

SÉANCE MENSUELLE DU 21 OCTOBRE 1947.

Présidence de M. A. HACQUAERT, président.

Sur la proposition du président, sont admis en qualité de membres effectifs :

MM. PAUL MICHOT, professeur à l'Université de Liège, 38, rue Henri Vieuxtemps, à Liège; présenté par MM. R. Cambier et A. Delmer.

VICTOR M. LOPEZ, chef du Service géologique des États-Unis du Venezuela, à Caracas; présenté par MM. F. Kaisin Sr et Jr.

FR. MOORMANN, ingénieur agronome, Toeristenlaan, 13, De Panne; présenté par MM. A. Hacquaert et R. Tavernier.

F. SNAKKEN, licencié en Sciences géographiques, Kortrijkse steenweg, 173, Gent; présenté par MM. A. Hacquaert et R. Tavernier.

Dons et envois reçus :

1° De la part des auteurs :

- 9631 Technische Hoogeschool te Delft. Programma der lessen voor het studiejaar 1947-1948. Delft, 1947, 193 pages.
- 9632 *Fraselle, E.* Introduction à l'étude de l'atmosphère congolaise. La prévision du temps à longue échéance en Afrique équatoriale. Bruxelles, 1947, 54 pages.
- 9633 *Haenecour, R.* Recherches sur les voies de communication préhistoriques dans la Gaule belge. Bruxelles, 1947, 53 pages et 2 planches.
- 9634 *Jamotte, A.* Les travaux hydrogéologiques au Katanga. Bruxelles, 1946, 19 pages.
- 9635 *Jamotte, A.* Over IJzer- en Mangaanertsens uit Katanga. Gand, 1947, 4 pages et 1 figure.
- 9636 *Oulianoff, Nicolas.* Compte rendu des excursions de la Société Géologique Suisse dans le Valais du 30 août au 3 septembre 1942. III. Région du Grand-Saint-Bernard. Bâle, 1942, 10 pages et 1 planche.

9637. *Oulianoff, Nicolas*. Le tremblement de terre du 25 janvier 1946 et la structure profonde des Alpes. Lausanne, 1947, 24 pages et 5 figures.
- 9638 *Reyna, J. G.* El Azufre. Mexico, 1945, 80 pages et 33 figures.

2° Nouveaux périodiques :

- 9640 *Stockholm*. Statens Meteorologisk-Hydrografiska Anstalt. Serien Uppsatser. N^{os} 1, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 16, 17, 24, 25, 27, 30, 46, 48 (1935-1945).
- 9641 *Stockholm*. Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. Meddelanden, Serie B. N^{os} 1, 2, 3, 4 (1945-1947).
- 9642 *Stockholm*. Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut. Meddelanden, Serie D. N^o 1 (1947).
- 9643 *Melbourne*. Mining and Geological Journal. Vol. I, n^{os} 1 à 4 (1937-1939). Vol. II, n^{os} 1 à 6 (1939-1942). Vol. III, n^o 1 (1947).
- 9644 *Mexico*. Comité Directivo para la Investigación de los Recursos Minerales de Mexico. Boletín. N^{os} 2 à 13 (1945-1947).

Divers :

La Compagnie Internationale des Wagons-Lits a fait savoir qu'elle est désignée comme agent officiel pour l'organisation du voyage et le logement des participants au 18^e Congrès Géologique International qui se tiendra à Londres du 25 août au 1^{er} septembre 1948. S'adresser au Service commercial de cette Compagnie, 53, boulevard Clovis, à Bruxelles.

Communications des membres :

J. DELECOURT. — *Application de la notation équivalente à l'étude des analyses des roches éruptives.* (Texte ci-après.)

C. STEVENS. — *La structure tectonique du bassin de Mons; ses enseignements et ses problèmes.* (Projections lumineuses.) Cette communication a été donnée sous forme de conférence. On en trouvera le texte à la fin de ce tome.

Application de la notation équivalente à l'étude des analyses des roches éruptives (*),

par J. DELECOURT.

Le but de ce travail est de donner aux pétrographes le moyen de s'initier aux méthodes de calculs conduisant à la transcription équivalente des analyses de roches éruptives. Les exemples numériques ont été choisis de telle sorte qu'avec un peu d'habitude on pourra par la suite aborder franchement les cas de transcription les plus compliqués.

Les résultats obtenus seront commentés au fur et à mesure de l'exposé. Ceci m'amènera à proposer, à la fin de cette note, un premier essai de classification équivalente des roches éruptives.

Le lecteur pourra se convaincre :

1° que l'estimation en milliéquivalents est beaucoup plus précise et plus souple que toutes les autres;

2° que les calculs équivalents sont beaucoup moins conventionnels que ceux de toutes les méthodes millimoléculaires;

3° qu'ils sont beaucoup plus courts.

En somme, j'ai voulu éviter les calculs longs et compliqués et les hypothèses illogiques ou inutiles.

1. Milliéquivalents et diviseurs équivalents.

Les analyses de roches éruptives sont toujours exprimées sous une forme standard. On estime en pourcentages : les oxydes, les anhydrides, le soufre des sulfures, le chlore et le fluor.

Les calculs moléculaires établissent le nombre de chacune des millimoles contenues dans une quantité de roche qui est fixée à 100.000 mgr.

En réalité, on se contente de faire les opérations, non pas sur 100.000 mgr, mais sur le total des matières dosées, qui est généralement compris entre 99.000 et 101.000 mgr. Le calcul équivalent accepte les mêmes approximations.

Supposons que l'analyse d'une roche nous donne Na_2O

(*) Manuscrit remis en séance.

= 6,32 % pour un total dosé de 99,78 %. Dans ce cas, pour 99.780 mgr de roche, nous aurons $\text{Na}_2\text{O} = 6.320$ mgrs.

En millimoles, nous aurons :

nombre de millimoles $\text{Na}_2\text{O} = 6.320 : 62$;
ou 101,93 millimoles Na_2O .

