

E T U D E

SUR LA

COMPOSITION CHIMIQUE DES ROCHES ÉRUPTIVES

PAR

F. Loewinson-Lessing

Privat-Doctent à l'Université de Saint-Pétersbourg.

Par la publication de cette étude, je sou mets au jugement de mes confrères qui s'intéressent tout spécialement à la pétrographie, les considérations et réflexions théoriques sur la composition chimique des roches éruptives qui ne cessent de m'occuper pendant mes heures de loisir. C'est une tentative faite pour trouver un sens général (1) aux nombreuses analyses chimiques des roches éruptives et pour en tirer profit relativement à leur classification.

L'importance de l'âge des roches éruptives pour leur classification, complètement ébranlée au point de vue de la structure, de la composition minéralogique et de la distribution géographique des roches, devait subir encore un dernier coup du côté de la composition chimique. L'inutilité de cet élément de classification est déjà reconnue par la plupart des pétrographes, dont les uns négligent complètement l'âge géologique des roches éruptives, tandis que les autres ne lui laissent, dans leurs systèmes, qu'un rôle subordonné. Ce n'est nullement par esprit conservatif que beaucoup de pétrographes ne se décident pas à rejeter complètement les principes actuels, mais plutôt parce que nous n'avons pas encore trouvé un nouveau système harmonieux de classement des roches éruptives, et il serait injuste de démolir le vieil édifice scientifique avant d'avoir entièrement élaboré le plan d'une nouvelle construction. La classification anglaise, basée presque exclusivement

(1) Pour la littérature des tentatives antérieures de ce genre, quelquefois très ingénieuses mais fondées sur d'autres principes, je renvoie le lecteur au traité de F. ZIRKEL. *Lehrbuch der Petrographie*, 1, p. 451-475

sur la composition minéralogique des roches, ne peut décidément pas être considérée comme satisfaisant à toutes les exigences de la pétrographie moderne; voilà pourquoi elle ne trouve point d'adeptes sur le continent. D'un autre côté je suis persuadé que les formules proposées récemment par M. Michel-Lévy (1) offriraient, avec certaines modifications et certains épurements des entraînements de l'école française (2), un grand pas dans la voie vers une classification rationnelle des roches éruptives; ces formules nous promettent certes une langue pétrographique internationale analogue aux formules chimiques ou mathématiques.

Une étude critique des analyses chimiques n'a fait que me confirmer dans la persuasion que le principe de l'âge géologique des roches éruptives n'a pas de raison d'être dans les limites qu'on lui assigne encore jusqu'à présent. En rejetant cet élément de classification en principe, je crois pourtant utile de distinguer dans les descriptions systématiques les roches anciennes et les roches récentes, tant que la pétrographie n'aura pas édifié un nouveau système des roches éruptives complet, harmonieux et capable de remplacer le système que nous considérons comme arriéré. Pourtant, tout en admettant qu'il n'y a pas de différence marquée entre les roches anciennes et les roches récentes, dans le sens des pétrographes anciens, on ne saurait nier une certaine individualité, certaines particularités de tout le complexe des masses éruptives, rapporté aux grandes phases naturelles (3) de l'écorce terrestre et non pas aux unités artificielles, connues sous le nom de systèmes géologiques.

En examinant d'un point de vue anticipé les analyses sûres (4) des roches éruptives, j'ai trouvé, par voie purement empirique, plusieurs types chimiques des roches éruptives, types qui me semblent être suffisamment bien définis. Comme point de départ dans mes considérations, servant de base de comparaison, j'ai été tout naturellement porté, après quelques indécisions, à choisir la *silice*, qui joue, comme chacun le sait, un si grand rôle dans la classification des roches érup-

(1) A. MICHEL-LÉVY. *Structures et classification des roches éruptives*.

(2) F. LÆWINSON-LESSING. *Note sur la structure des roches éruptives*. (V. BULLET. SOC. BELGE DE GÉOL. t. III, p. 393.)

(3) MARC. BERTRAND. *Sur la distribution géographique des roches éruptives en Europe*. BULL. DE LA SOC. GÉOL. DE FRANCE, XVI, 1888, n° 7, p. 573.

(4) J'ai examiné et utilisé les analyses citées dans J. ROTH, *Beitrag zur Petrographie der plutonischen gesteine*. E. KALKOWSKY. *Elemente der Lithologie* et en partie J. ROTH. *Die Gesteins-Analysen in tabellarischer Uebersicht und mit kritischen Erläuterungen*.

tives. Les principaux types que je reconnais, parlent, comme on le verra plus loin, en faveur de la légalité des trois grands groupes de roches distingués d'après la teneur en silice : roches acides, neutres et basiques. Mais, contrairement au choix, ordinairement arbitraire, des limites entre les roches acides, neutres et basiques, les types cités plus bas sont plus définis, ils démontrent une certaine indépendance, une existence réelle de ces trois types, quoique liés par des chaînons intermédiaires.

