Sur les matières fertilisantes d'origines silicatée

Autor(en): **Wegmann, C.-E.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **68 (1943)**

PDF erstellt am: **01.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-88769

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

SUR LES MATIÈRES FERTILISANTES D'ORIGINE SILICATÉE

par

C.-E. WEGMANN

AVEC 2 FIGURES

Chacun en Suisse a entendu parler du plan Wahlen pour l'extension des cultures. Les réactions du public à l'égard de ce plan et de ses conséquences sont assez différentes : les uns sont compréhensifs et se montrent actifs, d'autres restent passifs; on rencontre même des personnes qui voudraient s'y opposer. Nous ne voulons pas discuter ici de leurs raisons pour ou contre; nous ne voulons que faire appel à leurs connaissances en matière de cultures, de ravitaillement, de plantations, etc., pour relever quelques considérations qui ne nous semblent pas sans intérêt au point de vue géologique, tant pour le côté pratique de la question que pour son aspect purement scientifique. Rappelons comme point de départ un chiffre qui revient de temps en temps dans la discussion.

Une bonne récolte de pommes de terre extrait du sol environ 160 k de potasse par hectare. Puisqu'on enlève les pommes de terre, cette quantité de potasse n'est pas restituée au sol, comme c'est le cas des associations végétales vivant leur cycle naturel. Si nous considérons une association de plantes annuelles, nous voyons à la fin de l'année les organes végétatifs se dessécher, tomber à terre et se décomposer. Ce serait un *premier* type de cycle. On pourra naturellement distinguer un certain nombre de variations; nous ne voulons pas les considérer ici, mais passer à un *second* type : Imaginons une prairie naturelle, avant l'arrivée de l'homme, et des buffles qui y paissent; si notre imagination ne souligne pas seulement le côté romantique de cette image, nous constaterons que les buffles rendent au sol une certaine partie des matières minérales absorbées sous forme de nourriture. Mais si nous passons de cet état de choses à nos pâturages plus ou moins artificiels, nous pouvons distinguer plusieurs étapes : une première, où les animaux demeurent longtemps sur le pâturage, et une seconde où ils restent à l'écurie; l'herbe ou le foin sont alors transportés par l'homme dans l'écurie, et une partie des

matières minérales est rendue à la terre sous forme de fumier. Les variations de ce type d'économie, où une partie plus ou moins grande des matières minérales est rendue à la terre, nous font passer progressivement à notre *troisième* type; nous le connaissons tous; ce sont les champs de pommes de terre, de betteraves, de choux, de carottes, etc.

Ces trois types d'économie du sol marquent les étapes de l'utilisation de la terre par les hommes; ils dénotent aussi une intensification de plus en plus grande des cultures dans les pays civilisés. Par les moissons on extrait donc des sols des quantités croissantes de matières minérales.

Pendant le siècle dernier, la population des villes européennes a beaucoup augmenté, et avec elle les besoins en matières alimentaires. Les vieilles méthodes de culture ne suffirent plus. C'est alors que le célèbre chimiste LIEBIG a fondé une nouvelle branche de la chimie, devenue aujourd'hui d'importance capitale, *la chimie agricole*. C'est LIEBIG qui le premier a montré d'une manière convaincante qu'il fallait rendre à la terre ce qu'on lui avait enlevé, principe qui est à la base de l'agriculture intensive moderne, de l'industrie des engrais, des travaux de recherches et des expériences de nos stations d'essais. C'est donc un principe littéralement « fécond » de notre civilisation moderne. Cela ne veut pas dire que les engrais ne fussent pas du tout connus avant LIEBIG.

Le système extensif des cultures consistait en une méthode simple : la mise en jachère des champs. Le sol se « reposait » pendant plusieurs années et « reprenait des forces », comme on disait. On n'ajoutait pas de matières minérales pendant ce temps, mais l'expérience montrait que la fertilité avait augmenté. Pour expliquer ce phénomène, considérons les matières minérales des sols, en laissant de côté les constituants organiques. Par là, nous ne voulons pas dire que ces derniers ne soient pas importants; c'est le contraire qui est le cas, comme le sait toute personne qui cultive un jardin. Mais nous ne ferons d'abord que le bilan des matières minérales et nous prenons la *potasse* comme exemple.