Comme chaque millimole contient deux milliéquivalents Na, le nombre de milliéquivalents Na sera donné par

$$n \text{ Na} = 101,93 \times 2,$$

ou, en arrondissant à l'unité, $n \text{ Na} = 204$.

Diviser par 62 pour obtenir des millimoles et multiplier ensuite par 2 pour obtenir des milliéquivalents revient à diviser directement Na_2O par $62 : 2 = 31$.

Le diviseur équivalentaire de Na_2O est ainsi égal à 31.

On peut estimer de la sorte la valeur de tous les diviseurs des éléments électro-positifs dont les fonctions sont franchement basiques :

Na, K, Li, Ca, Ba, Sr, Mg, Fe'' , etc.

Il est tout aussi simple d'évaluer les diviseurs des radicaux et équivalents franchement électro-négatifs PO_4 , SO_4 , CO_3 , Cl, F, S, etc.

Mais il existe des métaux acidifiables et des éléments franchement positifs qui se complaisent fort bien dans un radical acide.

Par exemple, dans une mole de spinelle $\text{Al}_2\text{O}_4.\text{Mg}$, les deux équivalents positifs Mg sont balancés par les deux équivalents négatifs du radical $\text{Al}_2\text{O}_4^{-2}$ des spinelles aluminatés, tout comme si l'on avait



Al_2O_3 fonctionne en somme dans ce cas comme un anhydride.

Dans d'autres cas, Al sera basique et Al_2O_3 fonctionnera comme un oxyde.

Il en est de même du fer ferrique qui peut former $\text{Fe}_2\text{O}_4.\text{Mg}$, dans lequel 6 équivalents Fe''' viennent remplacer 6 équivalents Al''' de spinelle. La magnétite peut d'ailleurs être considérée comme la combinaison du radical $\text{Fe}_2'''\text{O}_4^{-2}$ avec le métal Fe'' .

Dès lors, *le calcul équivalentaire aura à tenir compte de l'emplacement des amphotères*, qui se complairaient tout aussi bien avec les bases que les acides et occuperont même parfois simultanément les deux côtés du tableau.

Les amphotères auront donc au moins deux diviseurs équivalentaires. l'un positif et l'autre négatif.

Le tableau n° 1 va nous donner, sous ces réserves, les diviseurs équivalentaires nécessaires pour le calcul des analyses usuelles.

TABLEAU I.

Table des diviseurs équivalentaires.

Diviseurs électro-positifs : D+.

mgr H ₂ O : 18 = n H	mgr Al ₂ O ₃ : 17 = n Al'''
mgr Li ₂ O : 15 = n Li	mgr FeO : 36 = n Fe''
mgr Na ₂ O : 31 = n Na	mgr MnO : 35,5 = n Mn''
mgr K ₂ O : 47 = n K	mgr NiO : 37,5 = n Ni''
mgr CaO : 28 = n Ca	mgr Fe ₂ O ₃ : 26,7 = n Fe'''
mgr BaO : 77 = n Ba	mgr ZrO ₂ : 30,8 = n Zr''''
mgr SrO : 52 = n Sr	mgr MgO : 20 = n Mg

Diviseurs électro-négatifs : D-.

mgr Cl : 35,5 = n Cl	mgr Al ₂ O ₃ : 51 = n Al ² O ⁴
mgr F : 19 = n F	mgr Fe ₂ O ₃ : 80 = n Fe ² O ⁴
mgr CO ₂ : 22 = n CO ³	mgr Cr ₂ O ₃ : 76 = n Cr ² O ⁴
mgr SO ₃ : 40 = n SO ⁴	mgr TiO ₂ : 40 = n TiO ³
mgr P ₂ O ₅ : 23,7 = n PO ⁴	mgr S : 16 = n S
mgr CO ₂ : 44 = n HCO ³	mgr H ₂ O : 18 = n OH

2. Premier exemple numérique de transcription milliéquivalente.

Le Prof^r Buttgenbach a bien voulu m'autoriser à transcrire sous la forme nouvelle quelques-unes des analyses publiées dans deux de ses plus remarquables travaux (1) (2).

Qu'il me soit permis de l'en remercier vivement. Les analyses choisies ont été interprétées dans les ouvrages cités dans tous les systèmes de notations et de paramètres millimoléculaires.

Les calculs équivalentaires du tableau II nous indiquent: en première colonne, les chiffres de l'analyse en milligrammes; en D- et D+, les diviseurs du tableau I; en dernières colonnes, les nombres de milliéquivalents obtenus.

Nous avons placé tout l'aluminium du côté des bases, parce que la roche est beaucoup trop acide pour contenir des spinelles aluminatés.

(1) H. BUTTGENBACH, *Introduction à l'étude des roches ignées*, Paris, Dunod; Liège, Vaillant-Carmanne (1939).

(2) H. BUTTGENBACH, *Les minéraux et les roches*, 7^e édition, Paris, Dunod; Liège, Vaillant-Carmanne (1943).

TABLEAU II.
Premier exemple numérique.

	mgr	Diviseurs		Milliéquivalents	
		D—	D+	negatifs	positifs
SiO ²	77.940				
Al ² O ³	11.520	—	17		n Al = 678
Fe ² O ³	1.280	80	—	n Fe ² O ⁴ = 16	
FeO	1.110		36		n Fe' = 31
CaO	1.080		28		n Ca = 38
MgO	350		20		n Mg = 18
Na ² O	2.320		31		n Na = 75
K ² O	4.330		47		n K = 92
TiO ²	120	40		n TiO ³ = 3	
P ² O ⁵	100	23,7		n PO ⁴ = 4	
	100.150			n MA = 23	n B = 932
H ² O	180	18	18	n OH = 10	n H = 10
	100.330				N h = 942

Nous avons placé le fer ferrique du côté des milliéquivalents acides pour former la magnétite. La roche est en effet de la série magnésienne, ce qui se caractérise équivalentairement par

$$3(n K + n Na + n Ca) < n Al.$$

Nous trouvons que la somme des équivalents basiques, hydrogène excepté, est égale à

$$n B = 932.$$

Le total $n MA = 23$ représente le nombre des milliéquivalents négatifs du groupe des minerais et de l'apatite.

