

# Principaux résultats expérimentaux sur la mise en solution d'éléments chimiques constitutifs d'un basalte pour différentes conditions de pression de vapeur d'eau et de température

par Noël MAURIN

RÉSUMÉ. — Le but de ces essais est d'une part de contribuer à la détermination de l'ordre de solubilité des 7 éléments chimiques qui, avec l'oxygène, constituent 98,5 % de la croûte terrestre et d'autre part d'apprécier le rôle de l'eau dans la genèse des roches, tant en milieu marin qu'en milieu continental.

ABSTRACT. — With these investigations we wish to contribute to the determination of the order of solubility of the seven major elements which, with the O<sub>2</sub>, constitute 98,5 % of the Earth's crust and to examine the role of the water in the genesis of marine as well as continental rocks.

## APPAREILLAGE ET MISE EN ŒUVRE DES ESSAIS EN AUTOCLAVE.

J.-T. IYAMA [3] a réalisé en 1960 différents essais sur un autoclave de même type que le nôtre (42 cm<sup>3</sup>) pour un couple de P<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = 1 500 b, T = 400° C, en utilisant des quantités variables de poudre de basalte et en prenant des temps de chauffe variables pour le système basalte + eau.

J'ai choisi, pour cette étude [5], un temps de chauffe constant (72 heures), une quantité constante de poudre de basalte (500 mg) d'un diamètre des grains ≤ 40 μ, des températures et des pressions de vapeur d'eau allant de 23° C - 1 b à 500° C - 500 b.

## Composition chimique et pétrographique du basalte utilisé provenant du Cantal [6] :

Constituants	% à l'analyse
SiO <sub>2</sub> .....	48,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	15,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	4,50
FeO .....	5,90
MgO .....	8,35
CaO .....	9,50
Na <sub>2</sub> O .....	3,80
K <sub>2</sub> O .....	1,40
TiO <sub>2</sub> .....	2,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> .....	0,60
MnO .....	0,15
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> .....	0
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> .....	0,15
Total .....	100,20

*Composition modale*

Phénocristaux		Pâte
$\geq 25\%$		$\geq 75\%$
Labrador .....	0,3	33
Andésine .....	—	11
Augite .....	12	21
Olivine .....	9	4
Apatite .....	—	2
Biotite .....	—	0,3
Minéraux opaques .....	4	4

ANALYSE DES PHASES LIQUIDES.

La composition chimique initiale de l'eau se trouve modifiée, au cours des essais, par des apports d'éléments dissous. Après refroidissement, les phases liquides sont récupérées et leur analyse par absorption ou émission atomique donne les résultats suivants :

*Tableau des concentrations en ppm ou mg/l*

T°C	P <sub>H2O</sub> <sup>b</sup>	Eléments dosés						
		Si	Na	K	Al	Ca	Fe	Mg
23 .....	1	2	1,6	0,8	0,1	5,17	0,1	0,495
60 .....	100	2	2	0,8	0,8	1,82	0,18	0,50
100 .....	100	5	7,2	2,45	3,0	2,8	0,58	0,825
200 .....	200	46,5	27,9	4,95	4,0	2,0	0,55	0,39
240 .....	110	125	76,0	11,75	9,05	0,205	0,26	0,34
265 .....	440	135	64,5	15	11,5	0,40	0,265	0,205
300 .....	300	144	48,4	17,3	9,5	0,115	0,11	0,125
400 .....	400	220	46,6	10,5	9,4	0,25	0,10	0,22
400 .....	600	192	55,2	13,4	46	0,27	0,68	0,46
500 .....	500	147	52	17	4,50	0,50	0,09	1,08

PRINCIPAUX RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX.

1) L'eau, pour des conditions suffisantes (P<sub>H2O</sub>-T), dissout surtout :

- le Ca, ensuite Si et Na à 23° C - 1 b ;
- le Na et le Si, ensuite Al, K et Ca à 100° C - 100 b ;
- le Si de 200° C - 200 b à 500° C - 500 b.

2) Pour une température > 250° C, et pour des pressions de vapeur d'eau comprises entre 300 b et 600 b, l'ordre de solubilité reste invariant ; dans un ordre de solubilité croissante on a Si, Na, K, Al, Mg, Ca et Fe (cf. fig. 1). D'ailleurs l'accroissement des rapports Si/Mg (en termes de concentration) en fonction de l'augmentation des couples P<sub>H2O</sub>-T est nette :

à 23° C - 1 b .....	C <sub>Si</sub> /C <sub>Mg</sub> $\cong$ 4
à 200° C - 200 b .....	C <sub>Si</sub> /C <sub>Mg</sub> $\cong$ 110
à 300° C - 300 b .....	C <sub>Si</sub> /C <sub>Mg</sub> $\cong$ 1 200