Les matières minérales des sols sont dans la règle le produit de la décomposition des roches sous-jacentes. Il y a des exceptions à cette règle, comme par exemple les sols qui se forment à partir des poussières apportées par les vents. La source la plus importante du potassium sera donc la roche sous-jacente. Les roches sont composées de minéraux, et parmi ces minéraux nous pouvons en distinguer un certain nombre qui entrent en ligne de compte pour nos sols suisses. Ce sont les feldspaths, les micas, les glauconies et les minéraux argileux. Il existe encore un certain nombre de minéraux riches en potasse, comme la leucite, la néphéline, mais ils ne jouent aucun rôle en Suisse.

Regardons de plus près ces minéraux. Et d'abord les feldspaths. On distingue des feldspaths potassiques, sodiques et calciques. Les feldspaths potassiques sont la microcline et l'orthose, qui sont les

feldspaths les plus importants dans certaines roches. Ce sont par exemple ces cristaux prismatiques roses ou blancs, qu'on trouve dans les granits et les gneiss, ou dont on voit briller les macles dans les bords des trottoirs. Ils constituent une partie importante des granits et des gneiss des Alpes, et, puisque ces roches peuvent constituer un tiers des graviers et des moraines qui forment le sous-sol des parties inférieures de notre région, elles nous intéressent particulièrement. Ce ne sont donc pas seulement des minéraux de musée, mais des réalités importantes, et l'on peut ainsi s'attendre à ce qu'ils jouent un certain rôle dans l'économie de nos sols. Les géochimistes américains ont calculé que les feldspaths formaient presque le 60% de l'écorce terrestre, dont environ le tiers, soit environ 20%, sont des feldspaths potassiques.

Les *micas* ont une composition chimique ressemblant à celle des feldspaths. On distingue les micas blancs et les micas noirs. Les *micas blancs* ou *muscovite* sont ces feuillets transparents qu'on trouve dans certains granits, gneiss, pegmatites et autres roches de ce genre. Dans les schistes, on en connaît une variété en fines paillettes qu'on appelle séricite, parce qu'elle donne un éclat soyeux à la cassure des schistes. La formule des muscovites montre un pourcentage assez élevé en potasse. Les *micas noirs* ou *biotites* sont les paillettes noires des granits et des gneiss qui deviennent dorées par la décomposition, de sorte que bien des personnes croient avoir trouvé une mine d'or quand, regardant attentivement le sol, elles y découvrent de ces paillettes. Le pourcentage en K_2O est de 7-10%, le plus souvent de 8-9%. Les micas constituent le 3,5-4% de l'écorce terrestre; ils sont, surtout les micas noirs, des constituants importants des granits et des gneiss. On peut donc s'attendre à ce qu'ils jouent un rôle important dans les sols. Ce rôle pourra être déterminé de plusieurs manières : soit en en suivant la décomposition dans les sols, soit en essayant d'extraire la potasse par des solutions aqueuses, acides ou basiques. Des expériences de ce genre ont été faites depuis longtemps, mais c'est seulement depuis 1918 que des recherches de grande envergure furent effectuées en Norvège. Ces recherches avaient des buts pratiques, mais elles ont été menées pendant dix ans avec une technique scientifique admirable.

Pendant la dernière guerre, la Norvège souffrit beaucoup du blocus. Pour être mieux à l'abri des éventualités, le gouvernement nomma un comité des matières premières qui dut s'occuper de l'inventorisation des matières premières du pays et de leur utilisation rationnelle. La partie minérale était dirigée par le célèbre géochimiste Goldschmidt, à Oslo. Ses recherches eurent des conséquences scientifiques et économiques d'une très grande portée. Leurs résultats furent consignés dans des dossiers qui constituaient de ce fait une sorte d'archive d'état-major économique. En cas de crise, il n'y avait plus qu'à en sortir les plans et à les appliquer. C'était un rare exemple de prévoyance. J'ai eu l'avantage de

travailler pour cette organisation et j'ai proposé en son temps qu'on crée un organisme de ce genre en Suisse.