Dès lors, pour un balancement correct de l'analyse, il nous manque $932 - 23 = 909$ milliéquivalents négatifs.

Nous devons les attribuer aux radicaux acides de la silice. Nous posons donc

$$n Sil = n B - n MA$$

et

$$n A = n Sil + n MA.$$

$n Sil$ est le nombre des équivalents électro-négatifs des silicates.

C'est le *nombre silicaté*.

n A qui doit être égal à n B est le *nombre anhydre*.

N h est le *nombre hydraté*.

n MA est attribuable aux minerais et à l'apatite.

3. La silice équivalente.

Nous avons déjà défini la silice équivalente SiE ⁽³⁾.

Dans le cas présent ce sera le rapport de la silice dosée au nombre silicaté :

$$\text{Si E} = \text{mgr. Si O}_2 : n \text{ Sil,}$$

ou

$$\text{Si E} = (77.940 : 909) \text{ mgr.}$$

La valeur de la silice équivalente est donc

$$\text{Si E} = 85,74 \text{ mgr.}$$

C'est beaucoup, puisque, d'après le tableau n° III, le radical silicaté absorbant le plus de silice est Si_3O_8 , exigeant 45 mgr SiO_2 par équivalent. La roche est donc franchement quartzique.

TABLEAU III.

Radicaux	Valences	P. mol.	Équivalents	SiE	Minéraux types
Si^3O^8	4	212	53,00	45,00	Orthose
Si^8O^{23}	14	592	42,29	34,29	Trémolite-aq
SiO^3	2	76	38,00	30,00	Diopside
Si^2O^7	6	168	28,00	20,00	Serpentine-aq
$\text{Si}^{10}\text{O}^{36}$	32	856	26,75	18,75	Cordiérite-aq
Si^8O^{11}	10	260	26,00	18,00	Muscovite-aq
SiO^4	4	92	23,00	15,00	Olivine
SiO^5	6	108	18,00	10,00	Andalousite
SiO^6	8	124	15,50	7,50	(Radical de Tschermak)

Rappelons que l'équivalent E et la silice équivalente SiE sont liés par la relation

$$E = \text{Si E} + 8.$$

Le chiffre 8 représente un équivalent oxygène.

(³) J. DELECOURT, Roches éruptives, rayons X et équivalents (*Bull. de la Soc. belge de Géol., de Paléontol. et d'Hydrol.*, t. LV, 1946, pp. 239-259).

4. Le granite de Madagascar et ses types hétéromorphes.

La roche dont nous avons établi l'analyse équivalente est un granite de Madagascar. Mais il se pourrait qu'il existe d'autres roches définies par le même bilan : des rhyolites, des porphyres très quartzifères, d'autres granites. L'analyse équivalente s'applique donc non seulement au granite de Madagascar, mais aussi aux roches qui auraient

- 1° la même analyse chimique;
- 2° le même bilan équivalentaire.

Ce seraient les *hétéromorphes normaux* du granite examiné.

Au contraire, si, en raison d'un déplacement d'amphotères, deux roches étaient caractérisées par

- 1° la même analyse chimique;
 - 2° deux bilans équivalentaires différents,
- elles seraient opposées par l'*hétéromorphisme anormal*.

Puisque la roche que nous examinons est dépourvue de spinelles aluminatés, l'hétéromorphisme anormal ne pourrait provenir que du déplacement d'une partie des équivalents $\text{Fe}_2\text{O}_4^{-2}$ attribués conventionnellement à la magnétite et susceptibles de former des minéraux ferriques autres que des pyroxènes ou des amphiboles ferri-sodiques dévolus aux roches hypersodiques.

5. Les zones.

Le granite de Madagascar appartient à la *série lithologique A* ou des roches magnésiennes. Toute série lithologique peut être divisée en zones déterminées par des valeurs de SiE.

Ce sont :

Zone 1.	$75 \leq \text{SiE} < \infty$
Zone 2.	$60 \leq \text{SiE} \leq 75$
Zone 3.	$45 \leq \text{SiE} \leq 60$
Zone 4.	$30 \leq \text{SiE} \leq 45$
Zone 5.	$15 \leq \text{SiE} \leq 30$

Dans les zones 1, 2 et 3, comme $\text{SiE} > 45$, nous aurons toujours affaire à des roches quartziques. Dans la zone 4, elles peuvent l'être ou ne pas l'être.

Dans la zone 5, je crois qu'elles ne le sont jamais. Le granite

de Madagascar appartient donc à la zone 1 de la série A, puisque

$$\text{Si E} = 85,74 \text{ mgr.}$$

et que

$$3(n \text{ Na} + n \text{ K} + n \text{ Ca}) < n \text{ Al.}$$

6. Les indices équivalentaires absolus.

Le nombre silicaté du granite de Madagascar est

$$n \text{ Sil} = 909.$$

Le total des équivalents acides est représenté par

$$n \text{ A} = 932.$$

Le pourcentage des équivalents des silicates est ainsi

$$I \text{ Sil} = (909 : 932) \times 100.$$

I sil est l'*indice de silicatisation*.

L'*indice d'impureté* est donné par

$$I i = (n \text{ MA} : n \text{ A}) \times 100.$$

L'*indice ferro-magnésien* vaut

$$I \text{ fm} = 100 (n \text{ Mg} + n \text{ Fe}) : n \text{ A.}$$

L'*indice alcalin* est défini par

$$I a = 100 (n \text{ Na} + n \text{ K}) : n \text{ A.}$$

Enfin l'*indice d'hydratation* est donné par

$$I h = 100 n \text{ H} : N h.$$

Nous trouvons ainsi pour le granite de Madagascar et ses hétéromorphes normaux :

$$\begin{aligned} I \text{ sil} &= 97,54 \% \\ I i &= 2,46 \% \\ I \text{ fm} &= 5,26 \% \\ I a &= 17,92 \% \\ I h &= 1,06 \% \end{aligned}$$

L'indice ferro-magnésien indique une *roche leucocrate*.

