur Fe

= 0.0 % sur Ti

= 1.0 % sur Ca

= 0.0 % sur K

= 0.0 % sur Mg

= 1.0 % sur Mn

-----

BIII-5-Représentation des résultats expérimentales de 7 éléments

sauf Na-Si de 50 échantillons analysés par FX-----

Les résultats des oxydes de 7 éléments analysés

(après la correction de IF) ont été représentées selon leurs provenances dans les tableaux suivants:

Tableau n° 8 :

| SERIES              | : | ech.       | : <del>XXXX</del><br>CaO 2 | Al O<br>2 3 | Fe O<br>2 3T | TiO<br>2 | MgO  | MnO  | K O<br>2 |
|---------------------|---|------------|----------------------------|-------------|--------------|----------|------|------|----------|
| Archéen             | : | MAS 136 a: | 1.39%                      | 17.56%      | 8.20         | 0.76     | 2.83 | 0.08 | 2.75     |
| "                   | : | MAS 136b   | : 1.77                     | 16.34       | 5.61         | 0.63     | 1.97 | 0.09 | 1.57     |
| "                   | : | MAS 265    | : 0.68                     | 15.13       | 2.18         | 0.42     | 0.79 | 0.09 | 5.58     |
| Tsalabia el Ihadra- |   |            |                            |             |              |          |      |      |          |
| Ière groupe:        | : | MAS 198b   | : 8.29                     | 16.29       | 9.97         | 0.33     | 3.95 | 0.18 | 0.11     |
| "                   | : | MAS 201    | : 10.47                    | 13.45       | 12.52        | 0.87     | 6.92 | 0.19 | 0.11     |
| "                   | : | MAS 202    | : 11.60                    | 13.97       | 12.10        | 0.81     | 6.98 | 0.15 | 0.11     |

"suite page 99"

"suite de 98"

| SERIES       | : ech.     | : CaO   | Al O<br>2 3 | Fe O<br>2 3T | TiO<br>2 | MgO   | MnO  | KO<br>2 |
|--------------|------------|---------|-------------|--------------|----------|-------|------|---------|
| "            | :MAS 204   | : 0.15  | 13.00       | 10.68        | 0.80     | 9.73  | 0.20 | 0.91    |
| "            | :MAS 206   | : 0.64  | 15.32       | 0.80         | 0.12     | 0.20  | 0.07 | 3.76    |
| "            | :MAS 209   | : 1.77  | 13.46       | 6.08         | 0.59     | 2.35  | 0.11 | 0.88    |
| 2ème groupe: | :MAS 155   | : 10.85 | 12.79       | 10.90        | 0.94     | 6.80  | 0.15 | 0.47    |
| "            | :MAS 251   | : 10.66 | 16.40       | 12.54        | 1.13     | 4.62  | 0.18 | 0.29    |
| "            | :MAS 253   | : 5.87  | 13.96       | 10.00        | 1.02     | 8.84  | 0.18 | -       |
| "            | :MAS 254   | : 2.74  | 15.18       | 6.00         | 0.69     | 2.25  | 0.10 | 1.88    |
| "            | :MAS 256   | : 2.23  | 15.03       | 2.67         | 0.29     | 1.28  | 0.09 | 2.87    |
| "            | :MAS 258   | : 9.40  | 16.50       | 8.61         | 1.15     | 2.64  | 0.18 | 0.45    |
| "            | :MAS 259b  | : 14.05 | 13.82       | 13.00        | 1.12     | 4.03  | 0.12 | 0.43    |
| "            | :MAS 260a  | : 0.41  | 12.62       | 3.26         | 0.25     | 0.70  | 0.09 | 0.09    |
| "            | :MAS 262   | : 1.67  | 15.24       | 2.41         | 0.29     | 0.68  | 0.08 | 1.12    |
| "            | :MAS 263-I | : 9.71  | 14.02       | 13.97        | 0.96     | 7.90  | 0.17 | 0.03    |
| "            | :MAS 264   | : 2.50  | 16.24       | 3.41         | 0.47     | 0.39  | 0.09 | 2.34    |
| "            | :MAS 281-2 | : 11.34 | 13.91       | 13.22        | 0.76     | 6.21  | 0.12 | 0.31    |
| "            | :MAS 282   | : 9.54  | 14.40       | 13.75        | 0.97     | 7.53  | 0.19 | 1.19    |
| "            | :MAS 285   | : 4.92  | 16.38       | 6.70         | 0.77     | 3.25  | 0.09 | 1.00    |
| Karet        | :MAS 140   | : 2.70  | 15.35       | 2.49         | 0.26X    | 0.76  | 0.09 | 2.38    |
| "            | :MAS 151a  | : 0.47  | 12.49       | 15.86        | 1.04     | 6.93  | 0.18 | 0.23    |
| "            | :MAS 151b  | : 2.40  | 16.48       | 2.08         | 0.34     | 0.78  | 0.10 | 1.39    |
| "            | :MAS 152   | : 13.91 | 12.62       | 9.12         | 0.77     | 11.44 | 0.20 | 0.10    |
| "            | :MAS 153   | : 11.45 | 17.00       | 5.78         | 0.70     | 3.48  | 0.15 | 0.26    |
| "            | :MAS 179   | : 3.17  | 16.60       | 1.98         | 0.18     | 0.40  | 0.08 | 1.48    |
| "            | :MAS 180   | : 3.12  | 16.00       | 2.14         | 0.20     | 0.65  | 0.10 | 1.44    |

"suite dans la page 100"

| SERIES                 | ech.     | : | CaO   | Al O<br>2 3 | Fe O<br>2 3T | TiO<br>2 | MgO  | MnO  | K O<br>2 |
|------------------------|----------|---|-------|-------------|--------------|----------|------|------|----------|
| Alous                  | MAS 163  | : | 0.24  | 12.52       | 2.53         | 0.17     | 0.26 | 0.08 | 4.62     |
| "                      | MAS 165  | : | 0.02  | 10.96       | 1.82         | 0.09     | 0.20 | 0.07 | 4.75     |
| "                      | MAS 167  | : | 0.40  | 12.20       | 1.30         | 0.11     | 0.30 | 0.08 | 4.70     |
| "                      | MAS 169  | : | 0.40  | 12.63       | 1.80         | 0.26     | 0.20 | 0.10 | 4.47     |
| "                      | MAS 171  | : | 9.41  | 12.30       | 8.00         | 1.38     | 1.00 | 0.18 | 2.90     |
| "                      | MAS 177  | : | 0.20  | 12.35       | 2.13         | 0.13     | 0.33 | 0.09 | 4.36     |
| "                      | MAS 217  | : | 0.40  | 13.52       | 1.90         | 0.16     | 0.30 | 0.08 | 4.03     |
| "                      | MAS 220a | : | 4.39  | 15.22       | 6.00         | 0.52     | 4.35 | 0.11 | 3.02     |
| "                      | MAS 220b | : | 2.02  | 13.70       | 3.33         | 0.46     | 1.00 | 0.08 | 1.93     |
| "                      | MAS 225  | : | 0.34  | 12.35       | 1.59         | 0.08     | 0.09 | 0.07 | 4.48     |
| Est d'AlO <sub>3</sub> | MAS 211  | : | 0.90  | 12.65       | 2.49         | 0.26     | 0.69 | 0.09 | 4.88     |
| "                      | MAS 213  | : | 0.93  | 13.20       | 2.48         | 0.26     | 0.36 | 0.09 | 5.24     |
| "                      | MAS 215  | : | 0.48  | 12.00       | 2.24         | 0.20     | 0.34 | 0.09 | 5.68     |
| γ circonce             | MAS 231  | : | 0.24  | 12.91       | 1.25         | 0.17     | 0.30 | 0.08 | 4.74     |
| "                      | MAS 239  | : | 0.54  | 13.20       | 1.59         | 0.17     | 0.29 | 0.09 | 4.58     |
| Imourien               | MAS 237a | : | 7.53  | 17.80       | 9.46         | 1.02     | 2.37 | 0.17 | 0.75     |
| "                      | MAS 237b | : | 12.00 | 15.32       | 10.63        | 0.59     | 7.02 | 0.16 | 0.29     |
| "                      | MAS 250  | : | 1.49  | 14.60       | 2.10         | 0.23     | 0.98 | 0.08 | 3.58     |

### BIII-7-Conclusion-----

On a vu précédemment que l'analyse des éléments légers par RX est trop superficielle à cause de l'effet "Auger" et de l'absorption par l'air. Donc pour l'analyse des éléments légers ; on a utilisé , depuis 15 ans une méthode originelle étant "la méthode d'excitation par radio-élément"(radioisotopes) destinée aux éléments légers.

On peut envisager le rayonnement émis par les radioisotopes comme pouvant être une source d'énergie capable d'exciter la fluorescence d' un échantillon, basé sur l'emploi d'un compteur gazeux sans fenêtre.

La source excitatrice utilisée est radioisotopique. L'échantillon a été excité par le rayonnement  $\alpha$  . Les radioisotopes utilisées sont le  $^{210}\text{Pb}$  et  $^{241}\text{Am}$  de périodes respectivement 138 jours et 458 ans. A l'inverse de l'excitation K, la section efficace d'interaction des particules  $\alpha$  et des couches électroniques augment lorsque le numéro atomique de l'élément excité diminue suivant l'expression ci-dessous :

$$\sigma = C W_K E_{\alpha}^4 Z^{-2} \dots\dots\dots (B55).$$

Si l'on analyse un échantillon solide, on ne sait si on mesure l'inhomogénéité de l'échantillon ou celui de la méthode. L'écart-type relative total se compose des erreurs individuelles suivantes :

$$E_T = \sqrt{E_{\text{ech.}}^2 + E_{\text{app.}}^2 + E_{\text{Mes.}}^2} \dots\dots\dots (B56).$$

$E_{\text{app.}}$  se rapporte à la précision du réglage de l'appareil, à la stabilité du tube à RX , des cristaux analyseurs et des compteurs. L'erreur relative de l'instrument est de 0.5 à 1 %.

$$E_{\text{mes.}} = \frac{100}{\sqrt{T}(\sqrt{R_p} - \sqrt{R_b})} \quad (\%) \dots\dots(B57).$$

$R_p$  : La valeur globale d'impulsion par sec.

$R_b$  : La valeur de fond continu.

Il faut apporter une correction pour les variations du fond continu, la valeur de fond continu déterminée doit être déduite.