Parmi les matières dont on manquait pendant la dernière guerre en Norvège se trouvait aussi la potasse. Il fallait donc découvrir des succédanés pour les sels de potasse qui pussent être utilisés comme fertilisants. Les feldspaths et les micas sont encore bien plus répandus en Norvège qu'ils ne le sont en Suisse. M. GOLDSCHMIDT a donc fait procéder à des expériences. Il ne fallait pas seulement savoir combien ces minéraux contenaient de potasse, connaître leur teneur variable dans les différents gisements, mais aussi savoir si la potasse y était contenue de façon à pouvoir servir de nourriture aux plantes. Les expériences ont montré que le feldspath était, selon les conditions expérimentales, de 2 à 200 fois moins attaquable que les micas noirs. Parmi les micas, c'étaient de nouveau les micas noirs qui étaient beaucoup plus attaquables que les micas blancs.

Ces expériences sont confirmées par les observations faites dans la nature. Si nous regardons, par exemple, des galets de granit dans nos champs, nous voyons souvent que les feldspaths ne sont presque pas altérés macroscopiquement. L'altération superficielle a duré depuis que la dernière glaciation a pris fin, soit en chiffre rond depuis quelques dizaines de milliers d'années, chiffre qui varie suivant les endroits. Les micas noirs sont souvent très altérés; beaucoup d'entre eux ont certainement disparu. Nous sommes donc en droit d'admettre que ce sont surtout les micas qui couvrent les demandes courantes de la végétation, tandis que les feldspaths forment la réserve séculaire qui n'est que très lentement accessible.

Mais les recherches ne se sont pas arrêtées là. Vous avez tous entendu parler de la structure réticulaire des cristaux, c'est-à-dire de l'arrangement régulier de leurs atomes. Comparons les deux réseaux des fig. 1 et 2. Dans le réseau de l'*orthose* (fig. 1), le groupe SiO_4 forme des configurations tétraédriques; l'atome de silicium se trouve au centre du tétraèdre; les atomes d'oxygène en occupent les sommets. Ces tétraèdres peuvent s'associer d'une façon différente dans les divers silicates. Dans les feldspaths, ils forment une armature composée de chaînes qui se groupent de la façon indiquée par le dessin. Les chiffres indiquent des distances entre un plan 0 et un plan 100. Après chaque plan 100, la structure se répète. Certaines positions du Si peuvent être occupées par de l'Al. On trouve les atomes de K enfermés dans ces chaînes. Ils sont donc assez bien calés dans le bâti.

Comparons maintenant cette structure à celle des *micas* (fig. 2): Nous avons de nouveau des tétraèdres de SiO_4; mais ici, ils ne sont pas arrangés de la même façon. On distingue des planchers formés par des tétraèdres de silice. Mais les extrémités libres des planchers ne regardent pas toutes du même côté. Si nous commençons en bas, nous voyons une première couche de tétraèdres qui ont dirigé leurs pointes vers le haut. Plus haut, une seconde couche