Remarquons que les indices absolus se déterminent sans préjuger d'aucune combinaison entre les radicaux acides et les éléments basiques.

7. Le gabbro du Wisconsin.

Empruntons une deuxième analyse au travail du Prof^r Buttgenbach. Elle se rapporte à un gabbro du Wisconsin. On trouve par la même méthode :

TABLEAU IV.

Gabbro du Wisconsin.

	D—	D+	Milliéquivalents—	Milliéquivalents+
SiO ²	47.340		n Sil = 1.875	
Al ² O ³	11.560	17		n Al = 681
Fe ² O ⁴	3.520	80	n Fe ² O ⁴ = 44	
FeO	5.710	36		n Fe'' = 159
MnO	130	35,5		n Mn = 3
MgO	13.200	20		n Mg = 660
CaO	9.200	28		n Ca = 329
Na ² O	2.730	31		n Na = 88
K ² O	2.170	47		n K = 46
TiO ²	880	40	n TiO ³ = 22	
P ² O ⁵	590	23,7	n PO ⁴ = 25	
	97.030		n A = 1.966	n B = 1.966
H ² O	2.740		n OH = 152	n H = 152
	99.770		Nh = 2.118	Nh = 2.118

On détermine ainsi :

$$\text{SiE} = (47.340 : 1.875) \text{ mgr ou SiE} = 25,25 \text{ mgr,}$$

$$\text{I sil} = 187.500 : 1.966 \text{ ou I sil} = 95,37 \%,$$

$$\text{I i} = 9.100 : 1.966 \text{ au I i} = 4,63 \%,$$

$$\text{I fm} = 100.(159 + 3 + 660) : 1.966 \text{ ou I fm} = 41,81 \%,$$

$$\text{I a} = 100.(88 + 46) : 1.966 \text{ ou I a} = 6,82 \%,$$

$$\text{I h} = 15.200 : 2.118 \text{ ou I h} = 7,18 \%.$$

La roche est certainement du *type calco-magnésien* ou de la *série B*. En effet, même si nous attribuons tous les équivalents TiO₃ et PO₄ au calcium, nous trouverons encore que

$$3(n \text{ Na} + n \text{ K}) < n \text{ Al} < 3(n \text{ Na} + n \text{ K} + n' \text{ Ca})$$

avec

$$n' \text{ Ca} = n \text{ Ca} - n \text{ Ti O}_3 - n \text{ PO}_4.$$

La roche est définie par

- 1° série lithologique B ou des roches calco-magnésiennes;
- 2° zone 5, puisque $15 < \text{SiE} < 30$;
- 3° silice équivalente $\text{SiE} = 25,25$ mgr;
- 4° ses indices équivalentaires et son analyse équivalente.

Ses hétéromorphes normaux sont notamment des basaltes mésocrates (I fm = 41,81).

8. La phonolite de Madagascar.

Faisons un dernier emprunt au travail déjà plusieurs fois mis à contribution et transcrivons l'analyse d'une phonolite de Madagascar. Si nous étions en possession de la description pétrographique elle signifierait

- 1° l'absence de magnétite;
- 2° celle de plagioclases calco-sodiques;
- 3° la présence d'aégyrine.

Et pourtant l'analyse donne $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 5.700$ mgr. Qu'est devenu le fer ferrique en l'absence de magnétite ?

L'*opinion* générale est qu'il entre dans la composition de pyroxènes ou d'amphiboles ferri-sodiques dont l'*acmite* idéale est le constituant le plus important.

Sa formule serait $\text{Fe}''\text{Na}(\text{SiO}_3)_2$. L'aégyrine des phonolites contiendrait donc les milliéquivalents $n \text{Fe}'''$. Ceux-ci passent partiellement ou totalement du côté des équivalents électro-positifs. Pourquoi ? Parce que dans le cas examiné,

$$3(n \text{Na} + n \text{K}) > n \text{Al} \text{ (}^4\text{)}.$$

Les équivalents Al sont insuffisants pour former les silicates alumo-sodiques. Or les silicates de soude et de potassium Na_2SiO_3 et K_2SiO_3 sont inconnus dans les roches éruptives.

Le déficit d'aluminium est compensé par du fer trivalent. La roche est du *type hypersodique* ou de la série lithologique C. Néanmoins, il restera un déficit de fer ferrique, parce que dans l'exemple choisi :

$$3(n \text{Na} + n \text{K}) > n \text{Al} + n \text{Fe}'''.$$

Cela tient assez vraisemblablement à ce que CO_2 , SO_4 et Cl ne sont pas dosés.

(4) Le raisonnement se compliquerait si l'analyse faisait apparaître CO_2 , SO_4 et Cl. Nous allons y revenir sans tarder.

Par conséquent, le sodium de la cancrinite, de la sodalite, de l'haüyne et de la noséane ne peuvent être évalués.

Quoi qu'il en soit, donnons la traduction équivalente de l'analyse :

TABLEAU V.

Phonolite de Madagascar.

	mgr	D—	D+	Milliéquivalents—	Milliéquivalents+
SiO ₂	54.600			n Sil = 1.850	
Al ₂ O ₃	17.500		17		n Al = 1.029
FeO ₃	5.700		26,7		n Fe''' = 213
FeO	1.000		36		n Fe'' = 28
MgO	1.400		20		n Mg = 70
CaO	3.100		28		n Ca = 111
Na ₂ O	9.300		31		n Na = 300
K ₂ O	5.600		47		n K = 119
TiO ₂	800	40		n TiO ₃ = 20	
	99.000			n A = 1.870	n B = 1.870
H ₂ O	1.600			n OH = 88	n H = 88
	100.600			Nh = 1.958	Nh = 1.958

On en tire SiE = 29,51 mgr,

I sil : 98,93 %,

Ii : 1,07 %,

I fm = 100.(123 + 28 + 70) : 1.870, 16,63 %,

Ia = 22,41 %,

Ih = 4,73 %.