La chimie nous apprend qu'une quantité définie d'acide ne peut neutraliser qu'une quantité limitée de bases et que l'on ne peut appeler du nom d'acides que les substances qui contiennent trop peu de bases pour neutraliser toute la quantité d'acides qui entre dans leur composition. En d'autres termes, on ne peut nommer « acides » que les substances qui contiennent un excès d'acide libre; dans les roches éruptives, c'est la silice qui joue le rôle d'acide; or, il n'y a que les roches qui contiennent *un excès de silice à l'état libre* qui méritent le nom de *roches acides*. Partant de ce point de vue chimique, ce n'est pas une certaine *quantité absolue* de silice qui est caractéristique des roches acides, mais bien la présence d'une certaine quantité de *silice libre*, d'un excès de silice, tantôt sous forme de quartz primaire, tantôt comme partie intégrante d'une pâte cryptocristalline ou même amorphe (pétrosilex, felsite, mikrofelsite). En développant ces réflexions, on arrive involontairement à la conclusion qu'il suffit de rejeter dans une roche acide l'excès d'acide libre pour trouver la quantité de silice nécessaire pour neutraliser les bases de la roche. Restait encore à définir quelle doit être la relation entre la teneur en silice et la quantité de bases contenues dans une roche éruptive qui présente le plus haut degré de saturation possible par la silice, dans une roche éruptive. Le surplus de silice sur cette quantité exprimerait alors la quantité de silice libre dans les roches acides. Ce maximum de silice liée, saturée par les bases de la roche, cette expression pour les roches neutres saturées par la silice, je l'ai trouvée par voie purement empirique; elle s'exprime par la formule suivante, à laquelle j'attribue la notation : type ou formule I.

$$\Sigma \text{SiO}^2 = \Sigma [2(\text{R}^2\text{O} + \text{RO}) + \text{R}^2\text{O}^3] \text{ (1).}$$

Cette formule empirique, ce symbole démontre clairement que, dans les roches neutres les plus riches en silice, la teneur en silicé est égale

(1) Il serait plus exact d'écrire $\Sigma \text{SiO}^2 = \Sigma [2(\text{R}^2\text{O} + \text{RO}) + \text{R}^2\text{O}^3]$ pour exprimer que la *teneur* (en p. c.) en silice est égale à la somme (en p. c.) des autres parties constituantes de la roche (pour plusieurs éléments il faut doubler la teneur en p. c.) Plus bas j'ometts quelquefois les signes Σ pour simplifier (Voir p. 9.)

à la double somme de la teneur en alcalis et en terres alcalines, plus la teneur en sesquioxides.

Les analyses des syénites plus ou moins fraîches, des monzonites, des minettes, des phonolites, des syénites à éléolithe, enfin de nombreux trachytes normaux donnent des nombres qui correspondent en général à notre formule. Toutefois, il ne faut pas attribuer à cette formule une exactitude mathématique, il faut bien se souvenir que les roches en question sont souvent plus ou moins métamorphosées, qu'elles offrent quelquefois des particularités individuelles, certaines différences avec le type normal; il faut se rappeler que les roches massives sont des mélanges et non pas des combinaisons chimiques proprement dites; enfin, qu'il existe des membres intermédiaires, de passage, entre les types voisins. Voilà pourquoi notre formule n'embrasse pas toutes les analyses des roches en question. Pourtant, elle est applicable presque à toutes les roches normales peu modifiées, et celles qui font exception sont néanmoins beaucoup plus rapprochées du type exprimé par la formule I que de tout autre type. En modifiant la formule pour certains trachytes (et andésites) et en lui donnant l'expression

$$\Sigma \text{SiO}^2 = \Sigma [2\text{R}^2\text{O}^3 + \text{RO} + \text{R}^2\text{O}] \text{ (I)},$$

qui se distingue très peu de la première, nous trouvons le moyen de faire entrer les analyses de toutes les roches citées plus haut dans la formule qui exprime le maximum de silice dans les roches neutres.

En laissant pour la fin de l'article l'analyse de la formule I, examinons à présent les roches plus riches en silice que les roches neutres, celles dont la teneur en silice excède la quantité exprimée par la moitié droite de notre formule. Il est évident que si la formule

$$\text{SiO}^2 = 2(\text{R}^2\text{O} + \text{RO}) + \text{R}^2\text{O}^3$$

exprime le maximum de silice combinée, le surplus de silice sur la quantité exigée par cette formule nous indiquera la quantité de silice *libre* contenue dans la roche sous forme de quartz primaire ou bien à l'état cristallin ou amorphe dans la pâte de la roche. Si on convient donc de nommer *acides* les roches éruptives qui contiennent un excès de silice sur la quantité déterminée par la formule des roches neutres, on trouve pour ces roches acides la formule symbolique suivante, qui constituera le type II

$$\Sigma \text{SiO}^2 = \Sigma [2(\text{R}^2\text{O} + \text{RO}) + \text{R}^2\text{O}^3 + \text{Q}].$$

La teneur en silice est donc égale à la double somme des alcalis et

(1) Le choix de ce symbole ou du I dépend des quantités relatives de sesquioxides et d'oxydes des types R^2O et RO contenues dans la roche.

		A. ROCHES ACIDES. SiO ² > 60 %			B
CLASSES.		I. ROCHES FELDSPATHIQUES QUARTZIFÈRES.			
PRINCIPAUX GROUPES.					
TYPES.		1. Roches à orthose et quartz.	2. Roches à feldspath trichinque et quartz.	3. Roches à orthose (sans quartz).	
A. ROCHES GRANITOIDES, GRENUES, INTRUSIVES.	Avec mica.	Granite Granite Pegmatite	Kersantite quartzifère. (part.) Tonalite.	Minette. (part.)	
	Avec amphibole.	Granite à amphibole.	Diorite quartzifère.	Syénite.	
	Avec pyroxène.		Diabase quartzifère.	Monzonite.	
B. ROCHES TRACHYTOIDES, PORPHYRIQUES, EFFUSIVES.	Avec mica.		Quartzporphyrites	Orthophyres et Trachytes.	
	Avec amphibole.		Quartzporphyres et Liparites (Obsidienne, rhéinite, perlite, ponce),		
	Avec pyroxène.		Quartzporphyrites et Dacites.	Trachytes à pyroxène (augite, akmite, hypersthène).	
	TYPES CHIMIQUES.		I. SiO ² = 2(R ² O + RO) + R ² O ³ + Q ₂ II. SiO ² = $\frac{3}{2}$ (R ² O + RO) + R ² O ³ + Q ₂	III. SiO ² = 2 (
TENEUR EN SiO ² .		70 % — 75 % 72 %	66 %		58-6 60

ABLEAU SYNOPSIS DES ROCHES ÉRUPTIVES

ROCHES NEUTRES.