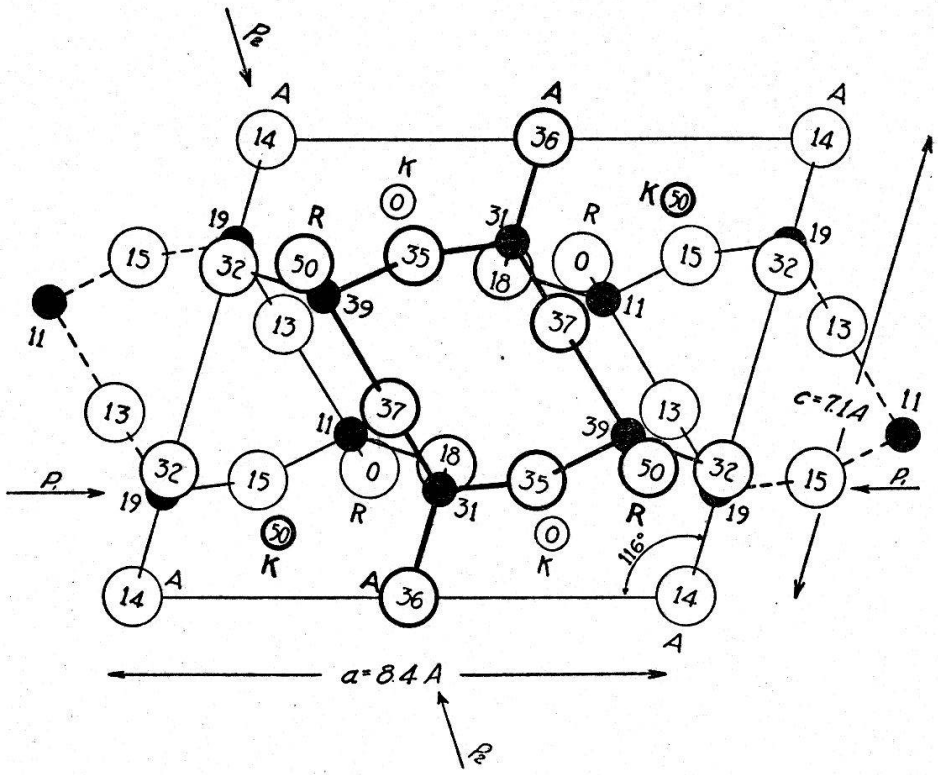

Fig. 1. Structure cristalline de l'orthose ($KAlSi_3O_8$). Les points noirs représentent les positions des atomes de silicium; ils sont entourés en configuration de tétraèdre par les atomes d'oxygène (cercles plus grands). Les cercles marqués K représentent le potassium. Les chiffres indiquent les distances d'un plan zéro, parallèle à la surface du papier. Un plan de réflexion se trouve à la distance 50; entre 50 et 100 la structure se répète pour former la maille complète.

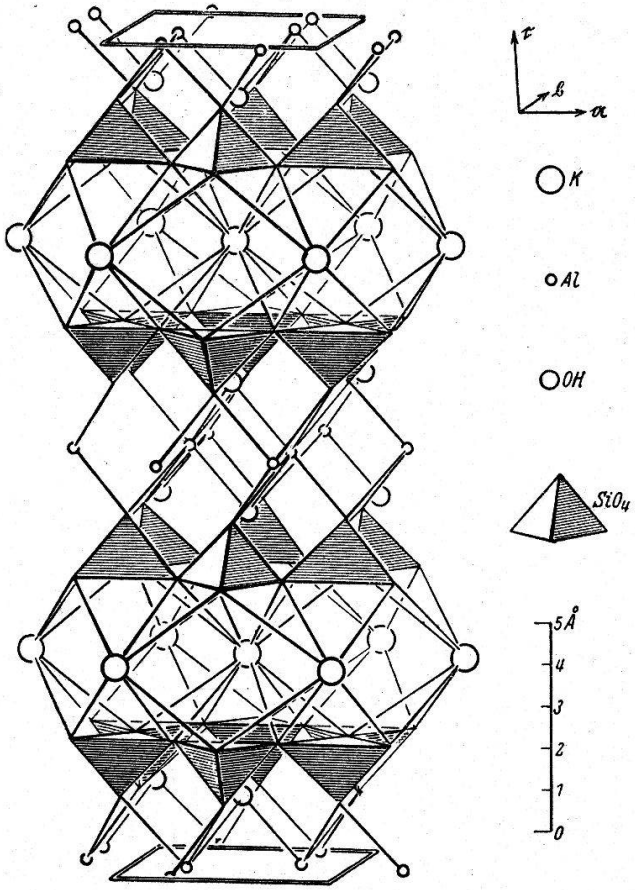

Fig. 2. Maille du réseau de la muscovite ($KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$), type du groupe des micas, dont fait partie la biotite ($K(MgFe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$).

dirige ses pointes vers le bas. Ces deux couches sont liées par des atomes d'Al, qui, eux, portent encore un certain nombre de groupes OH. Notre premier complexe est donc composé de deux couches de tétraèdres liés par les Al qui portent en outre des groupes OH. La maille primitive, c'est-à-dire celle qui se répète, est constituée par deux couches complexes. Ce sont les atomes de K qui font la soudure des couches complexes. Tout le minéral a donc une structure en couches. Sa forme extérieure n'est qu'un reflet de sa structure interne. Le clivage des micas est très connu. On peut diviser celui-ci parallèlement aux plans en lamelles extrêmement minces. Les plans de séparation correspondent aux zones faibles du réseau. On comprendra facilement pourquoi les micas libèrent plus facilement leur potasse que les feldspaths.