La phonolite de Madagascar appartiendrait donc au début de la zone 5 de la série lithologique C des roches hypersodiques, car SiE = 29,51. Mais les plus faibles quantités de Cl, de CO₂ et de SO₃, si elles étaient dosées, viendraient en déduction de n Sil, ce qui aurait pour effet d'augmenter le quotient SiE = mgr SiO₂ : n Sil et de le faire passer au-dessus de 30.

En somme, on devrait classer les phonolites et leurs hétéromorphes normaux dans la seconde moitié de la zone 4 de la série C. Les trachytes hypersodiques occuperaient la première moitié de la même zone de la même série, suivant les résultats d'assez nombreuses analyses déjà transcrites équivalente-

ment. Nous écrivons, pour respecter totalement le résultat des calculs,

Série C, limite des zones 4 et 5.

9. Les séries lithologiques.

Nous venons de classer sans hésitation

1° le granite de Madagascar dans la série A des roches magnésiennes;

2° le gabbro du Wisconsin dans la série B des roches calco-magnésiennes;

3° la phonolite de Madagascar dans la série C des roches hypersodiques.

Pourrons-nous être toujours aussi catégoriques ? Certes non ! entre les séries A et B et entre les séries B et C nous devons placer ce qu'on pourrait appeler les séries du doute ou les séries tendancieuses.

Les milliéquivalents n Ca peuvent

1° s'intégrer dans l'anorthite ou les plagioclases pour une valeur n' Ca;

2° entrer dans la composition des autres silicates pour une valeur n'' Ca;

3° balancer les radicaux acides de certains minéraux du groupe des minerais et de l'apatite pour une valeur n''' Ca.

Nous pouvons écrire

$$n \text{ Ca} = n' \text{ Ca} + n'' \text{ Ca} + n''' \text{ Ca}.$$

Mais nous ne pourrons jamais établir les valeurs respectives de n' Ca, n'' Ca et n''' Ca qu'à la faveur d'hypothèses tantôt assez hardies, tantôt totalement illogiques et souvent controuvées par l'examen pétrographique de la roche.

Entre la série A parfaitement définie par

$$3(n \text{ Na} + n \text{ K} + n \text{ Ca}) < n \text{ Al}$$

et la série B, où apparaîtront en toute certitude des équivalents n'' Ca attribuables aux silicates calco-ferro-magnésiens (diopside réel), il existera donc une première série du doute dont nous ferons la série AB ou des *roches à tendance magnésienne*.

La condition

$$3(n \text{ Na} + n \text{ K}) > n \text{ Al}.$$

ne définit pas nécessairement une roche C de la série hyper-alcaline.

Des équivalents Na peuvent en effet être attribués aux radicaux HCO_3 , SO_4 et Cl pour former :

1° la cancrinite H. $\text{Na}_4 \text{Al}_3 \text{Si}_3 \text{O}_{12} \text{CO}_3$;

2° la nocéane $\text{Na}_5 \text{Al}_3 \text{Si}_3 \text{O}_{12} \text{SO}_4$;

3° la sodalite $\text{Na}_4 \text{Al}_3 \text{Si}_3 \text{O}_{12} \text{Cl}$.

Dès lors, pour qu'une roche soit en toute certitude hypersodique, il faut qu'elle vérifie la condition

$$3(n\text{Na} + n\text{K} - n\text{CO}_3 - n\text{SO}_4 - n\text{Cl}) > n\text{Al}.$$

Il est donc nécessaire de placer une seconde série du doute, la série BC ou des *roches à tendances hypersodiques*, entre les séries B et C.

Nous aurions de la sorte :

Série lithologique A des roches du type magnésien caractérisée par

$$3(n\text{Na} + n\text{K} + n\text{Ba} + n\text{Sr} + n\text{Ca}) < n\text{Al}.$$

Limite I :

$$3(n\text{Na} + n\text{K} + n\text{Ba} + n\text{Sr} + n\text{Ca}) - n\text{Al} = 0$$

Série lithologique des roches à tendance magnésienne.

Limite II :

$$3(n\text{Na} + n\text{K} + n\text{Ca} - n\text{CO}_3 - n\text{PO}_4 - n\text{F} - n\text{TiO}_3) - n\text{Al} = 0.$$

Série C ou des roches calco-magnésiennes.

Limite III :

$$3(n\text{Na} + n\text{K}) - n\text{Al} = 0.$$

Série BC ou des roches à tendance hypersodique.

Limite IV :

$$3(n\text{Na} + n\text{K} - n\text{Cl} - n\text{CO}_3 - n\text{SO}_4) - n\text{Al} = 0.$$

Série C ou des roches hypersodiques.

$$3(n\text{Na} + n\text{K} - n\text{Cl} - n\text{CO}_3 - n\text{SO}_4) > n\text{Al}.$$

10. L'hétéromorphisme anormal.

Empruntons à un excellent ouvrage du Prof^r M. Denaeyer ⁽⁵⁾ l'analyse d'une ariégite d'In Ouzel. On prouverait sans diffi-

(5) M.-E. DENAEYER, Matériaux pour l'étude chimico-minéralogique des roches éruptives du Sahara central et soudanais (*Bulletin de la Société française de Minéralogie*, nos 7 et 8, t. LVII, 1934).

culté que la roche appartient à la série B, si l'on traite les données analytiques en hétéromorphisme normal, comme il est fait au tableau VI :

TABLEAU VI.