L'équation ci-dessous permet de calculer l'erreur statistique dans la quelle N est le nombre de coups par moyen. :

$$\sigma = \frac{100}{N} \quad (\%) \dots\dots(B58)$$

Enfin pour avoir une bonne précision, un min. de trois mesures s'impose et on prendra la moyenne.

---

CATALLI A.S



C- INTERPRETATIONS GEOCHIMIQUES DES DONNEES CHIMIQUES OBTENUEES  
PAR L4ANALYSE .....

CI-SUR LES DONNEES OBTENUEES DU SOCLE ARCHEEN

" GRANITE DU GHALLAMAN " .....

NB: Les données en teneur des éléments Na et Si ont été obtenues par la méthode de l'absorption atomique dont la méthode et le processus de l'analyse n'ont pas été cités ici. (Voir l'appendix ).

-----

Ce vieux socle archéen a été présenté par des séries gneissiques et par des séries granitiques. C'est la dernière série qui nous intéresse. Le granite du Ghallaman est un granite (micro-) riche en micas et en feldspaths. On a voulu étudier la composition géochimique et minéralogique de ce granite. On a utilisé le diagramme de "l'expression graphique de de La ROCHE" et le calcul de norme.

CI-I-Expression graphique de La ROCHE de. :-----

#### a) Rappel

Ce diagramme a été conçu pour l'étude minéralogique et géochimique des roches cristallines. Donc il est surtout bien adopté à l'étude des roches granitiques. Ce diagramme cherche surtout une discrimination entre les minéraux cardinaux de telles roches : Q, FK, Plagioclases, minéraux colorés.

Les paramètres sont les suivants :

- °  $Si/3 - (Na + K + 2/3 Ca)$  : dont la valeur est presque nulle pour tous les minéraux essentiels autre que le quartz. Donc sa valeur sera maximale pour le quartz. Et elle sera grossomodo proportionnelle à la teneur en quartz.

- °  $K - (Na + Ca)$  : éloignant au max. les plagioclases du feldspathes potassique.

- °  $Fe + Mg + Ti$  : nul ou presque pour tous les minéraux blancs, très différent de zéro pour les minéraux colorés. Sa valeur reflète

donc l'indice de coloration de la roche.

Dans ces paramètres interviennent des quantités en millièmes pour 100 gr. de roche. A partir de pourcentage d'oxydes obtenus, il faut calculer les quantités en millièmes pour 100 gr. des différents cations.

$$a = (P \times 1000) / M \times (y) \dots\dots\dots(CI).$$

P = le pourcentage en poids d'oxydes A O .

y z

M = masse moléculaire.

a = le nb. de millièmes.

On va superposer sur un seul diagramme deux représentations en coordonnées rectangulaires. (Fig.38).

$$y_I = Si/3 - (K + Na + 2/3 Ca) \text{ proportionnel à la teneur en quartz.}$$

$$y_2 = Fe + Mg + Ti$$

$$y_I = f (K - (Na + Ca)) \dots\dots\dots(C2).$$

$$y_2 = f (K - (Na + Ca)).$$

Toute roche sera représentée par deux points d'abscisse commune.

Le couple des points représentatifs d'une roche séparera l'ordonnée en 3 segments étant : (Fig.38).

$$°- q = Si/3 - (K + Na + 2/3 Ca) \text{ proportionnel à la teneur en quartz.}$$

$$°- c = Fe + Mg + Ti \text{ proportionnel à la teneur en minéraux colorés.}$$

$$°- f = \text{qui par différence sera proportionnel à la teneur en feldspathes.}$$

b) Application au granite du Ghallaman :

Ech.: MAS 265

A partir des teneurs obtenues en pourcentage des oxydes, on calcul les nb. de milliatomes des cations suivants (les teneurs en Na et Si ont été représentées à l'Appendix ;)?

$$\begin{aligned} \circ \text{Si} &= 1156.16 & \circ \text{Si}/3 &= 385.39 & \circ \text{Na} &= 106.13 \\ \circ \text{K} &= 118.72 & \circ \text{Ca} &= 12.14 & \circ 2/3 \text{Ca} &= 8.09, \\ \circ \text{Fe} &= 27.25 & \circ \text{Mg} &= 19.75 & \circ \text{Ti} &= 5.25. \end{aligned}$$

et les paramètres :

$$\begin{aligned} \circ \text{Si}/3 - (\text{Na} + \text{K} + 2/3 \text{Ca}) &= 152.45 \\ \circ \text{K} - (\text{Na} + \text{Ca}) &= 0.45 \\ \circ \text{Fe} + \text{Mg} + \text{Ti} &= 52.25. \end{aligned}$$

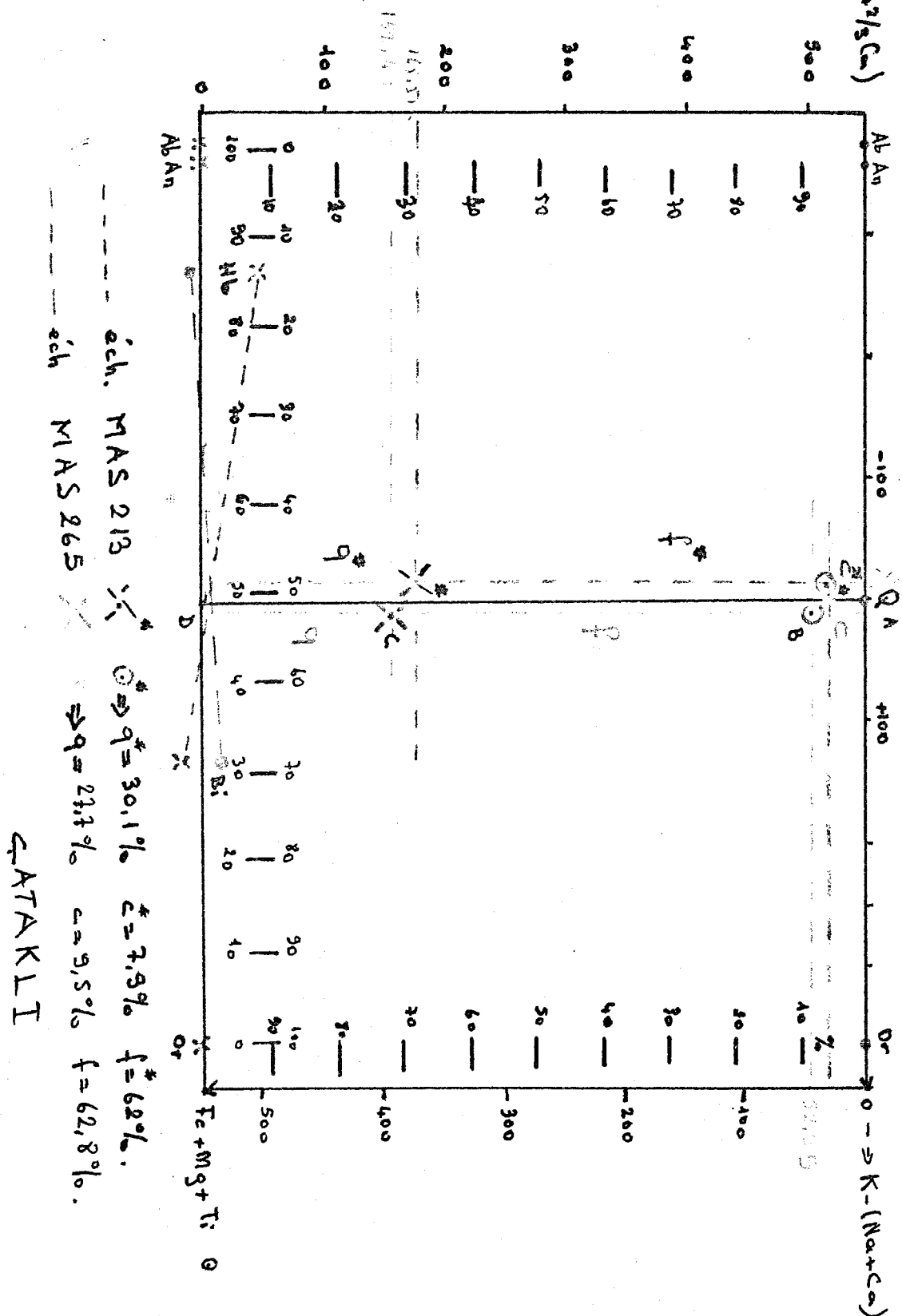
On les rapporte sur le diagramme et on obtient les résultats suivantes: (Fig.38 sans astérix).

$$\begin{aligned} \circ q &= 27.7 \% \quad \text{.....teneur en quartz.} \\ \circ c &= 9.5 \% \quad \text{.....teneur en minéraux colorés.} \\ \circ f &= 62.8 \% \quad \text{.....teneur en feldspath.} \end{aligned}$$

NB. Si l'on place maintenant dans le triangle formé par les droites joignant les points représentatifs du Q, du feldspath potassique OR, et du plagioclase Ab-An; on peut soustraire le quartz et il nous permet la lecture de pourcentages réciproques de FK et Plagioclases.

On a trouvé :

$$\begin{aligned} \circ 31.0 \% \text{ de Orthose} & \\ \circ 31.8 \% \text{ de Plagioclase} &= 62.8 \% \text{ de Feldspath.} \end{aligned}$$

$$\chi^2_{9/2} - (Na + k + 2/g C_m)$$


On constate que ce granite est riche en feldspath (  $f=62.8\%$  ) et en minéraux colorés (  $c=9.5\%$  ).

#### CI-2-Calcul de Norme -----

On a fait un calcul de norme et trouvé des pourcentages des minéraux virtuels qui sont les suivants:(Fig.39).