Mais on peut se demander pourquoi la biotite est plus favorable au point de vue de la potasse que la muscovite et la séricite, bien que ces dernières contiennent parfois un pourcentage plus élevé de K_2O. Nous ne voulons pas entrer dans une longue explication. Si nous notons que les biotites se trouvent d'habitude dans des roches qui se sont formées à des températures plus élevées que les roches qui contiennent de la muscovite et de la séricite, on comprendra facilement que l'écart des conditions de stabilité, c'est-à-dire l'écart entre les conditions physiques de formation des deux minéraux et celles qui règnent à la surface de la terre, est plus grand pour la biotite que pour la muscovite.

Si l'on n'a pas de sels de potassium à disposition et si l'on veut fertiliser un terrain, on emploiera donc de préférence de la biotite. C'est à ce résultat que les travaux norvégiens ont abouti. De grands essais de culture ont été faits dans différentes conditions, et, ainsi, les degrés d'efficacité relative de la biotite, de la muscovite, de la séricite et du feldspath ont pu être constatés. En se basant sur ces expériences, on a pu calculer le prix de la potasse par kilo dans les biotites et les roches à biotite. Aussi longtemps que le prix de la potasse étrangère se tient au-dessous de certaines limites, l'emploi des schistes à biotites comme source de potasse n'est pas rentable. Si le prix dépasse cette limite, on peut avoir recours aux gisements nationaux. Remarquons que, puisque le pourcentage en potasse des micaschistes n'est pas élevé, on doit transporter beaucoup de matière inerte. La question de l'utilisation de ces roches comme fertilisant est donc aussi une question de transport. Nous ne voulons pas entrer dans ces questions économiques, bien que leur étude soit très intéressante. La Norvège est un pays d'une très grande étendue. Pour diminuer les transports, on a cherché à découvrir dans chaque région des gisements de roches à biotite, pour dresser ensuite les plans d'exploitation.

Nous avons aussi en Suisse des roches de ce genre avec un pourcentage en potasse d'environ 8%. Mais ces 8% sont-ils entièrement utilisables pour la plante ? Les expériences ont montré

que seulement une partie en est utilisée pendant la première année. La biotite n'agit donc pas de la même façon que les sels de potassium facilement solubles. Toute la potasse ne se dissout pas en bloc, elle ne se libère que peu à peu. La solution sera donc très faible. Mais, puisque des solutions de ce genre ont baigné les racines des plantes depuis les temps géologiques, depuis qu'elles ont commencé à peupler la terre ferme, on doit admettre qu'elles sont adaptées à ce régime. La plupart des plantes sauvages ont toujours vécu avec des sources de potasse de ce genre. Si la plante est adaptée à ces concentrations, on peut se demander comment elle se comporte quand on lui donne des sels de potasse facilement solubles, comme ceux du commerce qui ont une teneur de 40% de K_2O.