Ariégite d'In Ouzel en hétéromorphisme normal.

	mgr	D-	D+	Milliéquivalents--	Milliéquivalents+
SiO ²	38.900			n Sil = 2.598	
Al ² O ³	17.190		17		n Al = 1.011
Fe ² O ³	1.880	80		n Fe ² O ⁴ = 24	
FeO	6.340		36		n Fe' = 176
MnO	280		35,5		n Mn = 8
MgO	15.560		20		n Mg = 778
CaO	18.180		28		n Ca = 649
Na ² O	130		31		N Na = 4
K ² O	420		47		n K = 9
TiO ²	300	40		n TiO ³ = 8	
P ² O ⁵	tr			n PO ⁴ = 0	
CO ²	120			n CO ³ = 5	
	99.300			n A = 2.635	n B = 2.635
H ² O	1 010	18	18	n OH = 56	n H = 56
	100.310			Nh = 2.691	Nh = 2.691

SiE = 14,97 mg

Isil	98,60 %,
Ii	1,40 %,
Ifm 100 (176 + 8 + 778) : 2.635	36,52 %,
Ia	0,49 %,
Ih	2,08 %.

En hétéromorphisme normal, la roche se situerait donc tout à la fin de la cinquième zone de la série B, puisque SIE est pratiquement égal à 15 et parce que son nombre anhydre est voisin des maxima donnés par

Néphéline	n A = 2.817,
Forstérite	n A = 2.857,
Anorthite	n A = 2.878.

Mais M. Denaeyer démontre que les minéraux constituant l'ariégite sont de grands cristaux de pyroxène et de petits

grains de spinelle ou plus exactement encore du diallage et du pléonaste (Fe'' , Mg) . Al_2O_4 . Les n Ca ne peuvent être attribués à l'anorthite, puisqu'elle est exclue de la description pétrographique.

L'alumine Al_2O_3 doit donc être attribuée :

1° au potassium et au sodium des feldspaths ou les feldspatoïdes sodiques et potassiques $n' \text{Al} = 3(4+9)$ ou $n' \text{Al} = 39$;

2° il reste $n \text{Al} - n' \text{Al} = 1.011 - 39$ ou $972 n'' \text{Al}$, que nous allons attribuer aux spinelles suivantes :

$$n \text{Al}_2\text{O}_4 = 972 : 3, \quad \text{où } n \text{Al}_2\text{O}_4^{-2} = 324.$$

Dès lors, en *hétéromorphisme anormal* et suivant la description pétrographique de la roche, nous pourrions établir le tableau VII :

TABLEAU VII.

Ariégite d'In Ouzel en hétéromorphisme anormal.

n Sil = 1.302	n Al = 39
n $\text{Al}^2\text{O}^4 = 324$	n $\text{Fe}'' = 176$
n $\text{Fe}^2\text{O}^4 = 24$	n Mn = 8
n $\text{TiO}^3 = 8$	n Mg = 778
n $\text{CO}^3 = 5$	n Ca = 649
	n Na = 4
	n K = 9
n A = 1.663	n B = 1.663
n OH = 56	n H = 56
N h = 1.719	N h = 1.719

$$\text{SiE} = 29,88 \text{ mg,}$$

Isil	78,30 %,
Ii 100 . (324 + 24 + 8 + 5) : 1.663	21,70 %,
Ifm 100 . (176 + 8 + 778) : 1.663	57,84 %,
Ia	0,79 %,
Ih	3,25 %.

En attribuant des $n \text{SiO}_4$ à la néphéline, il reste exactement assez de silice pour former les $n \text{SiO}_3$ de la leucite et du diallage. L'interprétation du Prof^r Denayer se vérifie ainsi mathématiquement par le calcul équivalentaire.

A quelle série lithologique appartient l'ariégite en hétéromorphisme anormal ? Nous serions bien embarrassé de le dire, puisque, *conventionnellement*, nous avons saturé $n \text{Na}$ et $n \text{K}$ par les $n \text{Al}$ nécessaires, ce qui nous place tout aussi conventionnellement sur une limite III ou IV.

En fait, l'indice d'impureté s'élève à 21,70 %. Nous n'avons plus affaire à une véritable roche éruptive, mais à *un minéral d'origine éruptive*. Dans la pratique et après consultation de plusieurs centaines de bulletins d'analyses, nous dirons que :

1° les roches éruptives proprement dites sont caractérisées par $I_i < 12 \%$, ce qui correspond à $I_{s1} > 88 \%$;

2° les minerais d'origine éruptive sont caractérisés par $I_i > 12 \%$.

Nous nous expliquerons plus tard à ce sujet, mais en concluons provisoirement : *une classification équivalente des roches éruptives n'a pas à tenir compte de l'hétéromorphisme anormal.*

Par contre, la classification des minerais d'origine éruptive ne pourra être tentée qu'en tenant compte de l'hétéromorphisme anormal. Celui-ci ne semble d'ailleurs se manifester que si $I_a < 1 \%$, c'est-à-dire dans les minerais d'origine éruptive pratiquement dépourvus de métaux alcalins, mais riches en alumine.

11. Les fichiers généraux.

Supposons que nous disposions de deux fichiers identiques. Chacun de leurs cinq étages supérieurs comporte cinq tiroirs. L'étage inférieur n'en comporte qu'un unique et vaste.

Les tiroirs sont destinés à recevoir les *fiches équivalentes* des roches. Elles sont établies conformément aux modèles donnés pour les analyses examinées au cours de ce travail. Y figurent :

- 1° L'analyse centésimale dite en oxydes et anhydrides;
- 2° Le bilan en milliéquivalents;
- 3° La valeur de SiE;
- 4° Celle des indices équivalentaires absolus.

Les six étages superposés sont numérotés 1, 2, 3, 4, 5 et 6. L'étage le plus bas ou étage 6 contient, avons-nous vu déjà, un seul tiroir.

Les rangées verticales sont également au nombre de cinq et marquées de gauche à droite : A, AB, B, BC et C.

Elles indiquent les séries lithologiques : magnésienne, à tendance magnésienne, calco-magnésienne, à tendance hypersodique et hypersodique.

Chacun des 25 petits tiroirs est donc désigné :

- 1° par une ou deux lettres indiquant la série lithologique;
- 2° par le numéro de l'étage qui correspond aux zones déterminées par la silice équivalente SiE.