- ° Q = 27 % ( quartz )
- ° Or = 33 % ( Orthose )
- ° Pl. = 31 % .....: An = 3 % , Ab = 28 %

" Pl. :Plagioclase ; An :Anorthite ;

Ab :Albite . "

On peut constater également que les résultats géochimiques trouvées soit par le calcul de norme soit par le diagramme de l'expression graphique de La ROCHE, sont constamment pareilles. Nous constatons que le granite du Ghallaman est riche en feldspath et surtout en orthose et albite ; pauvre en anorthites .Donc il est sodi-potassique.On peut le nommer comme leuco-granite alcalin ou alcalin monzonitique .Il est leuco- car l'indice de coloration prend place entre les valeurs 5 et 30 % ayant un caractère de leucocrate dans la classification de Jung.

| Roche: IAS 265 Granite                                                             |                          | Provenance: Ghallaman [MAURITANIE] |                                |      |      |      |      |                   |                  |                  |                               | Reference: Analyse par FX. |                  |       |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------|-------|
| Constituants de la Roche                                                           | SiO <sub>2</sub>         | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO  | MnO  | MgO  | CaO  | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | CO <sub>2</sub>            | H <sub>2</sub> O | Total |
| Pourcentage d'Analyse = α                                                          | 69,37                    | 15,13                              | 2,18                           | 0,09 | 0,79 | 0,68 | 3,29 | 5,58              | 0,42             | —                | —                             | —                          | —                | 9836  |
| Poids moléculaire = p                                                              | 60                       | 102                                | 160                            | 72   | 71   | 40   | 56   | 62                | 94               | 80               | 142                           | 44                         | —                | —     |
| Représentations moléculaires $\alpha \cdot 1000 = \frac{p}{p} \cdot 1000 = \gamma$ | 1156                     | 151                                | 14                             | 1    | 20   | 12   | 53   | 59                | 5                | —                | —                             | —                          | —                | —     |
| APATITE                                                                            | —                        | —                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | 536              | —     |
| ILMENITE                                                                           | —                        | —                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | 5                | 0,1   |
| ORTHOSE                                                                            | 802                      | 92                                 | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | 0                | —                | —                             | —                          | 53               | 33    |
| LEUCITE                                                                            | —                        | —                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | —                | —     |
| ALBITE                                                                             | 184                      | 39                                 | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | 53               | 28    |
| NEPHELINE                                                                          | —                        | —                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | —                | —     |
| CALCITE                                                                            | —                        | —                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | —                | —     |
| ANORTHITE                                                                          | 460                      | 27                                 | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | 12               | 3     |
| CORINDON                                                                           | —                        | 0                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | 27               | 3     |
| AEGYRINE                                                                           | —                        | —                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | —                | —     |
| MAGNETITE                                                                          | —                        | 0                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | 10               | 2     |
| HEMATITE                                                                           | —                        | —                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | —                | —     |
| DIOPSIDE                                                                           | CaO · SiO <sub>2</sub>   | —                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | —                | —     |
|                                                                                    | MgO · SiO <sub>2</sub>   | 440                                | —                              | —    | —    | 0    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | 20               | 2     |
|                                                                                    | FeO · SiO <sub>2</sub>   | —                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | —                | —     |
|                                                                                    | CaO · SiO <sub>2</sub>   | —                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | —                | —     |
| WOLLASTONITE                                                                       | CaO · SiO <sub>2</sub>   | —                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | —                | —     |
|                                                                                    | MgO · SiO <sub>2</sub>   | —                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | —                | —     |
| HYPERSTHENE                                                                        | FeO · SiO <sub>2</sub>   | —                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | —                | —     |
|                                                                                    | 2 CaO · SiO <sub>2</sub> | —                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | —                | —     |
|                                                                                    | 2 MgO · SiO <sub>2</sub> | —                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | —                | —     |
|                                                                                    | 2 FeO · SiO <sub>2</sub> | —                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | —                | —     |
| OLIVINE                                                                            | —                        | —                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | —                | —     |
|                                                                                    | —                        | —                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | —                | —     |
| QUARTZ                                                                             | 0                        | —                                  | —                              | —    | —    | —    | —    | —                 | —                | —                | —                             | —                          | 440              | 27    |

FIGURE 1 39 CALCUL DE NORME

$\text{CaO}^m$   
 $m = \text{CaO}^m - f =$   
 $f = \text{CaO}^m \cdot \frac{\text{P}_{2040170}}{\text{P}_{2040170}} =$   
 $1 = \text{SiO}_2^m - m = \text{SiO}_2^m - \text{CaO}^m$   
 $x = 25 - m$   
 $y = m - x =$

110



CII-SUR LES DONNEES OBTENUES DU GRANITE DE L'EST

d'ALOUS TMAR .....?.....

**RAPPORT DE STAGE DE D.E.A.**

**AHMET SEVKET CATAKLI**

**La page 112 n'existe pas dans  
L'original.**

## CII-2-Calcul de Norme-----

Le calcul de norme nous donne des teneurs des minéraux virtuels qui sont les suivantes: (Fig.40 Mode de calcul de norme.).

- ° Q = 29 % " quartz ".
- ° Or = 32 % " orthose ".
- ° Ab = 29 % " albite "
- ° An = 4 % " anorthite " ..... = 33 % "plagioclase".
- ° 5 % de minéraux colorés.

Les valeurs qu'on a obtenu par l'expression graphique de " De La ROCHE " et par le calcul de norme sont plus ou moins identiques. On peut constater que le granite de l'est D'ALOUS TMAR est un leuco-granite sodi-potassique "alcalin" et il est pauvre en anorthite.

-----

| Roche: MAS 213 Granite                                                        |                                                                     | Provenance: E de l'ALOUS TWR (Mauritanie) |                                |                                |     |     |     |     |                   |                  |                  |                               |                 |                               | Référence: Analyse par FX. |       |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|-----|-------------------|------------------|------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|----------------------------|-------|
| Constituants de la Roche                                                      |                                                                     | SiO <sub>2</sub>                          | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | FeO | MnO | MgO | CaO | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> | H <sub>2</sub> O           | Total |
| Pourcentage à l'analyse = α                                                   |                                                                     | 60                                        | 102                            | 160                            | 72  | 71  | 40  | 56  | 62                | 94               | 80               | 112                           | 44              | 9.5                           | 9.5                        | 9.5   |
| Poids moléculaire = β                                                         |                                                                     | 60                                        | 102                            | 160                            | 72  | 71  | 40  | 56  | 62                | 94               | 80               | 112                           | 44              | 9.5                           | 9.5                        | 9.5   |
| Proportions moléculaires x 1000 = $\frac{\alpha}{\beta} \times 1000 = \gamma$ |                                                                     | 60                                        | 102                            | 160                            | 72  | 71  | 40  | 56  | 62                | 94               | 80               | 112                           | 44              | 9.5                           | 9.5                        | 9.5   |
| APATITE                                                                       | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·3CaO ( $\frac{\alpha\beta}{2}$ )     | -                                         | -                              | -                              | -   | -   | -   | -   | -                 | -                | -                | -                             | -               | -                             | 336                        | -     |
| ILMENITE                                                                      | TiO <sub>2</sub> ·FeO                                               | -                                         | -                              | 14                             | -   | -   | -   | -   | -                 | -                | 0                | 0                             | -               | 3                             | 152                        | 0.5   |
| ORTHOSE                                                                       | K <sub>2</sub> O·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·6SiO <sub>2</sub>  | 853                                       | 71                             | -                              | -   | -   | -   | -   | 0                 | -                | -                | -                             | -               | 58                            | 556                        | 22    |
| LEUCITE                                                                       | K <sub>2</sub> O·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·4SiO <sub>2</sub>  | -                                         | -                              | -                              | -   | -   | -   | -   | -                 | -                | -                | -                             | -               | -                             | 436                        | -     |
| ALBITE                                                                        | Na <sub>2</sub> O·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·6SiO <sub>2</sub> | 517                                       | 15                             | -                              | -   | -   | -   | -   | 0                 | -                | -                | -                             | -               | 56                            | 524                        | 22    |
| NEPHELINE                                                                     | Na <sub>2</sub> O·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2SiO <sub>2</sub> | -                                         | -                              | -                              | -   | -   | -   | -   | -                 | -                | -                | -                             | -               | -                             | 284                        | -     |
| CALCITE                                                                       | CO <sub>2</sub> ·CaO                                                | -                                         | -                              | -                              | -   | -   | -   | -   | -                 | -                | -                | -                             | -               | -                             | 100                        | -     |
| ANORTHITE                                                                     | CaO·Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·4SiO <sub>2</sub>               | 487                                       | 0                              | -                              | -   | -   | -   | 2   | -                 | -                | -                | -                             | -               | 15                            | 278                        | 4     |
| CORINDON                                                                      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                      | -                                         | -                              | -                              | -   | -   | -   | -   | -                 | -                | -                | -                             | -               | -                             | 102                        | -     |
| AEGYRINE                                                                      | Na <sub>2</sub> O·Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·4SiO <sub>2</sub> | -                                         | -                              | -                              | -   | -   | -   | -   | -                 | -                | -                | -                             | -               | -                             | 462                        | -     |
| MAGNETITE                                                                     | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·FeO                                 | -                                         | -                              | 0                              | -   | -   | -   | -   | -                 | -                | -                | -                             | -               | 14                            | 232                        | 3     |
| HEMATITE                                                                      | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>                                      | -                                         | -                              | -                              | -   | -   | -   | -   | -                 | -                | -                | -                             | -               | -                             | 160                        | -     |
| DIOPSIDE                                                                      | CaO·SiO <sub>2</sub>                                                | 485                                       | -                              | -                              | -   | -   | -   | 0   | -                 | -                | -                | -                             | -               | 2                             | 116                        | 0.2   |
|                                                                               | MgO·SiO <sub>2</sub>                                                | 483                                       | -                              | -                              | -   | -   | 7   | -   | -                 | -                | -                | -                             | -               | 2                             | 100                        | 0.2   |
|                                                                               | FeO·SiO <sub>2</sub>                                                | -                                         | -                              | -                              | -   | -   | -   | -   | -                 | -                | -                | -                             | -               | -                             | 132                        | -     |
|                                                                               | CaO·SiO <sub>2</sub>                                                | -                                         | -                              | -                              | -   | -   | -   | -   | -                 | -                | -                | -                             | -               | -                             | 116                        | -     |
| WOLLASTONITE                                                                  | MgO·SiO <sub>2</sub>                                                | 476                                       | -                              | -                              | -   | -   | 0   | -   | -                 | -                | -                | -                             | -               | 7                             | 100                        | 0.1   |
| HYPERSTHENE                                                                   | FeO·SiO <sub>2</sub>                                                | -                                         | -                              | -                              | -   | -   | -   | -   | -                 | -                | -                | -                             | -               | -                             | 132                        | -     |
|                                                                               | 2CaO·SiO <sub>2</sub>                                               | -                                         | -                              | -                              | -   | -   | -   | -   | -                 | -                | -                | -                             | -               | -                             | 172                        | -     |
|                                                                               | 2MgO·SiO <sub>2</sub>                                               | -                                         | -                              | -                              | -   | -   | -   | -   | -                 | -                | -                | -                             | -               | -                             | 140                        | -     |
|                                                                               | 2FeO·SiO <sub>2</sub>                                               | -                                         | -                              | -                              | -   | -   | -   | -   | -                 | -                | -                | -                             | -               | -                             | 204                        | -     |
| QUARTZ                                                                        | SiO <sub>2</sub>                                                    | 0                                         | -                              | -                              | -   | -   | -   | -   | -                 | -                | -                | -                             | -               | 476                           | 60                         | 23    |

FIGURE 40

-Calcul de Norme.