$\text{SiO}_2 = 54-60 \%$.

C. ROCHES BASIQUES.

$\text{SiO}_2 < 51 \%$.

II. ROCHES FELDSPATHIQUES SANS QUARTZ.

III. ROCHES FELDSPATHIQUES A OLIVINE.

IV. I

<p>4. Roches à orthose et à néphéline. (Type parallèle à 3).</p> <p style="text-align: center;">Syénites à néphéline (éleolithe).</p>	<p>5. Roches à feldspath triclinaire acide.</p> <p style="text-align: center;">Kersantite. (part.)</p> <p style="text-align: center;">Diorite.</p> <p style="text-align: center;">Diorite augitique.</p>	<p>6. Roches à feldspath triclinaire basique.</p> <p style="text-align: center;">? Diabase à mica ?</p> <p style="text-align: center;">? Proterobase? (primaire, non cataclastique).</p> <p>a. Pyroxène monoclinique b. Pyroxène rhombique. } Gabbro et gabbro-diabase. Norite (et Hypersthénite).</p>	<p>7. Roches à feldspath triclinaire basique et à néphéline (leucite). (Type parallèle à 6).</p> <p style="text-align: center;">Téschnite (Théralithe).</p>	<p>8. Roches à feldspath triclinaire basique et à olivine.</p> <p style="text-align: center;">Gabbro à olivine, (Diabase grenue à olivine) Norite à olivine.</p>	<p>9.</p>
---	--	--	---	--	-----------

<p style="text-align: center;"><i>Phonolites.</i> <i>Leucit-Phonolites.</i> <i>Leucitophyres.</i> Liebenritporphyre Giessekitporphyre.</p> <p style="text-align: center;">${}^2\text{O} + \text{RO} + \text{R}^2\text{O}^3.$</p>	<p style="text-align: center;">Porphyrite et <i>Andésite</i> à mica.</p> <p style="text-align: center;">Porphyrite et <i>Andésite</i> à amphibole.</p> <p style="text-align: center;">D i a b a s e s. Porphyrite et <i>Andésite</i> à pyroxène. (Sordawalite.)</p>	<p style="text-align: center;"><i>Andésite</i> à pyroxène et à amphibole.</p>	<p style="text-align: center;"><i>Téphrite.</i> <i>Leucotéphrite.</i></p> <p style="text-align: center;">? Basalte à mica ?</p> <p style="text-align: center;">? Basalte à amphibole ?</p> <p style="text-align: center;">Diabase à olivine Mélaphyre. <i>Basalte</i> (Tachylyte).</p>	<p style="text-align: center;">IV. $\text{SiO}_2 = \frac{3}{2}(\text{R}^2\text{O} + \text{RO}) + \text{R}^2\text{O}^3.$</p> <p style="text-align: center;">54-56 % 54 %</p>	<p style="text-align: center;">V. $\text{SiO}_2 = \text{R}^2\text{O} + \text{RO} + \text{R}^2\text{O}^3.$</p> <p style="text-align: center;">48-50 % 50 %</p>	<p style="text-align: center;">VI. $\text{SiO}_2 =$</p>
---	---	---	--	--	--	--

VI. ROCHES A OLIVINE
SANS ÉLÉM. FELDSPATH.

14. *Péridotites.*

? Kortlandite à mica ?

Kortlandite.

Picrite.
Harzburgite.
Lherzolite.
? Dunite ? Wehrlite.

Pikritporphyrite.
Limburgite.
Augitite.

VIII. $\text{SiO}_2 \approx \text{RO.}$

42 %

de terres alcalines, plus les sesquioxydes et plus une certaine quantité de silice libre, exprimée par Q dans la supposition que c'est le plus souvent sous forme de quartz qu'apparaît cet excès dans les roches éruptives. La formule démontre clairement que

$$Q = \Sigma \text{SiO}^2 - \Sigma [2(\text{R}^2\text{O} + \text{RO}) + \text{R}^2\text{O}^3],$$

c'est-à-dire que Q — la quantité de silice libre, de quartz, — se tire facilement des données d'une analyse chimique en bloc de la roche. En effet, la quantité Q, calculée ainsi, exprime toujours exactement la teneur en quartz (ou en général en silice libre); je m'en suis persuadé en examinant plusieurs analyses de granites dont la teneur en quartz avait été déterminée d'une manière ou d'une autre.

On fixe ordinairement la teneur des granites en quartz à 30-35 p. c.; notre formule donne aussi pour Q de 30-35 p. c. Ainsi Roth donne pour un granite consistant en 50 p. c. d'orthose, en 10 p. c. d'oligoclase, en 30 p. c. de quartz et en 10 p. c. de biotite, la composition chimique suivante, trouvée *par calcul*.

SiO ² —	72.26
Al ² O ³ —	13.53
Fe ² O ³ —	2.74
MgO —	0.49
CaO —	0.42
Na ² O —	0.98
R ² O —	9.34

La somme des parties constituantes du type de RO et R²O est égale à 11.27; multiplié par 2 cela fait 22.54. La somme des sesquioxydes R²O³ est de 16.27. Donc Q = 72.26 — (22.54 + 16.27);
Q = 33.45 p. c.