3) Les compositions chimiques des phases liquides montrent de fortes teneurs en Si et Na, alors que les concentrations en Fe, Ca et Mg demeurent toujours très faibles :

$$0,1 \leq C_{Fe} \leq 0,68 \text{ ppm} ; 0,12 \leq C_{Mg} \leq 1,08 \text{ ppm} ; 0,11 \leq C_{Ca} \leq 5,17 \text{ ppm} (23^\circ \text{ C} - \text{ b}).$$

4) Les courbes de la fig. 1 montrent que deux groupes d'éléments chimiques se trouvent en présence :

- le groupe Si, Na, K et Al présentant un palier net de concentration à partir de 250° C environ ;
- le groupe Ca, Fe, Mg ; ces éléments accusent une chute brutale de concentration dont le minimum pour le Ca et le Mg se trouve vers une température voisine de 300° C, et pour une pression de vapeur d'eau de 300 b.

5) En représentant vectoriellement les pourcentages des 7 éléments chimiques considérés grâce

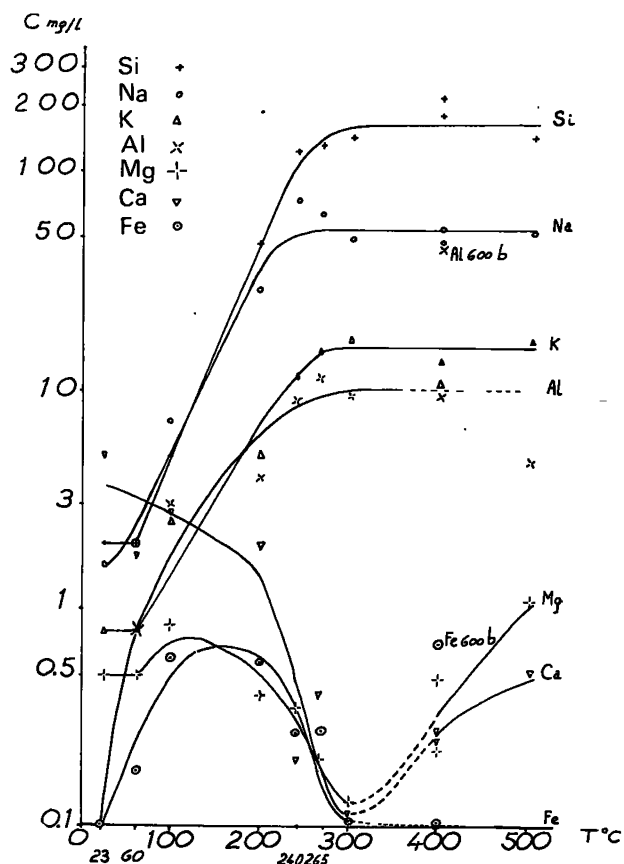


Fig. 1. — Courbes des concentrations des 7 éléments en fonction de la température.

à la méthode de V.N. LODOCHNIKOV [4], on constate que, lors de l'augmentation des couples  $P_{H_2O}-T$ , les liquides s'enrichissent relativement en Si et en Na alors que les concentrations en Fe, Mg et Ca sont infimes ; ceci est attesté par les vecteurs très redressés visibles sur la fig. 2.

N.B. — Les compositions chimiques des liquides (f, g, h, i, j) sont proches de celles de l'albite et des granites à plagioclases.

CONCLUSION.

Ces résultats expérimentaux sur la modification de la phase aqueuse dans le système basalte +  $H_2O$  (pour des couples  $P_{H_2O}-T$  allant de  $23^\circ C - 1 b$  à  $500^\circ C - 500 b$ ) montrent que l'on peut distinguer deux groupes d'éléments quant à leur solubilité et à condition d'observer leur comportement à une température supérieure à  $200^\circ C$  (cf. fig. 1) :

- a) premier groupe : Si, Na, K, Al sont très solubles, donc susceptibles d'être très mobiles ;
- b) deuxième groupe : Ca, Fe, Mg sont peu solubles par rapport aux éléments du premier groupe.

N.B. : — à  $200^\circ C - 200 b$ , Si, Na, K et Al représentent 96,5 % de la somme des 7 éléments dissous dans le liquide ;

— de  $240^\circ C - 110 b$  à  $500^\circ C - 500 b$ , Si, Na, K et Al représentent plus de 99 % de la somme des 7 éléments dissous dans le liquide.

D'autre part, pour des températures comprises entre  $265^\circ C$  et  $400^\circ C$ , la phase aqueuse, s'enrichissant aux dépens des éléments du premier groupe, tend à aboutir à une composition chimique voisine de celle de l'albite (cf. fig. 2).