II4

FIGURE 40 - Calcul de Norme.

II4

$$\begin{aligned}
 & \text{CaO}'' = 2 \\
 & m = \text{CaO}' - f = 2 \\
 & f = \text{CaO}' \cdot \frac{\text{FeO}'}{\text{FeO} + \text{FeO}'} \\
 & 1 = \text{SiO}_2' - m = \text{FeO}'' - \text{FeO}' \\
 & x = 25 - m = \\
 & y = m - x =
 \end{aligned}$$

CIII-SUR LES DONNEES OBTENUES DE LA SERIE

D\*ALOUS TMAR.....

calcul de norme ,  
étant en moyen :

° Q

° Or

° Al

° An

° Ac

le acide a été constaté. Après le  
les teneurs en minéraux virtuels

.. " quartz ".

.. " orthose ".

.. " albite ".

.. " anorthite ".

l = 45 % ..... " plagioclase ".

.. " accessoires ".

quartz) et sodi-

On constate aussi

de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  -  $\text{CaO}$  sont

à 9.41 %.(En général

$\text{Na}_2\text{O}$  et  $\text{K}_2\text{O}$  sont

le ~~granite~~ volcanisme acide (riche en  
in) pauvre en anorthite.

en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  restent constant et celles

les teneurs de  $\text{CaO}$  varient de 0.26 %

sont faibles.). Les teneurs des

va de 60.48 % à 78.20 % .

CIV-SUR LES DONNEES OBTENUES DE LA REGION DE

TSALABIA EL KHADRA .....

## CIV-I-Problème de Spilite-Kératophyre -----

Comme on a vu dans le chapitre A, cette série a un caractère volcano-sédimentaire. Les formations volcaniques ( de basique à acide ) semblent à s'apparenter à une association du type spilitique. On a voulu se pencher sur ce problème et uniquement le prouver partiellement par les voies géochimiques. (On n'a pu faire une étude microscopique). On a construit le diagramme de "De La Roche" Al, Na, K et le diagramme classique des paramètres de Niggli.

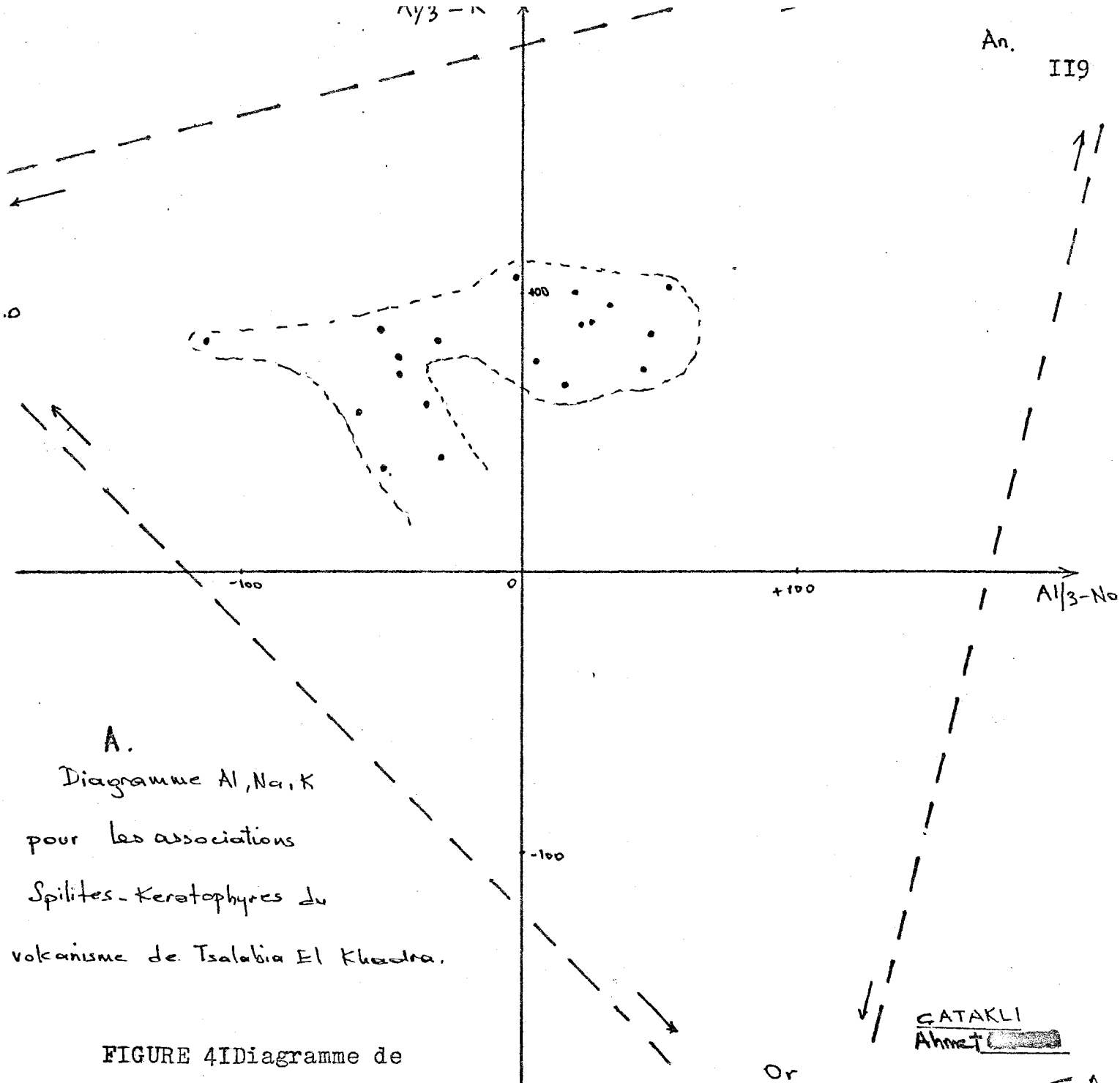
a) Diagramme Al, Na, K de "La Roche de."

Ce diagramme a un grand intérêt et un grand avantage sur les diagrammes classiques de faire ressortir d'une manière très claire, l'individualité de l'association spilite-kératophyre par rapport aux lignées magmatiques classiques.

Pour établissement de ce diagramme, les paramètres sont calculés à partir des nb. de milliatomes pour 100 gr. de la roche. Sur ce diagramme (Fig. 4IB), les basalts s'occupent un domaine restreint entre le secteur des plagioclases basiques et le point d'origine des axes; au voisinage des axes, se regroupent les pyroxènes, les amphiboles et les peridotites. Au contraire les minéraux caractéristiques de l'association spilitique (albite-chlorite-epidot-carbonates) délimitent un champ beaucoup plus vaste. Le domaine restreint de basalte se trouve à l'intérieur de ce champ. Dans ce cadre générale, ce sont des données numériques qui permettront de préciser les domaines et les tendances correspondant aux associations spilitiques. Les associations spilitiques y forment très distinctement une sorte de chevron dont les deux branches correspondent à des densités inégales.

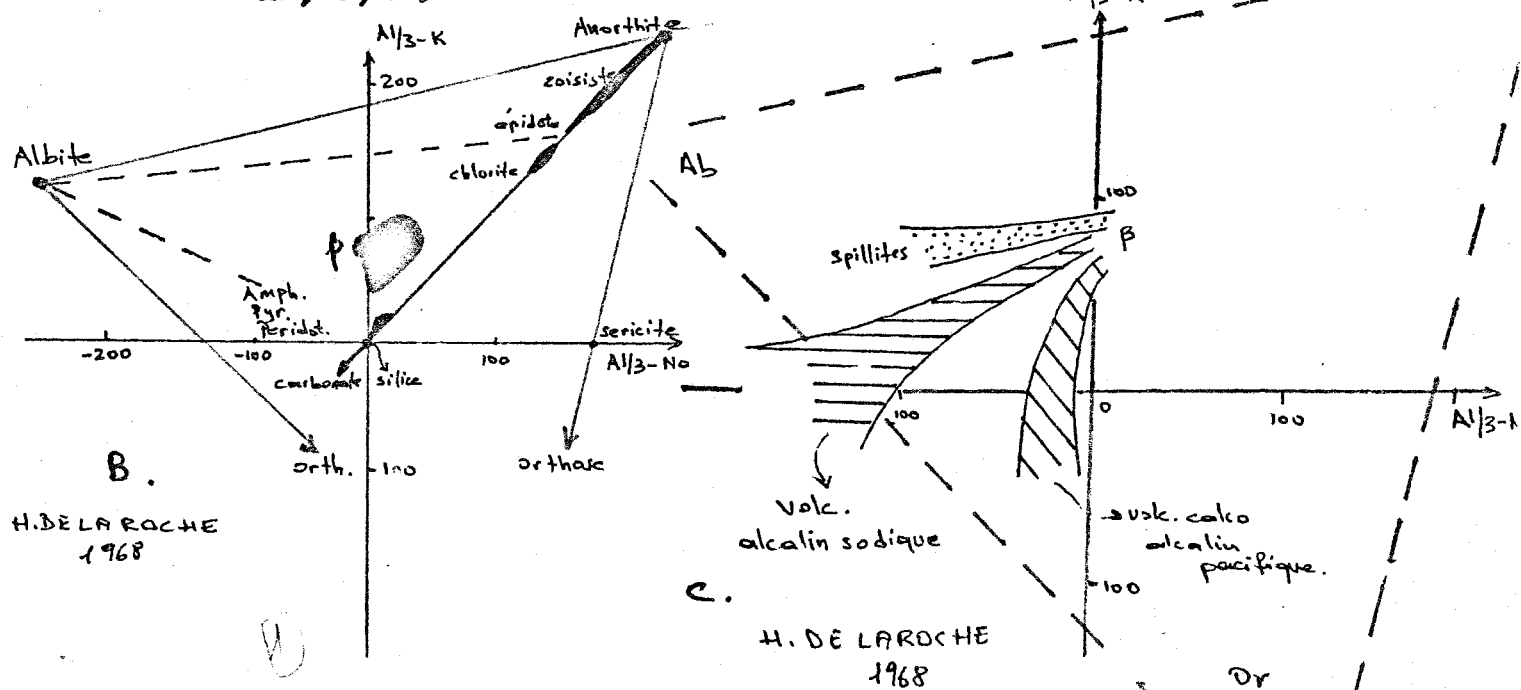
La branche supérieure subhorizontale s'enracine à son extrémité droite dans la zone de basalte commun et se dirige vers l'albite. (Fig. 4IA).