La différence de 3 p. c. assez insignifiante, s'explique par le fait que nous avons une analyse *calculée*, idéale pour ainsi dire, mais pas réelle; toute la teneur en fer est rapportée au sesquioxyde; mais une partie du fer doit s'y trouver sans aucun doute à l'état d'oxydule; cela augmenterait un peu la double somme des alcalis et des terres alcalines et on aurait alors pour Q presque, ou même exactement 30 p. c., comme l'exige le calcul de Roth.

Toutes les analyses de roches acides rentrent dans la formule II; chaque fois que la quantité de silice dépassait celle qui ressort de la formule I, je trouvais dans les remarques explicatives (*J. Roth. Beiträge zur Petrographie der plutonischen Gesteine*) une indication sur la présence du quartz. Remarquons que pour trouver par ce calcul la quantité de silice libre d'une roche appartenant, sans silice libre, pas au type neutre, mais par exemple au type basique ou à un autre quelconque, il faut déterminer la quantité de silice combinée par la formule du type en question (Voir plus bas).

La corrélation entre la teneur en silice libre et la quantité de silice combinée indiquée par la formule des roches neutres démontre clairement qu'il faut considérer le granite comme une syénite, plus une certaine quantité de quartz; la dacite comme une andésite avec du quartz; une diorite quartzifère (tonalite par exemple) comme une diorite plus une certaine quantité de quartz, etc.

Le troisième type chimique principal des roches éruptives est celui des *roches basiques* et embrasse toutes les roches dont la teneur en silice ne dépasse pas 50 p. c. La formule générale, le symbole indiquant la relation entre la teneur en silice et la quantité des autres parties constituantes de la roche, est exprimée par le type **III**, ainsi défini :

$$\Sigma \text{SiO}^2 = \Sigma [\text{R}^2\text{O} + \text{RO} + \text{R}^2\text{O}^3].$$

La teneur en silice des roches de ce type est donc égale (1) à la somme des autres parties constituantes de la roche. Le type chimique exprimé par la formule **III** est très répandu parmi les roches éruptives. Les gabbros, nombre de diorites, diabases, basaltes, porphyrites augitiques, mélaphyres, kersantites, minettes pauvres en silice, ophites, en partie néphélinites font partie de ce type. Il est vrai que la formule n'exprime pas toujours exactement la relation entre la silice et les autres éléments, vu que la teneur en silice peut être un peu moins ou un peu plus considérable que 50 p. c. Dans les deux cas les différences sont pourtant très insignifiantes et l'on peut considérer, sans faire du tort à la réalité, 50 p. c. de SiO^2 comme le maximum pour ce type, le minimum ne s'abaissant que rarement au-dessous de 48 p. c.

En fixant, comme nous l'avons fait, à 58-56 p. c. la limite du minimum de silice dans les roches neutres, on est donc involontairement porté à accepter encore un groupe de roches, pas très considérable, intermédiaires entre les roches neutres saturées de silice et les roches basiques. Ce groupe intermédiaire avec 52-55 p. c. de silice comprend les kersantites, les diorites, les andésites en grande partie ainsi que certains gabbros, diabases, porphyrites labradoriques, certaines leucitites et néphélinites qui s'expriment par la formule symbolique **IV** :

$$\Sigma \text{SiO}^2 = \Sigma \left[\frac{3}{2} (\text{R}^2\text{O} + \text{RO}) + \text{R}^2\text{O}^3 \right]$$

(1) Il serait plus exact d'écrire $\Sigma \text{SiO}^2 \leq \Sigma (\text{R}^2\text{O} + \text{RO} + \text{R}^2\text{O}^3)$ ou plutôt $\text{SiO}^2 = \text{R}^2\text{O} + \text{RO} + \text{R}^2\text{O}^3 + n$, en désignant par n un petit nombre, à peu près égal à 2 ou 4 pour les cas où la teneur en silice est égale à 48 ou 47 p. c. La formule citée dans le texte est pour ainsi dire idéale; elle n'est complètement exacte que pour $\text{SiO}^2 = 50$ p. c. ou 49 p. c. Les autres analyses se rapprochent plus ou moins de cette formule idéale que je choisis pour simplifier le symbole du type **III**.

ainsi que beaucoup d'andésites à amphibole et à pyroxène qui s'expriment par une formule presque identique à la précédente :

$$\Sigma \text{SiO}^2 = \Sigma \left[\frac{3}{2} \text{R}^2\text{O}^3 + \text{RO} + \text{R}^2\text{O} \right].$$

Entre les roches neutres saturées de silice et les roches basiques il y a donc un groupe intermédiaire de roches neutres non saturées de silice, c'est-à-dire de roches neutres qui pourraient contenir encore une certaine quantité de silice combinée.

Une certaine augmentation de la teneur en silice devrait transformer la roche en une roche neutre pour ainsi dire plus oxydée, en une roche neutre du type **I** ou bien, si la silice restait à l'état libre, par exemple sous forme de quartz, la roche se transformerait en une roche acide, comme dans le type **I**.