On a ainsi :

- Étage 1 75 mgr < SiE < ∞ ;
 Étage 2 60 mgr < SiE < 75 mgr ;
 Étage 3 45 mgr < SiE < 60 mgr ;
 Étage 4 30 mgr < SiE < 45 mgr ;
 Étage 5 15 mgr < SiE < 30 mgr.

Dans le grand tiroir n° 6, nous logerons pêle-mêle et provisoirement :

- 1° les fiches d'hétéromorphes anormaux;
- 2° celles de minerais et des roches hyperbasiques pour lesquelles $Ii > 12$ %.

Dans chacun des tiroirs supérieurs, le classement se fait par valeurs décroissantes de SiE.

Ceci correspond *grosso modo* à classer les fiches du haut en bas du fichier et de l'avant à l'arrière des tiroirs suivant des valeurs croissantes du nombre anhydre. On a approximativement, en effet, pour :

SiE = 75 mgr	n A voisin de 1.000
SiE = 60 mgr	n A voisin de 1.200
SiE = 45 mgr	n A voisin de 1.450
SiE = 30 mgr	n A voisin de 1.850
Si E = 15 mgr	n A supérieur à 2.600 ⁽⁶⁾

(6) n A est supérieur à n SiI même si $Ii < 12$. On a : $SiO_2 = SiE \cdot n SiI$. La quantité de silice contenue dans une roche, soit 1.000 SiO_2 de l'analyse centésimale, est donc légèrement inférieure à $(SiE \times n A)$.

On trouve de la sorte en % de SiO_2 exprimés dans l'analyse :

SiE=75 mgr	$SiO_2 < 75,00$ %
SiE=60 mgr	$SiO_2 < 72,00$ %
SiE=45 mgr	$SiO_2 < 65,25$ %
SiE=30 mgr	$SiO_2 < 55,50$ %
SiE=15 mgr	$SiO_2 < 39,00$ %

Les roches des zones 1, 2 et 3 correspondent donc à celles appelées anciennement *acides*. Celles de la zone 4 sont *neutres* et celles de la zone 5 sont *basiques*. Le tiroir n° 6 contient, outre des minerais et des

Le premier fichier ou *fichier général d'entrée* conservera toutes les fiches, quels que soient

- 1° l'origine des roches : plutonique, volcanique ou filonienne;
- 2° leur texture et leur coloration;
- 3° leur âge géologique.

Le second fichier général ou *de répartition* n'a d'autre usage que de contenir une deuxième et à l'occasion une troisième expédition des fiches qui seront dirigées par la suite vers d'autres classeurs, où d'autres modes de triage seront adoptés.

Si nous examinons les analyses étudiées dans ce travail, nous trouvons :

- 1° Le granite de Madagascar appartient à la série A.

Sa silice équivalente vaut $SiE = 85,74$ mgr.

Ses fiches vont donc entrer dans les tiroirs A 1 des fichiers généraux d'entrée et de répartition.

- 2° Pour le gabbro du Wisconsin, la série est B et la zone est 5 : les fiches doivent se trouver en B 5.

- 3° La phonolite de Madagascar appartient à la série C et tout au début de la zone 5, puisque $SiE = 29,51$ mgr (tiroir C 5).

4° L'ariégite de In Ouzel en hétéromorphisme normal viendrait se placer tout au fond du tiroir B 5, puisque SiE est très voisin de 15 mgr. *Mais nous aurons soin de barrer les fiches d'une diagonale rouge pour signaler que nous ne connaissons que l'hétéromorphe anormal.*

- 5° La même ariégite en hétéromorphisme anormal aura ses fiches, *sans diagonale rouge*, dans le tiroir 6.

12. Vers un classement équivalentaire des roches éruptives.

Supposons cette fois que nous soyons parvenu à rassembler dans les 25 tiroirs de chacun de nos deux meubles les fiches

hétéromorphes anormaux, des roches dites *hyperbasiques* pour lesquelles SiO_2 est généralement inférieur à 39 %.

La classification que nous sommes en train d'établir n'envisage donc actuellement que les roches acides, neutres et basiques, à l'exclusion des roches hyperbasiques et des minerais dont tous les bulletins d'analyses aboutissent automatiquement aux tiroirs n° 6.

équivalentaires transcrivant les résultats d'un millier au moins de *bonnes analyses*, bien *complètes* et se rapportant à des roches dont l'état de *fraîcheur* est convenable. Le classement s'est opéré par les méthodes indiquées.

Quartz $Si E = \infty$ $n A = 0$				
A.	A.B.	B.	B.C.	C.
A.1.	A.B.1.	B.1.	B.C.1.	C.1.
<i>Limite</i> 1.2. $Si E = 75 mgr.$ $n A : \text{environ } 1000.$				
A.2.	A.B.2.	B.2.	B.C.2.	C.2.
<i>Limite</i> 2.3. $Si E = 60 mgr.$ $n A : \text{environ } 1200.$				
A.3.	A.B.3.	B.3.	B.C.3.	C.3.
<i>Limite</i> 3.4. $Si E = 45 mgr.$ $n A : \text{environ } 1450.$				
A.4.	A.B.4.	B.4.	B.C.4.	C.4.
<i>Limite</i> 4.5. $Si E = 30 mgr.$ $n A : \text{environ } 1850.$				
A.5	A.B.5.	B.5.	B.C.5.	C.5.
<i>Limite</i> 5.6. $Si E = 15 mgr.$ $n A : > 2600.$				
TIROIR N°6 $Il > 12\%$				

Aux étages 1 et 2 nous ne trouverons que des analyses des granites et d'hétéromorphes normaux : porphyres quartzifères, rhyolites, etc.

Les fiches de granite et d'hétéromorphes normaux seront encore en immense majorité dans tout l'étage 3. Mais nous y trouverons déjà une faible proportion de bulletins se rapportant à des diorites quartzifères et à des dacites.