A.  
Diagramme Al, Na, K  
pour les associations  
Spilites - Keratophyres du  
volcanisme de Tsalabia El Khadra.

FIGURE 4I Diagramme de  
Al, Na, K.



B.  
H. DE LA ROCHE  
1968

C.  
H. DE LA ROCHE  
1968

On peut la désigner comme tendance spilitique que l'on a observé dans notre cas aussi. Voir la figure 4IA. Cette tendance présente un angle faible avec la transition de "anorthite -----> albite". Ceci, c'est un trait majeur des spilites que l'on constate également dans notre cas. La branche inférieure inclinée vers l'origine des axes est généralement constituée par un groupe de type "kératophyre". On peut la désigner comme la tendance alcali-potassique en observant un angle faible avec la transition de "albite -----> orthose". Cette tendance alcali-potassique se développe au niveau des kératophyres étant le terme le plus alcalin de la tendance spilitique. Dans notre cas on peut observer également le même processus que l'on vient de citer ci-dessus? Les roches ayant une tendance spilitique et une tendance kératophyrique ont été présentées dans le tableau. Entre 19 échantillons dont les 11 ayant une tendance spilitique dont les 7 ayant une tendance kératophyrique; un échantillon a un caractère intermédiaire entre ces deux tendances. Dans la classification des roches comme ayant une tendance spilitique ou carrément "spilite", on observe : ( tableau no=9 ).

- ° - Une grande variabilité des teneurs en élément majeur et cette variabilité est supérieure à celle de basalte. (Caractéristiques des spilites).

- ° - Une forte "perte au feu" liée aux proportions de chlorite et de calcite allant de 0.64 % vers 9.43 %.

- ° - Une forte teneur en oxyde de calcium :  $\bar{X} = 9.81 \%$  de 5.67 % à 14.05 %.

- ° - La teneur en  $\text{SiO}_2$  est de l'ordre de 50 %. Cette teneur diminue progressivement en augmentation de celle de  $\text{CaO}$ .

- ° - Les alcalins sont "exaltés".

° -  $\text{Na}_2\text{O}$  augmente fortement et  $\text{K}_2\text{O}$  reste constant par rapport aux basalts.

° -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$  sont constants et ont des valeurs fortes.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  est supérieur à celle de basalt. La teneur en  $\text{MgO}$  est inférieure à celle de basalt. D'après les caractères qu'on a cité ci-dessus, on peut constater que ces 11 échantillons ont certainement des caractères spililitiques d'après la vue géochimique.

On observe dans les autres 7 échantillons (tableau 9) des caractères ressemblant à ceux de kératophyre. Par exemple une grande valeur en  $\text{SiO}_2$  et en  $\text{Na}_2\text{O}$ ; une faible valeur en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{MnO}$  et une valeur constante en  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . et la tendance kératophyrique de ces échantillons nous prouvent très probablement qu'ils ont des caractères kératophyriques.

D'après Podol'sky (1963) on peut distinguer 3 groupes d'éléments dans le chimisme de spilites-kératophyres.

° - Elements associatifs ayant une corrélation + :  
Ce sont Fe, Ca, Mg, Mn, Ti, Al. Une croissance en teneur de kératophyres vers spilites.

° - Elements antagonistes ayant une corrélation - :  
C'est Si. Une croissance de Si de spilites vers kératophyres.

° - Elements alcalins Na, K :

Ils ne montrent pas de relation linéaire simple avec les autres éléments.

Tous ces caractères décrits par Podol'sky en 1963 prouvent notre proposition sur l'association spilite-kératophyres, de la région de Tsalabia el Khadra. (Tableau no=9).

TABLEAU :9 - A ) Groupe spilitique :

I22

| Ech.MAS:             | I55     | I98b  | 20I   | 202    | 204   | 253   | 258    | 259b   | 25I   | 28I   | 282   |
|----------------------|---------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>     | :45.53  | 55.2I | 50.43 | 50.70  | 53.66 | 50.64 | 56.20  | 44.24  | 50.55 | 50.7I | 47.94 |
| Al O <sub>2 3</sub>  | : I2.79 | I6.29 | I3.45 | I3.97  | I3.00 | I3.96 | I6.50  | I3.82  | I6.40 | I3.9I | I4.48 |
| Fe O <sub>2 3T</sub> | :I0.90  | 9.97  | I2.52 | I2.I0  | I0.68 | I0.00 | 8.6I   | I3.00  | I2.54 | I3.22 | I3.75 |
| TiO <sub>2</sub>     | : 0.94  | 0.83  | 0.87  | 0.8I   | 0.80  | I.02  | I.I5   | I.I2   | I.I3  | 0.76  | 0.97  |
| CaO                  | :I0.85  | 8.29  | I0.47 | II.60  | 8.I5  | 5.67  | 9.40   | I4.05  | I0.66 | II.34 | 9.54  |
| MgO                  | : 6.80  | 3.95  | 6.92  | 6.98   | 9.73  | 8.84  | 2.64   | 4.03   | 4.62  | 6.2I  | 7.53  |
| MnO                  | : 0.I5  | 0.I8  | 0.I9  | 0.I5   | 0.20  | 0.I8  | 0.I8   | 0.I2   | 0.I8  | 0.I2  | 0.I9  |
| K O <sub>2</sub>     | : 0.47  | 0.II  | 0.II  | 0.II   | 0.9I  | 0.00  | 0.47   | 0.43   | 0.29  | 0.3I  | I.I9  |
| Na O <sub>2</sub>    | : 2.49  | 3.39  | 2.07  | 2.05   | 2.I7  | I.86  | 2.77   | 3.76   | I.90  | I.38  | I.60  |
| PF                   | : 9.43  | I.25  | 2.60  | I.62   | 0.64  | 7.43  | 2.I7   | 6.07   | I.70  | I.37  | 2.I6  |
| TOTAL                | 100.35  | 99.47 | 99.63 | 100.09 | 99.94 | 99.60 | 100.07 | 100.64 | 99.97 | 99.33 | 99.35 |
| R                    | :782I   | 70.3  | 82.4  | 84.I   | 72.I  | 74.6  | 74.0   | 76.8   | 82.6  | 87.2  | 77.6  |
| alc                  | : 6     | IO    | 5     | 5      | 6     | 5     | 9      | 9      | 5     | 4     | 5     |
| c                    | :29     | 25    | 27    | 29     | 22    | I7    | 30     | 35     | 29    | 30    | 24    |
| fm                   | : 46    | 38    | 48    | 46     | 54    | 56    | 3I     | 37     | 4I    | 46    | 5I    |
| al                   | : I9    | 27    | 20    | 20     | I8    | 22    | 30     | I9     | 25    | 20    | 20    |
| mg                   | :0.63   | 0.42  | 0.53  | 0.54   | 0.65  | 0.64  | 0.38   | 0.38   | 0.44  | 0.48  | 0.52  |
| si                   | :II3    | I57   | I23   | I20    | I29   | I38   | I69    | I03    | I28   | I23   | II2   |

B ) Groupe kératophyrique :

|  ch.MAS :           | 285     | 206   | 209   | 254   | 256   | 260   | 262   | 264   | A     | B     |
|---------------------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Si O <sub>2 3</sub> | ::60.40 | 73.I5 | 67.67 | 64.8I | 69.54 | 74.88 | 72.I6 | 68.70 | 50.83 | 70I7  |
| Al O <sub>2 3</sub> | : I6.38 | I5.32 | I3.48 | I5.I8 | I5.03 | I2.62 | I5.24 | I6.24 | I4.22 | I4.73 |
| Fe O <sub>2 3</sub> | : 6.70  | 0.80  | 6.08  | 6.0   | 2.67  | 3.26  | 2.4I  | 3.4I  | I0.97 | 3.52  |
| TiO <sub>2</sub>    | : 0.77  | 0.I2  | 0.59  | 0.69  | 0.29  | 0.25  | 0.29  | 0.47  | 0.94  | 0.39  |
| CaO                 | : 4.92  | 0.64  | I.77  | 2.74  | 2.23  | 0.4I  | I.67  | 2.50  | 9.8I  | I.7I  |

"suite du tableau 9  
dans la page I22bi:

TABLEAU 9 "suite " groupe k ratophyrique :

| ch. MAS   | : | 285    | 206   | 209   | 254   | 256    | 260   | 262   | 264    | A     | B     |
|-----------|---|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
| MgO       | : | 3.25   | 0.20  | 2.35  | 2.25  | 1.28   | 0.70  | 0.68  | 0.39   | 6.24  | 1.12  |
| MnO       | : | 0.09   | 0.07  | 0.11  | 0.10  | 0.09   | 0.09  | 0.08  | 0.09   | 0.17  | 0.09  |
| K O<br>2  | : | 1.00   | 3.76  | 0.88  | 1.88  | 2.87   | 0.09  | 1.12  | 2.34   | 0.32  | 1.85  |
| Na O<br>2 | : | 4.89   | 4.04  | 4.13  | 4.14  | 4.61   | 6.08  | 4.50  | 5.10   | 2.35  | 4.66  |
| PF        | : | 1.60   | 1.16  | 1.86  | 2.08  | 1.10   | 1.05  | 1.70  | 0.95   | 3.31  | 1.25  |
| TOTAL     | : | 100.00 | 99.26 | 99.00 | 99.87 | 100.01 | 99.43 | 99.85 | 100.19 | 99.16 | 99.49 |
| R         | : | 45.6   | 7.6   | 26.0  | 31.5  | 23.0   | 6.2   | 22.9  | 25.3   | 78.16 | 20.36 |
| alc       | : | 18     | 38    | 20    | 21    | 29     | 34    | 27    | 30     | 27    |       |
| c         | : | 17     | 4     | 9     | 12    | 11     | 3     | 10    | 12     |       |       |
| fm        | : | 33     | 5     | 36    | 31    | 18     | 20    | 15    | 14     |       |       |
| al        | : | 22     | 53    | 35    | 36    | 42     | 43    | 48    | 44     |       |       |
| mg        | : | 0.49   | 0.30  | 0.44  | 0.43  | 0.49   | 0.30  | 0.36  | 0.19   |       |       |
| si        | : | 200    | 433   | 302   | 260   | 325    | 433   | 387   | 315    |       |       |

### b) Paramètres et diagrammes de Niggli

On a calculé tous les paramètres de Niggli en se basant sur une expression en moles x 1000 de l'analyse chimique de la roche étudiée. Et on les a représentés dans les divers diagrammes globales de Niggli.