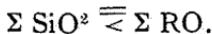
Elucidons ce rapport par plusieurs exemples. Il a déjà été mentionné qu'un surplus de silice au-dessus de la quantité fixée par la formule **I** apparaît dans les syénites sous forme de quartz et transforme la syénite en une roche analogue acide, — en un granite. Dans les roches des types **III** et **IV**, par exemple dans les gabbros et les diorites, une pareille augmentation de la teneur en silice pourrait se manifester de deux manières. Dans le cas où ce serait de la silice liée qui s'ajouterait à la roche, une certaine quantité du feldspath triclinique devrait être remplacée par de l'orthose (1) (ou de l'anorthose, de l'albite) et le gabbro ou la diorite en question ferait place à une roche analogue neutre plus riche en silice, en une monzonite ou une syénite, etc. Etant supposé que le surplus de silice resterait à l'état libre, la diorite se transformerait en son analogue acide, en une diorite quartzifère, etc.

En fixant à 50 p. c. de silice la limite supérieure des roches basiques on est porté *eo ipso* à considérer comme basiques toutes les roches moins riches en silice. Néanmoins, toutes les roches basiques ne sont pas identiques, on peut y distinguer plusieurs groupes, comme dans la classe des roches neutres qui sont représentées, ainsi qu'il a été démontré, au moins par deux types. Je suppose même que l'un des groupes des roches basiques, celui qui est représenté par les péridotites, a même la signification d'un type indépendant, équivalent aux trois premiers types — *acide, neutre, basique*. Ce type de roches *ultra basiques* occupe une place intermédiaire entre le type

$$\Sigma \text{SiO}^2 = \Sigma \left[\text{R}^2\text{O}^3 + \text{RO} + \text{R}^2\text{O} \right]$$

(1) En supposant en même temps un surcroît des alcalis.

et les sidérites, le fer météorique, dont la teneur en silice est égale à zéro et qui terminent la longue série de roches qui commence par les roches les plus riches en silice — le granite, le liparite (le greisen?) et finit par les roches dépourvues de silice — les météorites métalliques. La formule des péridotites, c'est-à-dire des roches d'origine tellurique les plus basiques, se résume ainsi :



Dans ces roches ultrabasiques la teneur en silice (en p. c.) est égale à la teneur en terres alcalines ou bien elle n'atteint pas cette quantité ; mais jamais la teneur en silice ne dépasse celle en terres alcalines. Par une diminution graduelle de la teneur en silice s'établit le passage graduel aux météorites asidères et enfin aux météorites holosidères. Au type des péridotites appartiennent aussi par leur teneur en silice certaines limbourgites, augitites (1), basaltes à mélilithe, etc.

Entre le type du gabbro **III** et celui du péridotite **IV** il y a un groupe intermédiaire, comme entre les types des gabbros et des syéites. Tous ces roches basiques avec une teneur en silice de près de 45 p. c., telles que certains mélaphyres, diabases à olivine, en partie les roches à néphéline et à leucite, les basaltes à néphélines et en partie les basaltes feldspathiques, font partie de ce type intermédiaire de roches basiques qui est représenté par la formule :



Dans la table ci-jointe se trouve un groupement des principaux types (2), dont l'existence réelle est hors de doute pour moi. Avant d'analyser les rapports intéressants entre les différents types, rapports qui ressortent de cette table, il est indispensable de rappeler encore une fois que nos formules ne sont pour ainsi dire qu'idéales, qu'elles représentent l'idéal du type duquel se rapprochent plus ou moins les différentes roches éruptives.

Beaucoup d'analyses répondent parfaitement aux formules de nos types, d'autres ne s'y prêtent pas complètement. En prenant les

(1) Ces roches sont intimement liées aux basaltes, non seulement par les conditions de gisement, mais aussi au point de vue chimique; la teneur en silice les rapproche des péridotites, mais la présence d'alcalis, d'alumine, etc., dans leur composition chimique les éloigne des péridotites en les rapprochant des basaltes.

(2) L'existence de types intermédiaires, secondaires n'est pas invraisemblable. Ainsi pour les roches à leucite ainsi que pour beaucoup de néphélinites les analyses indiquent la relation suivante entre la teneur en silice et en sesquioxides — $\text{SiO}^2 = 2 \text{R}^2\text{O}^3$; pour une analyse d'un basalte à néphéline et à hauyne (Kalkowsky, Elemente d. Lithologie) j'ai trouvé $\text{SiO}^2 = \text{R}^2\text{O}^3$ (type parallèle à celui des péridotites?). Sont-ce des corrélations accidentelles? Je ne fais que les mentionner en passant