Il est à remarquer que les tiroirs B C 1, B C 2 et B C 3 resteront vierges si nous avons eu uniquement à notre disposition de bonnes analyses. Il y a en effet incompatibilité entre le

quartz qui se rencontre dans toutes les roches des zones 1, 2 et 3 et les feldspathoïdes chlorés et sulfatés : sodalite, noséane et cancrinite à l'occasion.

Les tiroirs C 1, C 2 et C 3 seront ceux des granites hyperalcalins, donc dépourvus d'anorthite. Les pyroxènes ou les amphiboles ferri-sodiques y seront symptomatiques.

Dans les étages 1, 2 et 3, tous les bulletins équivalentaires se rapportent à des roches quartziques. Il ne peut donc s'y trouver de fiches de roches à feldspathoïdes. Les tiroirs A 4 et A 5 sont dans le même cas, puisque le corindon virtuel exclut la leucite et la néphéline (?). La position des roches feldspathoïdiques se localise donc dès le début de la classification. Les roches feldspathoïdiques sont en B 5, B C 5 et C 5.

Les monzonites, les syénites calco-sodiques, les diorites se trouveront classées dans les tiroirs A 4, A B 4 et B 4.

Dans le fond de ce dernier, on trouvera quelques analyses de gabbros quartziques.

Les gabbros véritables ($20 \text{ mgr} < \text{SiE} < 30 \text{ mgr}$) et leurs hétéromorphes normaux, les basaltes, se trouveront en B 5, tiroir dans le fond duquel ont rencontrera des bulletins se rapportant aux véritables périclites.

Nous laisserons provisoirement dans le désordre le plus complet les fiches qui se trouvent dans les tiroirs 6. C'est là que nous trouverons représentés les minerais et les roches à spinelles. Et ceci nous amène à dire que ce premier essai de classification équivalentaire laisse à peu près intacte une chère vieille chose qui est, au fond et malgré tout, restée bien sympathique à nos esprits européens : l'ordre de cristallisation normal des minéraux suivant Rosenbusch.

L'étage 6 correspond à la cristallisation des spinelles, des minéraux accessoires équivalentairement exprimés par des indices d'impureté $I_i > 12 \%$.

L'étage 5 loge des silicates à faible SiE, à olivine et à biotite.

L'étage 4 est surtout celui des métasilicates et des feldspaths basiques.

Les étages 3, 2 et 1 sont ceux où dominent les feldspaths acides et où les roches sont de plus en plus quartziques vers le sommet du meuble.

(7) Le tiroir A 5 contient surtout des fiches barrées d'hétéromorphes ancrmaux aluminatés : faux gabbros à hypersthène, fausses périclites à micas.

13. Les fichiers secondaires.

Nous ne pourrions supporter par la suite la confusion qui règne dans le fichier général d'entrée et devons nous résoudre à reprendre dans le fichier de répartition les bulletins que nous classerons dans les *fichiers accessoires*.

L'un ne contiendra, par exemple, que des roches phanéritiques. Un autre sera réservé aux roches aphanitiques. Un troisième recevra les fiches des porphyres, des aplites, des pegmatites et des lamprophyres. Au point de vue utilitaire, le tiroir n° 6 de ce fichier secondaire présentera un intérêt tout particulier.

En vue d'éviter les complications inutiles, nous nous efforcerons de supprimer les colonnes A B et B C dans les fichiers secondaires ⁽⁸⁾.

Nous ne pourrions malheureusement le faire qu'au moyen de nouvelles hypothèses. Elles nous permettront, *ce que nous avons soigneusement évité jusqu'à présent*, d'unir des équivalents électro-négatifs à un nombre égal d'équivalents électro-positifs en vue de reconstituer des minéraux de la roche ou de composer tout au moins ses étalons normatifs.

Il paraît donc utile d'étudier par le calcul équivalentaire la méthode d'estimation dite américaine. Nous y parviendrons sans aucune difficulté en estimant que *parmi les hétéromorphes normaux d'une roche quelconque il peut en exister un dont la composition minéralogique répond à celle établie par la norme*.

Nous montrerons les énormes qualités du système C.I.P.W., mais nous serons obligé de faire apparaître ses défauts nombreux conduisant souvent à l'illogisme. Il suffira d'ailleurs de quelques considérations équivalentaires pour réduire la muse aux règles du devoir.

C'est ce que je me propose de démontrer dans la note qui va suivre.

Wasmès, le 6 octobre 1947.

(8) Les fichiers accessoires ne contiendront plus que 15 petits tiroirs au lieu de 25 et un grand tiroir n° 6. Les roches feldspathoïdiques ne pourront plus se trouver qu'en C 4, B 5 et C 5. Les roches feldspathoïdiques auront leurs bulletins classés en B 5 et C 5. Les fiches barrées d'hétéromorphes anormaux seront en A 5 et B 5. Il ne peut s'en trouver en C 5, parce qu'il y a déficit d'alumine pour saturer la soude et parce que la est élevé.

DISCUSSION.

M. M.-E. Denaeyer félicite M. Delecourt. Il convient que la notation équivalente pourrait représenter un progrès sensible sur celles aujourd'hui adoptées en Amérique et par M. P. Lacroix. Toutefois, avant d'émettre une opinion définitive, il voudrait lire attentivement la communication qu'il vient d'entendre et qu'il n'a pu suivre que trop imparfaitement. Il fait remarquer que l'auteur utilise le terme « hétéromorphe » dans un autre sens que celui habituellement adopté. En ce qui concerne la roche d'In Ouzel, il n'en a eu qu'un échantillon en laboratoire et n'a pas pu l'étudier sur place. Ce n'est sans doute pas un minéral, comme le pense M. Delecourt. Il ne faudrait pas exclure, si l'on s'en rapporte à sa composition, l'hypothèse d'une roche originellement sédimentaire, mais fortement évoluée sous une influence métamorphique.

M. G. Van Esbroeck s'associe aux félicitations exprimées par M. M.-E. Denaeyer. Il désire aussi lire avec la plus grande attention la communication dès que le texte en paraîtra dans le Bulletin de la Société.