Les paramètres sont les suivants :

$$\text{La somme est : } S = \frac{(Al_2O_3)}{2} + \frac{(2FeO)}{2} + (MgO) + (CaO) + \frac{(NaO)}{2} + \frac{(K_2O)}{2}$$

$$° - al = 100 \frac{\frac{(Al_2O_3)}{2}}{S}$$

$$° - fm = 100 \frac{\frac{2(FeO)}{2} + (FeO) + (MgO)}{S}$$

$$° - c = 100 \frac{(CaO)}{S}$$

$$° - alc = 100 \frac{\frac{(NaO)}{2} + \frac{(K_2O)}{2}}{S} \dots\dots\dots(03).$$

$$° - si = 100 \frac{\frac{(SiO_2)}{2}}{S}$$

$$° - mg = \frac{(MgO)}{2} + \frac{(FeO)}{2} + \frac{(MgO)}{2 \frac{(FeO)}{2}}$$

Les valeurs des paramètres calculés ont été représentés dans le tableau no=9. On constate que :

$$\begin{array}{l} alc_{spil.} < alc_{kéra.} ; c_{spil.} > c_{kéra.} ; fm_{spil.} > fm_{kéra.} \\ al_{spil.} < al_{kéra.} ; si_{spil.} < sia_{kéra.} \end{array}$$

Les diagrammes faits sont :  $alc = f(si)$  ;  $c = f(si)$  ;  $fm = f(si)$   
 $al = f(si)$  (Fig.42).

On constate que dans  $alc=f(si)$  et  $al=f(si)$  il y a une croissance des valeurs  $alc$  et  $al$  de spilites vers kératophyres."pente de la droite est + " (Fig.41 C-D).Et dans  $fm=f(si)$  ;  $c=f(si)$  ,la croissance est de kératophyres vers spilites ."La pente est - ".(Fig.42A-B). Dans le diagramme  $alc=f(si)$  on constate que les échantillons ayant une tendance spilitique sont rapprochés et ceux ayant une tendance kératophyrique sont bien étalés.On arrive ,dans ces diagrammes plus ou moins à une alignement et à une continuité des points permettant de penser que les roches étudiées forment une même famille magmatique ayant évolué essentiellement par la différenciation.On attribue cet effet d'alignement à une silicification progressive du magma spilitique avant l'épanchement.(diagrammes  $alc/si$  et  $al/si$ ) Inversement dans le cas de  $fm/si$  et  $c/si$  on attribue cet effet d'alignement à une d silification progressive avant l'épanchement.

On a construit aussi des diagrammes  $al, fm, c, alc$  en fonction de  $mg$ .(Fig.43).Et on a constaté que :

" $al$ "et" $alc$ " augmentent de spilites vers kératophyres et inversement " $c$ "et" $fm$ " diminuent de spilites vers kératophyres.

(Fig.43 A-B-C-D).

#### CIV-2-Diagramme de Jung "calco-alcalinité" du volcanisme

de Tsalabia el Khadra -----

Ce diagramme a été proposé en 1955 pour les études des associations de laves.

$$R = 100 \frac{CaO}{CaO + Na_2O + K_2O} = f \left( \frac{SiO_2}{2} \right) \text{ en } \% \dots(C4).$$

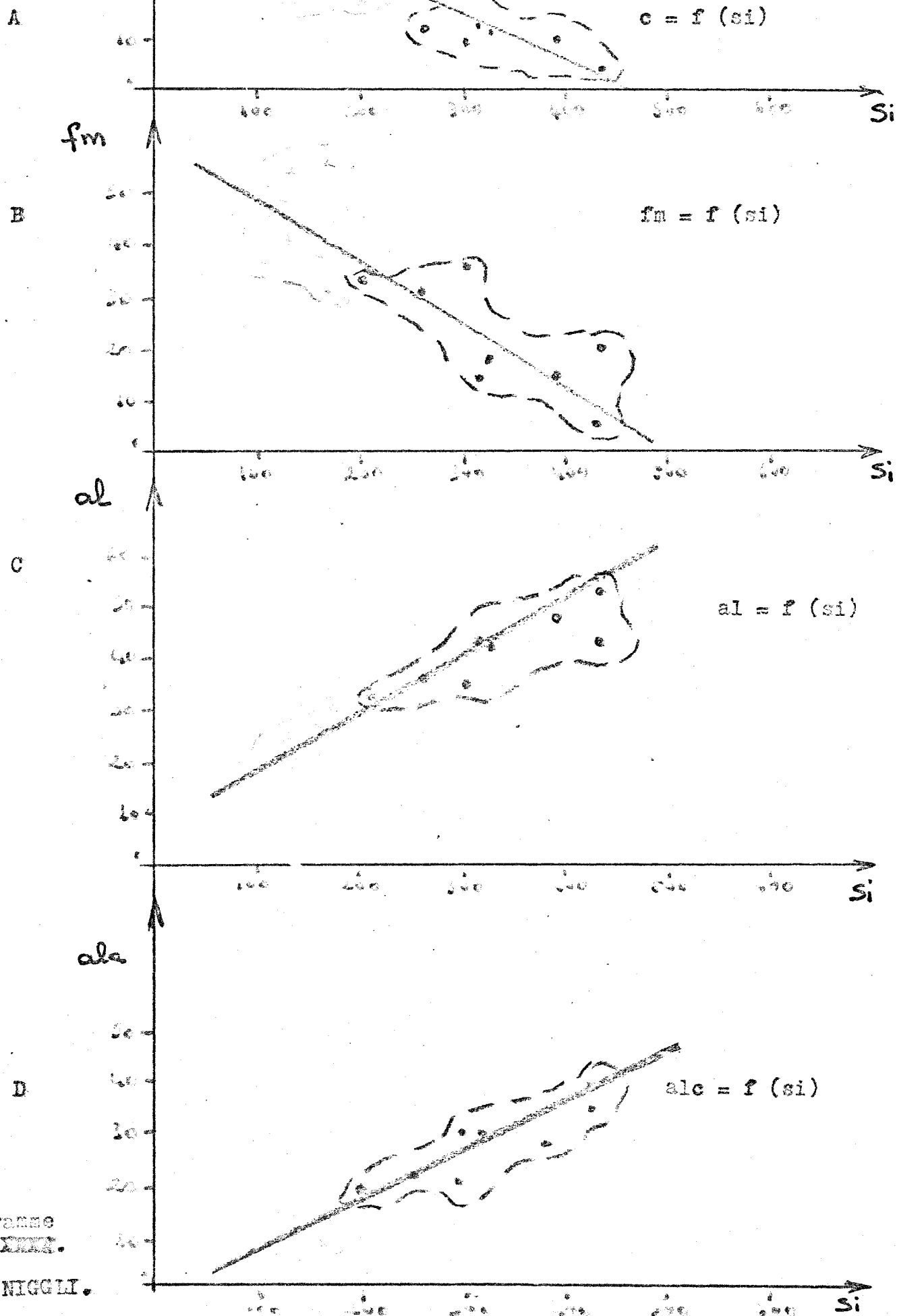
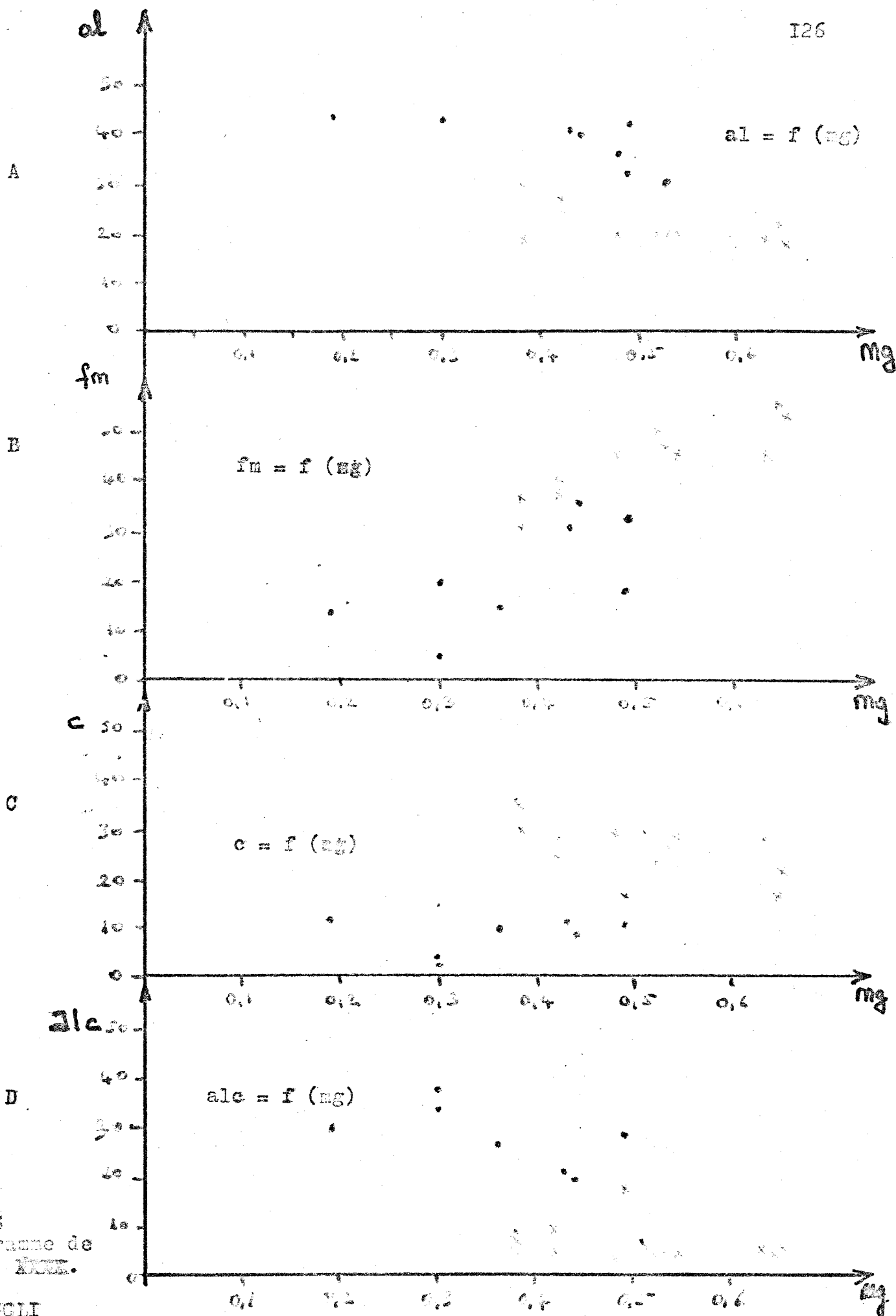


Fig. 42

Diagramme  
de XXXX.