TYPES CHIMIQUES DES ROCHES ÉRUPTIVES

PRINCIPAUX TYPES.	TYPES INTERMÉDIAIRES.	Moyenne teneur en silice (en p. c.)	ROCHES APPARTENANT AUX DIFFÉRENTS TYPES.	CORRELATION entre les types voisins d'après la teneur en silice. EXEMPLES.
I. $\text{SiO}^2 = 2(\text{R}^2\text{O} + \text{RO}) + \text{R}^2\text{O}^3 + \text{Q}$. $\text{SiO}^2 > 58\text{-}60\%$. $< 75\%$.	VI. $\text{SiO}^2 = \frac{3}{2}(\text{R}^2\text{O} + \text{RO}) + \text{R}^2\text{O}^3 + \text{Q}$. $\text{SiO}^2 = 66\%$.	72	Granites, Quartz-porphyrès, Liparites.	$\text{II} = \frac{\text{I} + \text{IV}}{2}$
II. $\text{SiO}^2 = 2(\text{R}^2\text{O} + \text{RO}) + \text{R}^2\text{O}^3$. $\text{SiO}^2 = 56\text{-}60\%$.	($\text{SiO}^2 = \text{R}^2\text{O} + \text{RO} + 2\text{R}^2\text{O}^3$)	66	Diorites quartzifères, Porphyrites quartzifères, Diorites.	Syéénite = $\frac{\text{granite} + \text{périd.}}{2}$
III. $\text{SiO}^2 = \text{R}^2\text{O} + \text{RO} + \text{R}^2\text{O}^3$. $\text{SiO}^2 = 50\%$.	VII. $\text{SiO}^2 = \frac{3}{2}(\text{R}^2\text{O} + \text{RO}) + \text{R}^2\text{O}^3$. $\text{SiO}^2 = 54\%$.	60 (58) 54 (55)	Syéénites, Phonolites, Trachytes, Orthophyres, Diorites, Andésites.	$\text{III} = \frac{\text{II} + \text{IV}}{2}$
	VIII. $\text{SiO}^2 = \text{R}^2\text{O} + \text{RO} + \frac{1}{2}\text{R}^2\text{O}^3$. $\text{SiO}^2 = 45\%$.	50	Gabbros, Norites, Diabases. En partie les néphélinites, leucitites, andésites, porphyrites.	Diabase = $\frac{\text{syéénite} + \text{périd.}}{2}$
IV. $\text{SiO}^2 < \text{RO}$. $\text{SiO}^2 < 42\text{-}40\%$.	IX. ? $\text{SiO}^2 = \frac{1}{2}\text{RO} ?$	46 (44)	Gabbros, norites et diabases à olivine. Basaltes. Méla-phyres.	$\text{VII} = \frac{\text{VI} + \text{IV}}{2}$
V. $\text{SiO}^2 = \text{O}$.		42	Péridotites (Limbourgites et augitites).	Andésite = $\frac{\text{dacite} + \text{périd.}}{2}$
		? 20?	Certaines météorites oligosidères ?	$\text{VIII} = \frac{\text{III} + \text{IV}}{2}$
		0	Sidérolithes.	Basalte = $\frac{\text{diabase} + \text{périd.}}{2}$

nombre moyens de toute une série d'analyses de roches analogues, on obtient des nombres pour la teneur (en %) en silice et autres parties constituantes, qui correspondent exactement aux rapports exigés par les formules. En tout cas, mes types principaux, ainsi que plusieurs types intermédiaires, me semblent être assez justifiés, tant par la coïncidence complète ou par un grand rapprochement des analyses individuelles avec ces formules *générales*, idéales, que par les intéressantes corrélations qui ressortent de l'application de ces types à la classification des roches éruptives, comme il sera montré plus bas.

En examinant le tableau de la page précédente on peut constater plusieurs corrélations intéressantes et suffisamment exactes, quoique nous ayons affaire, pour la teneur en silice, à des nombres *moyens*, inévitablement pas tout à fait exacts pour chaque cas individuel.

1° La diminution de la teneur en silice est très régulière dans les principaux types : 72 % — 60 % — 48 %; une progression arithmétique avec une différence de 12 (ou 10 si l'on prend d'autres nombres moyens — 70 — 60 — 50). Pour les groupes intermédiaires il y a la même chose : 66 % — 54 % — 42 %. En prenant en même temps toute la série des types principaux et intermédiaires on constate que la diminution de la teneur en silice se fait d'abord par sauts réguliers de 6 % et ensuite de 4 %. Voir la série : 72 % — 66 % — 60 % — 54 % — 50 % — 46 % — 42 %. Donc dans la série neutre, il suffit d'un surcroît de silice peu considérable (4 %) pour passer d'un type à un autre, tandis que dans la série acide et neutre ce surplus de silice doit être plus grand (6 %).

2° La teneur en silice offre une autre corrélation encore plus intéressante entre les différents groupes de roches. Dans la série des principaux types ainsi que dans celle des types intermédiaires la teneur en silice de chaque type est la moyenne entre la teneur en silice du type **IV** et de celui qui se trouve au-dessus du type à définir; les exemples cités dans la dernière colonne de la table donnent une bonne illustration de cette corrélation. Encore plus d'importance présente la corrélation entre les types **I : VI : II : VII : III : VIII : IV** d'après leur teneur en silice. *La teneur en silice de chaque type (excepté le premier et le dernier) est égale à la demi-somme de la teneur en silice des deux types voisins-inférieur et supérieur. (Voir plus bas.)*

3° Le principe de l'âge géologique des roches éruptives n'a point de signification, au point de vue chimique, pour leur classification. Dans la série des roches anciennes, ainsi que dans celle des roches récentes, se répètent les mêmes types, les mêmes corrélations, que le métamorphisme ne fait que masquer en partie. Cette identité ressort clairement

dans l'exemple suivant. En prenant la quantité de silice pour 100, on obtient, pour les autres parties constituantes des roches, des nombres qui démontrent le parallélisme complet, au point de vue chimique, des roches récentes et des roches anciennes. Voici ces deux séries :

Granite : syénite : diabase — 40 : 60 : (80 : 100).

Liparite : trachyte : basalte — 40 : 60 : (80 : 100).

4° Une analyse mathématique de nos formules pourrait peut-être faire découvrir avec le temps, si l'existence réelle de nos types se confirme, une corrélation entre les différentes parties constituantes de la roche (autant qu'il est possible de trouver une loi quelconque pour la composition chimique des roches qui présentent des mélanges et non pas des combinaisons chimiques), une corrélation qui pourrait simplifier nos analyses chimiques en calculant certaines parties constituantes d'après leur corrélation avec les autres, déterminées directement. Je n'ai pas encore entrepris cette analyse des formules dans les détails; mais je ne puis omettre deux points qui démontrent la possibilité d'une telle analyse. 1° La quantité de quartz (ou de silice libre en général) dans les roches acides se déduit, par nos formules, des données fournies par une simple analyse chimique des roches, sans détermination spéciale de la silice libre. 2° Un examen de la formule **I**, au moyen de trois équations avec quatre inconnues, m'a aidé à préciser les limites du type en question; cette analyse a fixé à 58 % — 61 % les limites de la teneur en silice pour les roches neutres saturées de silice; elle a démontré qu'au delà de ces limites on obtient des nombres anormaux pour les autres éléments, ce qui prouve que ce n'est plus une roche neutre de ce type, et qu'en conséquence les relations ne sont plus les mêmes. Enfin, par ce moyen, le type le plus normal des roches neutres saturées de silice a été fixé à 60 % de silice, ce qui concorde parfaitement avec la réalité.