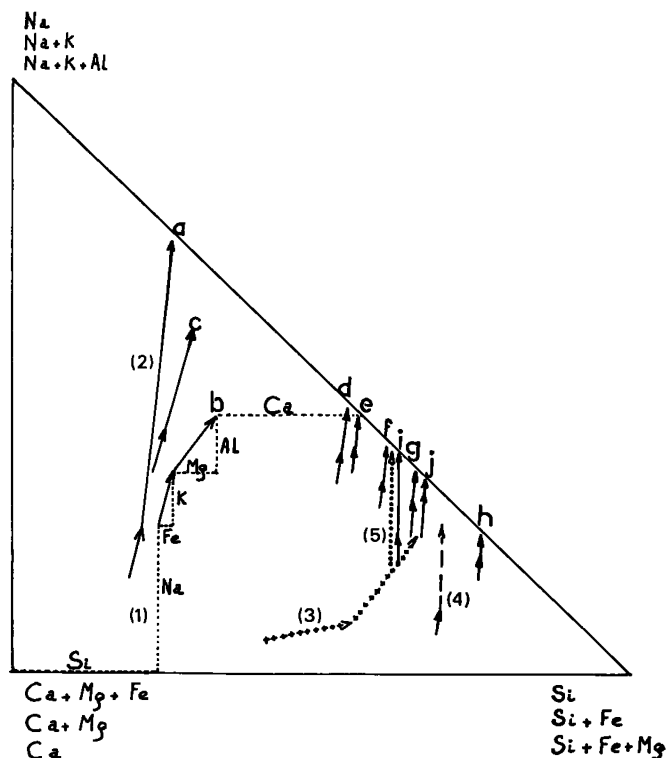


Fig. 2. — Représentation de la composition chimique des liquides sur diagramme de V. N. LODOCHNIKOV.

(1) Rappel explicitant la méthode de V. N. LODOCHNIKOV ; (2) Composition chimique des liquides ; (3) Composition chimique du basalte de départ ; (4) Composition chimique des granites à plagioclases ; (5) Composition chimique de l'albite.

a,  $23^\circ C - 1 b$  ; b,  $60^\circ C - 100 b$  ; c,  $100^\circ C - 100 b$  ; d,  $200^\circ C - 200 b$  ; e,  $240^\circ C - 110 b$  ; f,  $265^\circ C - 440 b$  ; g,  $300^\circ C - 300 b$  ; h,  $400^\circ C - 400 b$  ; i,  $400^\circ C - 600 b$  ; j,  $500^\circ C - 500 b$ .

N. B. — Par Fe on entend  $Fe^{2+}$  et  $Fe^{3+}$ .

Il est intéressant de comparer ces résultats à d'autres données beaucoup plus générales.

Si l'on considère les 7 principaux éléments (excepté l'O<sub>2</sub>) constitutifs de la croûte terrestre, on obtient les ordres de grandeurs suivants :

— d'après BRINKMANN [2], 85 % de Si, Na, K, Al et 25 % de Ca, Fe, Mg (composition moyenne de la litosphère) ;

— d'après des calculs effectués sur les données de RONOV et YAROSHEVSKY [1], 80 % de Si, Na, K, Al et 20 % de Ca, Fe, Mg (composition moyenne de l'écorce continentale).

Par ailleurs, d'après les résultats de récents travaux expérimentaux [7] :

— la présence de Si, Na, K, Al et Ca abaisserait la température de fusion des liquides (masses fondues), ce qui correspondrait à augmenter l'intervalle de températures pour lequel la mobilité de ces éléments est élevée ;

— Fe et Mg auraient tendance à s'accumuler dans les restes réfractaires, leur mobilité serait plus limitée.

Il est évident que de nombreux fluides autres qu'H<sub>2</sub>O (CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, Cl, F, N...) devraient être pris en considération. En particulier, il semble qu'une étude du système basalte + CO<sub>2</sub> serait capable d'apporter une solution plus précise quant au comportement du Ca dans la croûte terrestre.

#### BIBLIOGRAPHIE

1. BARTHOLOMÉ (P.) (1969). — Le Cycle géochimique (*Soc. Géol. Belg. Ann.*, vol. 92, 1, p. 5-45).
2. BRINKMANN (R.) (1959-1961). — *Abriss der Geologie*. Ed. Ferdinand Enke, Stuttgart, vol. 1.
3. IYAMA (J.-T.) (1961). — Etude préliminaire de la solubilité du basalte dans l'eau à haute température (*Bull. Soc. franç. Minéral. Cristall.*, 84, p. 128-130).
4. KHORZHINSKIY (D.-S.) (1957). — Bases physico-chimiques de l'analyse des paragenèses minérales (traduit du russe par le B.R.G.M.).
5. MAURIN (N.) (1972). — *Thèse doctorat de 3<sup>e</sup> cycle*, Grenoble.
6. VATIN-PÉRIGNON (N.) (1966). — *Thèse d'Etat*, Grenoble.
7. VINOGRADOV (A.-P.), YAROSHEVSKIY (A.-A.), ILIN (N.-P.) (1970). — Modèle physico chimique de la répartition des éléments dans le processus de différenciation de la matière du manteau (*Geo khimiya*, 4, p. 389-400, série doc. interne 16, Institut Dolomieu, Grenoble).

*Article déposé le 20 janvier 1974.*