NIGGLI.





Les points représentatifs s'alignent suivant une courbe régulière et l'intersection de cette courbe avec la droite  $R = 50$  donne en abscisse un indice de "calco-alcalinité" ( $i$ ). (Fig.44).

Si  $i \leq 51$  volcanisme est "alcalin"

Si  $51 < i \leq 56$  "alcali-calcique"

Si  $56 < i \leq 61$  "calco-alcalin"

Si  $i > 61$  "calcique".

On a trouvé une valeur de  $i = 58$ , donc le volcanisme est de type "calco-alcalin". (Fig.44).

NB: R pour les différents échantillons est calculé et montré dans le tableau no=9;.

CIV-3-Indice de Rittmann -----

Rittmann a défini (1963) un indice de série permettant de classer une roche volcanique dans l'une de 3 grandes séries classiquement désignées sous le nom de :

- ° Série Atlantique : alcali-sodique
- ° Série Pacifique : calco-alcalin
- ° Série Méditerranéenne : potassique.

Cet indice est :

$$\sigma = \frac{\frac{(Na_2O + K_2O)}{2}}{\frac{SiO_2}{2} - 42} \dots\dots\dots (C5).$$

Cet indice varie de la manière suivante:

- °  $\sigma < 4$  .....: Pacifique

-série atlantique si  $\frac{Na_2O}{2} > \frac{K_2O}{2}$

- °  $\sigma > 4$  .....:

-série méditerranéenne si

$\frac{K_2O}{2} > \frac{Na_2O}{2}$ .

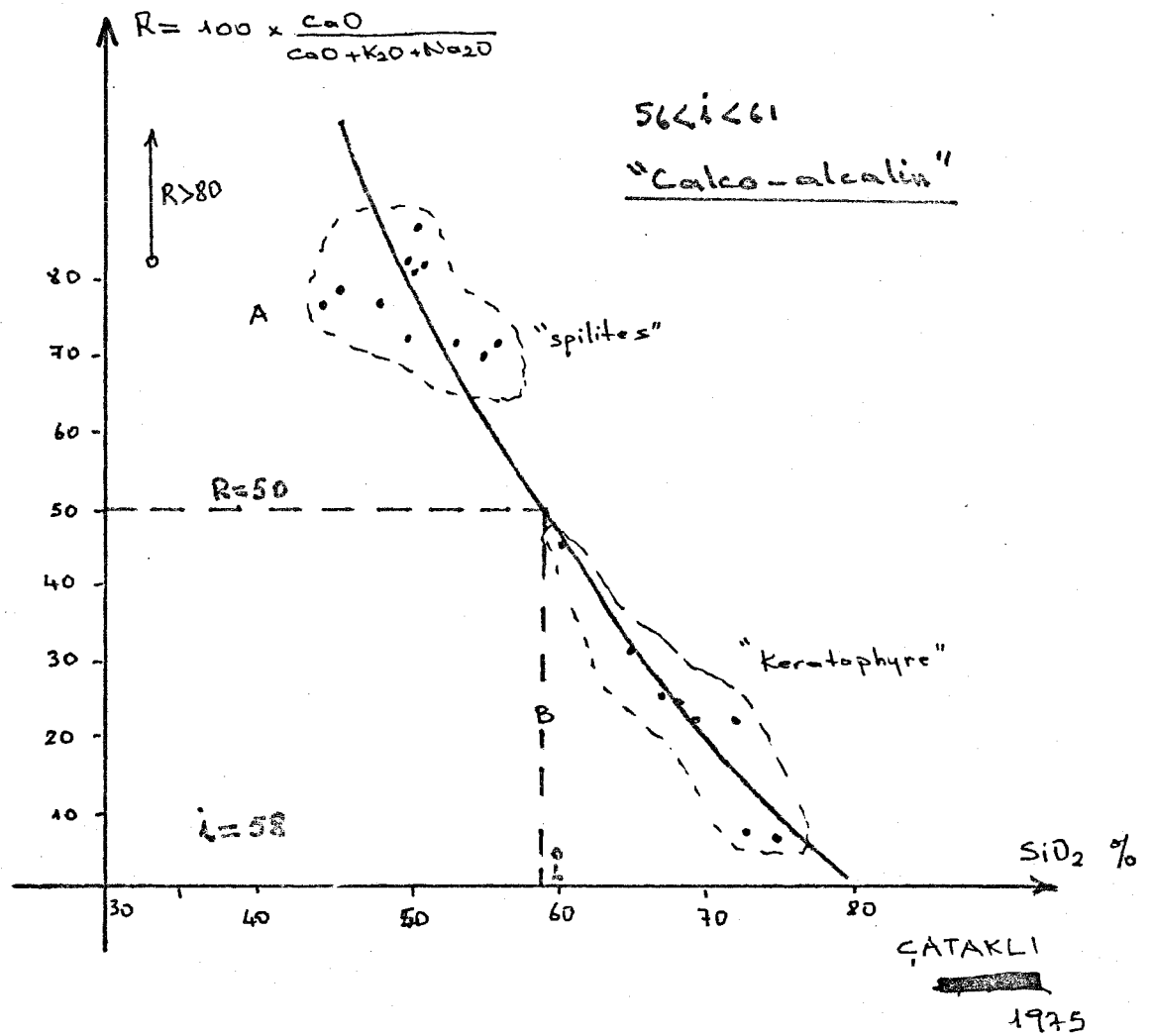


FIG. 44 - Diagramme de calco-alcalinité de YONG pour la série volcanique "probablement spilité-keratophyrique" de Tsalobia El Khedra (Mauritanie).

On a calculé l'indice de Rittmann pour les échantillons de Tsalabia el Khadra qui sont les suivants :

Groupe A "spilites" :

TABLEAU no=10

| éch. MAS:  | 155  | 198b | 201  | 202  | 204  | 253  | 258  | 259b |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\Gamma$ : | 2.48 | 0.93 | 0.56 | 0.54 | 0.81 | 0.40 | 0.73 | 7.84 |

| éch. MAS:  | 251  | 281  | 282  | 285° | moyen |                   |
|------------|------|------|------|------|-------|-------------------|
| $\Gamma$ : | 0.56 | 0.33 | 1.31 | 1.89 | 1.50  | ° "intermédiaire" |

Groupe B "kératophyres" :

| éch. MAS:  | 206  | 209  | 254  | 256  | 260  | 262  | 264  | moyen |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $\Gamma$ : | 2.88 | 0.98 | 1.59 | 2.01 | 1.16 | 1.05 | 2.07 | 1.70  |

On a constaté que la série volcanique de Tsalabia el Khadra a une valeur de  $\Gamma$  de 1.59 (en moyen) étant inférieur à 4 donc elle a un caractère de pacifique, c'est à dire " calco-alcalin ".

~~Faut pas~~

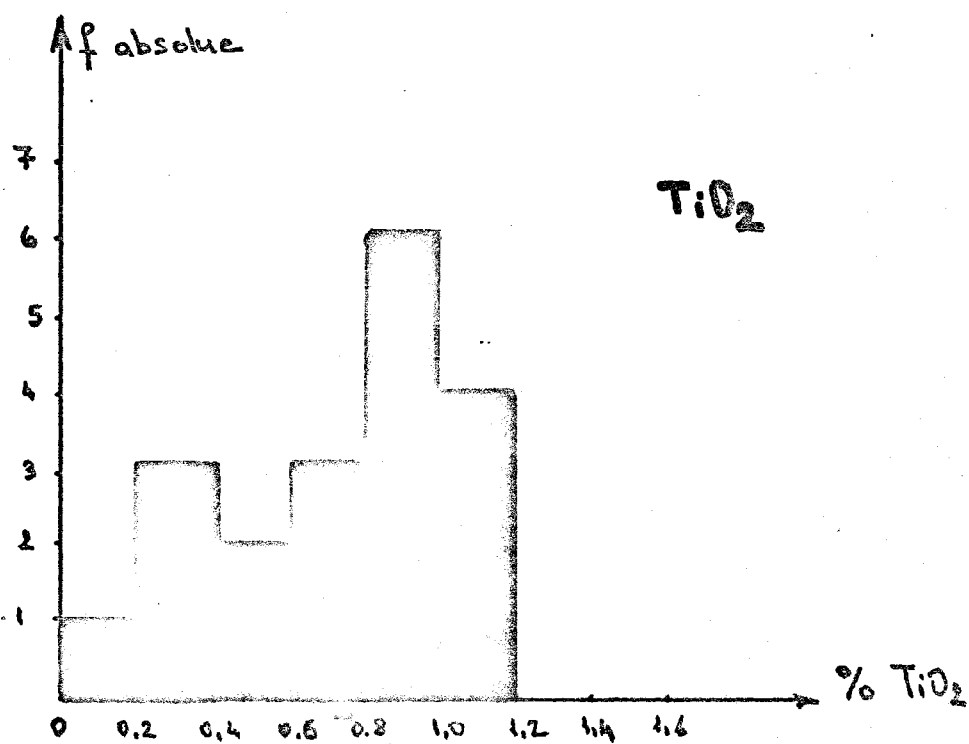
Faut pas oublier que l'indice de Rittmann pour les kératophyres est bien supérieur à celui pour les spilites.