Les considérations émises dans cet article me semblent avoir une double signification, au point de vue théorique et pédagogique. D'un côté, si l'existence réelle de nos types se confirme, cela pourrait mener à certaines conséquences théoriques; d'un autre côté les formules ou symboles chimiques peuvent avoir, dans l'enseignement de la pétrographie, une signification mnémotechnique, elles peuvent faciliter le moyen de retenir la caractéristique chimique des roches éruptives et leurs rapports mutuels. Voilà pourquoi, dans le tableau ci-après, j'ai appliqué mes considérations à la classification des roches, en trouvant que cette application de mes types chimiques fait bien ressortir certaines corrélations, certains points essentiels.

Le tableau synoptique des roches éruptives ci-joint est pour ainsi dire éclectique ; il tient de la classification française ainsi que de la classification allemande ; de l'une comme de l'autre il se distingue pourtant par certains points que voici :

1° Les roches à néphéline, leucite, mélilithe ne sont point considérées comme des types indépendants, mais comme des groupes parallèles à certains types de roches feldspathiques :

2° Les diabases ophitiques sont transférées dans la section des roches effusives (1) ;

3° Les diorites quartzifères, les porphyrites quartzifères, les dacites, en un mot toutes les roches acides à plagioclase sont placées entre les granites et les syénites et non pas entre celles-ci et les diorites ; cette place n'est pas choisie au hasard et elle est bien justifiée par la régularité de la corrélation des différents types, d'après leur teneur en silice, comme il est montré plus bas ;

4° Dans les roches à feldspath triclinique, il est indispensable de séparer celles avec un feldspath acide (principalement l'oligoclase) de celles avec un feldspath basique (principalement la labradorite), ces deux groupes de roches appartenant à des types chimiques différents. Les deux feldspaths se trouvent souvent ensemble, il y a des roches intermédiaires, mais pourtant dans la majorité des cas, l'un des feldspaths a toujours la prépondérance et donne un certain caractère à la roche (2) ;

5° Il est bon de séparer en trois groupes parallèles les roches analogues, d'après l'élément ferro-magnésien, comme l'ont adopté MM. Michel-Lévy et Fouqué ; de cette manière on fait mieux ressortir les analogies et les lacunes qu'il reste à remplir dans notre système des roches éruptives ;

6° Les roches anciennes et récentes sont réunies dans un même groupe ; mais, pour les distinguer, les noms des roches récentes sont imprimés en italiques ;

7° Il serait utile de faire entrer les formules de M. Michel-Lévy dans le tableau synoptique.

Jetons maintenant un coup d'œil attentif sur notre tableau synoptique, qui est, comme il a déjà été remarqué, éclectique et qui ne

(1) Pour la justification de ce changement voir mon article : *Quelques considérations génétiques sur les diabases, les diorites et les gabbros*. BULL. SOC. BELGE GÉOL., t. II, p. 82, ainsi que les opinions de JUDD, ROTH, ROSEBUSCH, etc.

(2) La prépondérance du feldspath acide ou basique est toujours suffisamment marquée et donne la possibilité de distinguer ces deux groupes de roches tout comme le maximum de l'angle d'extinction nous aide à déterminer les différents feldspaths.

représente que la classification des pétrographes français et allemands, modifiée en certains points. Ce système est harmonieux, les différents membres ne sont pas accidentels, ils sont au contraire unis les uns aux autres par une corrélation intime, d'après leur teneur en silice; il n'y a pas de lacune qui représenterait un saut artificiel, un manque de régularité dans le système. Au contraire, les membres qui manquent ne représentent que des variétés de l'un ou de l'autre des types connus; les places de ces absents sont bien marquées et certains de leurs caractères peuvent même être prédits, — meilleure preuve que le système pétrographique moderne n'est pas loin d'être un *système naturel* et que la notion des types chimiques que j'y introduis ne fait que contribuer à cette transformation.

1° D'après la teneur *moyenne* en silice, mes types chimiques sont intimement liés les uns aux autres par une corrélation légale : la teneur moyenne en silice de chaque type est égale à la demi-somme de la teneur des deux types voisins (1); la décroissance de la teneur en silice, depuis le granite jusqu'au périclote, se fait graduellement et régulièrement, de manière à former une série ininterrompue, où il ne manque pas un membre nécessaire.

2° Le quotient d'oxygène (« Sauerstoffquotient » de Bischoff) s'accroît graduellement à mesure qu'on avance du granite au périclote, à peu près depuis 0,25 jusqu'à 0,8. En même temps on observe aussi l'accroissement du poids spécifique (2), depuis 2,4 jusqu'à 3,2 à peu près. La série ascendante de chacun par lui-même de ces éléments offre une certaine régularité, il est vrai; mais elle n'est pas très marquée, peut-être à cause de déterminations quelquefois peu exactes ou de leur nombre insuffisant. Cette régularité devient pourtant presque saillante si l'on prend pour les quatre types principaux le quotient trouvé par division du poids spécifique par le « quotient d'oxygène ». On obtient alors, pour le granite : 10, pour la syénite : 8, pour le gabbro : 6, pour le périclote : 4. Les quatre principaux types chimiques de roches éruptives sont donc bien définis et présentent des étapes régulières dans la série ininterrompue des roches éruptives. J'ai lieu de croire que les types intermédiaires occupent sous ce rapport une position intermédiaire, c'est-à-dire que ce quotient est respecti-

(1) Nous avons affaire à des nombres *moyens*, voilà pourquoi il n'y a pas toujours complète coïncidence avec cette règle; les divergences ne dépassent pas 1 à 2 p. c.