#### CIV-4-Problème de Titane -----

On a établi un histogramme de  $TiO_2$  dans l'association spilito-kératophyre proposée. Dans ce histogramme  $TiO_2$  est maximal entre 0.8-1 % et moyen en 0.73 %, son écart-type est de 0.09. (Fig.45). En constatant la faiblesse de  $TiO_2$  ( $< 1\%$ ) on attribue cette série au volcanisme de type pacifique "calco-alcalin" (BEBIEN).

=====

CATAKLI Ahmet Sevket....



. CATAKLI

moyen  $m = 0,73\%$  $\sigma = 0,09$ 

FIGURE : 45-

Histogramme des  $\text{TiO}_2$  pour la série de Tsakalio  
et Khachia

Catakli

APENDIX

| Ech.              | MAS : | 220a  | 220b  | 23I   | 28I-2 | I36b  | I40   | 206   | 256   |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>  | % :   | 60.48 | 71.8I | 74.94 | 50.7I | 66.54 | 70.12 | 73.15 | 69.8  |
| Na <sub>2</sub> O | % :   | 3.57  | 4.60  | 3.8I  | 1.38  | 3.87  | 4.68  | 4.04  | 4.6   |
| <hr/>             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                   | :     | I79   | 259b  | I5Ib  | 285   | 258   | 263-I | I55   | 262   |
| SiO <sub>2</sub>  | % :   | 69.56 | 44.24 | 69.76 | 60.40 | 56.20 | 47.18 | 45.53 | 72.1  |
| Na <sub>2</sub> O | % :   | 5.05  | 3.76  | 5.62  | 4.89  | 2.77  | 0.20  | 2.49  | 4.5   |
| <hr/>             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                   | :     | 202   | 260   | 264   | I65   | 254   | I53   | 253   | I98b  |
| SiO <sub>2</sub>  | % :   | 50.70 | 74.88 | 68.70 | 78.20 | 64.8I | 58.33 | 50.64 | 55.2  |
| Na <sub>2</sub> O | % :   | 2.05  | 6.08  | 5.10  | 3.68  | 4.14  | 0.60  | 1.86  | 3.39  |
| <hr/>             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                   | :     | 282   | I52   | 237a  | 250   | 265   | 25I   | 237b  | I69   |
| SiO <sub>2</sub>  | % :   | 47.94 | 49.30 | 54.89 | 71.75 | 69.37 | 50.57 | 50.78 | 75.0  |
| Na <sub>2</sub> O | % :   | 1.60  | 0.42  | 3.9I  | 3.70  | 3.29  | 1.90  | 2.20  | 4.3   |
| <hr/>             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                   | :     | I67   | 204   | 2II   | 209   | I7I   | I77   | I63   | 2I3   |
| SiO <sub>2</sub>  | % :   | 76.53 | 53.66 | 73.75 | 67.67 | 53.86 | 76.16 | 73.47 | 72.06 |
| Na <sub>2</sub> O | % :   | 3.80  | 2.17  | 3.79  | 4.13  | 3.89  | 2.79  | 4.59  | 3.48  |
| <hr/>             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|                   | :     | 2I5   | 2I7   | I36a  | I80   | 225   | I5Ia  | 239   | 20I   |
| SiO <sub>2</sub>  | % :   | 65.50 | 73.9I | 60.92 | 60.95 | 76.10 | 49.09 | 74.79 | 50.43 |
| Na <sub>2</sub> O | % :   | 3.15  | 5.17  | 3.26  | 5.46  | 4.32  | 2.29  | 4.06  | 2.07  |

"Laboratoire de Petrologie de Nancy"

BIBLIOGRAPHIE

- I-ADLER (I) .....: 1966 X ray emission spectrography in geology.  
Elsevier Amst. vol.4 258p.
- 2-ALEGRE (R) .....: Spectrométrie X des éléments légers.  
Documentation des ciments ; La Farge.
- 3-ALEXIS VOLBORTH .....: 1969 Elemental analysis in geochemistry  
A-Major elements.Elsevier Publishing Company  
vol.8.
- 4-BIRKS (L.S) .....: X-ray spectrochemical analysis.Intersciences  
New-York. NY 144p.
- \*5-BORNUAT (M) .....: 1972 Prospection de la dorsale Requibat ~~ex~~  
Centrale(Mauritanie).Mission BRGM Dakar.
- 6-BUREAU (J) .....: Les méthodes actuelles de l'analyse spectroscopique.
- 7-CARIOU (B) .....: 1974 Analyse par spectrométrie de RX de  
fluorescence.Rapport du stage.CUCES.
- 8-CAUCHOIS (Y) .....: Introduction à l'étude expérimentale de la  
structure de la matière.
- 9-CHARLES-HUTCHISON (S): 1974 Laboratory Handbook of Petrography  
technics.John Wiley-Sons.
- 10-CHARLOT (G)-BEZIER (D):1955 analyse quantitative minérale.Masson Paris
- 11-CLAISSE (F) .....:1956 Analyse quantitative précise par FX.  
R.P n°=327 Ministère des Mines Quebec.
- 12-CLAISSE (F)-SAMSON (C):1962 Effet des hétérogénéités en Fluorescence  
de RX. Quebec.
- 13-COLLOQUE DE LYON.....:1967 7<sup>ème</sup> colloque d'analyse par diffractomètre  
et spectrométrie.de RX.
- 14-COLLOQUE DE FLORENCE...:1969 8ème colloque sur l'analyse de la matière

- I5-COMPTE-RENDUE DU COLLOQUE RX :I973 MONACO-SIEMENS.
- \*I6-DESCHAMPS (M) .....: I974 Etude métamorphique d'une série volcano-sédimentaireacide.(Mauritanie).  
2ème réunion annuelle des Sciences de la Terre.Pont à Mousson Nancy Page:I44.
- \*I7-DESCHAMPS (M)-ROCCI (G)...: I975 UN NOUVEAU témoinx du Protérozoïque inf. dans la Dorsale Réquibat:La série de Tsalabia el Khadra.(Mauritanie).  
C.R.Acad.SC; Paris t.280 série D p:943-46
- I8-FRESENIUS (CR).....: I875 Précis d'analyse chimique quantitativ
- I9-GRILLOT (H)-BEQUINOT (J)-BOUCETTA (M)-ROUQUETTE (C)-SIMA (A) :I964  
Methode d'analyse quantitative appliquée aux roches.BRGM Paris.
- 20-GUINIER .....:I964 Théorie et technique de la radio - cristallographie.Paris Dunod.
- \*2I-JUTEAU (Th)-ROCCI (G)....:I966 Etude chimique du massif volcanique de Schirmeck.Evolution d'une série spilite-kératophyre.Sc. de la Terre t;XI n°=I P.68 àI04.
- \*22-JUTEAU (Th)-ROCCI (G)....:I974 Vers une meilleurs connaissance du problème des spilites."Reprint from spilite and spilitic rocks" ed.by G.C.Amstutz.  
New-York p:253-329.
- \*23-La ROCHE de. (H).....:I964 Sur l'expression graphique des relatio entre la composition chimique et minéralogi quantitative des roches cristallines.  
Sc. de la Terre. 9 p:293-337.



- 24-La ROCHE de. (H)-GOVINDARAJU (K) .:I969 Rapport sur deux roches  
diorite et serpentinite (DRN-~~UBN~~)  
proposées comme étalons analytiques  
Extr. Bull. Soc. Français Céramique  
n°=85 p:35-50.
- \*25-La ROCHE de. (H)-JUTEAU (Th)-ROCCI (G) :I969 Essai de caractérisation  
chimique des associations spilitiques  
ed. G.C.Amstutz. p:39-58.
- \*26-LAMEYRE (J)-ROCCI (G)-DIDIER (J) .:I974 Granites orogéniques et  
cratoniques.Centenaire de la  
Géol. Belgique. Liège. p:I83-22I.
- 27-LEGRAND (C).....: La radiocristallographie n°=I243  
"Que sais-je".
- 28-LIEBHAFSKY (H.A)-PFEIFFER (H.G)-WINSLOW (E.H)-ZEMANY (P.D) :I960  
X-ray absorption and emission in  
analytical chemistry.Wiley 357p.
- 29-MARIEE (M) .....:I968 Fluorescence X et microsonde  
électronique. Ganos.
- \*30-PECHER (A) .....:I972 Données sur la construction  
de quelques diagramme petrographiques  
et géochimiques.Ins.Dolomieu Grenoble  
Série documentaire n°=72-D2I.
- 3I-POMEY (G) .....: Notion fondamentale sur RX. Irsid.
- \*32-ROCCI (G) .....:I957 Formation métamorphique et  
granitique de la partie occidentale  
du Pays Réquibat.Bull.Dir.Mines et  
Géol. A.O.F Dakar n°=2I 2vol.Thèse.
- \*33-ROCCI (G) .....:I959 Sur l'existence d'un complexe  
des granites à l'W africain.Comp.Rend  
t.248 p:3588-3590. Séance Acad. Scier

- 34-ROSE (H.J)-ADLER (I)-LANAGAN (F.J)...:1963 X-ray fluorescence analysis  
of the light elements in rocks.Appl.Spec  
I7(4) 81-85.
- 35-RÜSLER (H.J)-LANGE (H) ....:1972 Geochemical Tables RX.Elsevier  
Publ. Company.
- 36-ROUBAULT (M)-LA ROCHE de.(H)-GOVINDARAJU (K) :1970 Etat actuel des  
études coopératives sur les standards  
géochimiques du CRPG.Science de la Terre  
t. XV n°=4 p:351-393.
- 37-ROUGEOT (L) .....: RX . " Que sais-je " n°= 70.
- \*38-TANE (J.L).....: 1967 Contribution à l'étude du phénomène  
de spilitisation.Trav. Labo.Géol.  
Grenoble. 43 p:187-192.
- 39-TERTIAN (R).....: 1972 FX.sur l'analyse des poudres et  
matériaux par la méthode des solutions  
solides.Thèse Doc. d'Etat .Paris VI.
- 40-THIBAUD .....: Les RX. Armand Collin.
- 41-VOINOVITCH (IA)-DEBRAS GUEDON (J)-LOUVRIER (J):1962 Analyse des  
silicates. Paris Hermann. 512 pages.

NB: \* = sont des références pour les chapitres A et C .

---

CATAKLI Ahmet Sevket.