(2) Le calcul qui suit n'est fait que pour les roches granitoïdes, le poids spécifique étant soumis à de grandes oscillations, en rapport avec la quantité de matière amorphe, vitreuse, même dans les limites d'un seul type dans la catégorie des roches trachytoïdes.

vement 9, 7 et 5 pour la diorite quartzifère, la diorite et la diabase à olivine. On aurait donc une série ininterrompue, depuis 10 jusque 4 ; le manque de dates suffisantes ne me permet pas de l'affirmer déjà positivement. Je suppose néanmoins que cet « index » en « équivalent numérique » a une signification pratique (voir le § suivant); d'un autre côté, il démontre que le type de la péridotite n'est pas le dernier, qu'il y en a encore plusieurs, avec les équivalents numériques 3, 2 et 1, qu'il faut chercher parmi les météorites ou dans les profondeurs de l'écorce terrestre. Ceci parle en même temps en faveur du passage graduel entre les péridotites et les météorites, qui ne forment ensemble, avec les tellurites, qu'une seule série ininterrompue de roches, depuis le granite jusqu'au fer météorique.

3° L'utilité pratique de mes types symboles chimiques, de mon « équivalent numérique » (ou index), des corrélations que je fais ressortir, se manifeste par la possibilité de prédire en partie certaines propriétés des membres faisant encore défaut dans le système des roches éruptives.

Ainsi si l'on parvenait à justifier l'existence du type du granite à pyroxène, sa teneur en silice serait égale à peu près à 70 p. c. Au moyen de « l'index » de ce type 10, on trouverait le quotient d'oxygène égal à 0,24, si le poids spécifique était 2,4; on le fixerait à 2,5, si le poids spécifique était 2,5 etc. Il suffirait de déterminer la quantité de quartz pour trouver avec certains calculs les autres parties constituantes de la roche. S'il existe une diorite à olivine, c'est-à-dire la combinaison : feldspath triclinique, amphibole, péridot — cette roche doit avoir une teneur en silice de 45 à 46 p. c. ; le quotient d'oxygène serait égal à 0,45 dans la supposition d'un poids spécifique de 2,9 ou plutôt égal à 0,5 avec un poids spécifique de 3, etc., etc. Je ne m'arrête point sur les exemples de ce genre dans l'espoir de donner avec le temps un article spécial sur cette question si intéressante.

4° La série de roches éruptives présente une certaine *périodicité régulière*. Le mica (biotite) se combinant avec l'orthose et le quartz, avec les feldspaths tricliniques, etc., forme une série décroissante d'après la teneur en silice; l'amphibole offre une série tout à fait analogue même plus complète encore; enfin pour le pyroxène on observe la même chose. Dans la catégorie des roches granitoïdes, ainsi que dans celle des roches trachytoïdes il y a donc trois séries parallèles se distinguant seulement un peu par la quantité absolue de silice (1). En disposant

(1) Les roches à biotite semblent être les plus acides; la série analogue à amphibole contient déjà moins de silice et celle à pyroxène est encore moins acide.

dans chacune de ces catégories toutes les roches en une ligne, on aurait trois grandes périodes, trois fois un maximum et un minimum de silice. En admettant que le décroissement de la teneur en silice se fasse régulièrement en progression arithmétique, on pourrait de cette manière définir avec plus de précision encore les membres qui font défaut dans cette série ininterrompue et graduelle.

En terminant mes considérations, en partie préliminaires et qu'il reste à confirmer par des observations, des analyses et des expériences synthétiques (1), j'exprime le vif désir d'entendre une critique de mes points de vues, en exprimant d'avance ma reconnaissance pour toutes les indications, aussi bien pour les objections que pour les confirmations de mes réflexions pétro-chimiques (2).

(1) Ces recherches doivent établir si certains membres qui manquent dans le système existent, mais ne sont pas encore trouvés, ou si ces combinaisons minéralogiques ne sont point possibles dans la série des roches éruptives.

(2) Plusieurs mois après l'impression de mon étude russe (Sur quelques types chimiques des roches éruptives, *Revue des Sciences Natur.*, St-Pétersbourg 1890, n°1) communiquée à la section géolog. du VIII^e Congrès de Natur. et Médec. Russe à St-Pétersbourg, le 11 janvier 1890, et après la présentation de l'article présent à la Société belge, etc., je reçus de M. Rosenbusch son intéressant mémoire : *Meber die chemischen Beziehungen der Eruptivgesteine* (Tseherm. M. P. M., Bd. XI, keft 2). Malheureusement je ne puis plus entrer dans des détails du mémoire de M. Rosenbusch, dont j'ai donné une analyse en russe dans la *Revue des Sciences Naturelles*, 1890, n° 5, St-Pétersbourg. Mais je ne saurais passer ici sous silence que les principaux types chimiques de M. Rosenbusch, auxquels il arrive par un calcul essentiellement différent de mes considérations, sont en somme équivalents à mes quatre principaux types — preuve de plus de l'existence réelle de ces types.