Pour comprendre une partie de cet effet, nous devons nous occuper maintenant de la composition des sols. Nous avons tous vu qu'ils sont composés de cailloux, de grains de sable, de poussières et de matières à calibre encore plus fin qu'on appelle couramment matières argileuses. Ces matières argileuses sont de l'ordre de grandeur des colloïdes. Au point de vue minéralogique, c'est un mélange de plusieurs composants : ce sont premièrement de très petits grains de minéraux identiques à ceux des grains plus grossiers. Secondement, on y rencontre des minéraux spéciaux qu'on appelle les minéraux argileux. On en connaît toute une série divisée en plusieurs groupes. Ce sont les groupes de la kaolinite, de la montmorillonite, de la nontronite et d'autres encore. Nous ne voulons pas les traiter ici en détail. Ils ont ceci de commun que leur structure ressemble en quelque sorte à celle des micas. Ils sont aussi composés par des couches de tétraèdres de SiO_4, mais, dans la kaolinite, par exemple, les pointes des tétraèdres regardent toutes du même côté. Là, elles fixent des atomes d'aluminium qui, eux, se sont rattaché des groupes OH à leurs valences libres. La distance des couches varie suivant les espèces; les couches sont tenues ensemble par les forces dites de VAN DER WAALS. Ces structures cristallines ont le pouvoir de fixer des couches d'eau et des ions métalliques, c'est-à-dire aussi des alcalis. Si la solution intergranulaire est trop concentrée, les minéraux argileux peuvent fixer une certaine quantité d'ions et les emmagasiner jusqu'à ce que la solution soit plus diluée. Ces minéraux jouent donc en quelque sorte le rôle d'une caisse d'épargne. La plupart des sols ont donc un automatisme régulateur merveilleux. Toutefois, certaines limites ne doivent pas être dépassées sans que le système soit endommagé. Il est facile de voir que les ions des sels solubles auront des effets qui ne seront pas toujours prévisibles dans leurs détails dans un corps colloïdal compliqué. C'est ainsi qu'un certain nombre de savants pensent que le fait que beaucoup de nos plantes cultivées sont sujettes aux maladies infectieuses, provient de l'emploi trop poussé d'engrais facilement solubles. C'est là une question de physiologie végétale qu'il ne

m'appartient pas de trancher. Mais il y a une autre question qui touche de nouveau au domaine de la géologie et de la géochimie. C'est la question des *éléments en trace.*

Nous avons tous entendu différentes conférences magistrales sur les vitamines et leurs effets; or, il semble qu'il existe aussi des matières qui doivent être présentes en quantités minimes dans le sol pour que la plante puisse se développer; nous prenons comme exemple *le bore.* On a trouvé que certaines plantes, par exemple les betteraves, sont sujettes à des maladies, si la terre ne contient pas de traces de bore. Si l'on continue des cultures qui retirent beaucoup de bore du sol, la carence en bore ne tarde pas à se faire sentir. Aussi longtemps qu'on employait le salpêtre du Chili, ce manque ne s'est pas fait remarquer, parce que cet engrais contient presque tous les éléments du système périodique, en tout cas en traces minimes. Mais, lorsqu'on a commencé à employer des azotates synthétiques, chimiquement beaucoup plus purs, le déficit devint sensible. On put y remédier en répandant sur les champs de faibles doses de borax.

On entrevoit par là une méthode de traitement intéressante. La plupart des maladies des plantes sont actuellement traitées par des enduits qu'on fixe sur les parties végétatives à l'aide de solutions, de suspensions ou de poudres. C'est donc un peu comme si l'on traitait les maladies des hommes seulement par des massages, des badigeonnages et des bains. Chacun sait que les médecins qui n'ordonnent pas des pilules et des mixtures à leurs malades ne sont guère populaires. Il semble donc possible de traiter la faiblesse de résistance contre certaines maladies en offrant des traces de certains éléments par la voie des racines.

Les études sur la cristallographie des virus ont ouvert des vues nouvelles sur ces problèmes. On sait aujourd'hui que certains virus sont des corps chimiques qu'on peut obtenir à l'état cristallisé. Ils se distinguent des autres corps albumineux par des allongements des chaînes, par des positions différentes de certains groupes, mais ils ne sont pas fondamentalement différents des autres albumines. Il semble que la présence ou l'absence de certains atomes ou groupements d'atomes facilite ou empêche leur formation. Les éléments en trace joueraient donc un peu le rôle de catalyseurs ou d'anticatalyseurs. Ils restent dans le corps de la plante. Ce n'est donc qu'avec la mort de celle-ci que les traces reviennent au sol ou qu'elles en sont enlevées. On a beaucoup discuté de savoir s'il faut les comparer aux vitamines, aux hormones ou à d'autres corps. Le point essentiel pour le bilan du sol est que ces éléments suivent le sort de la substance de la plante. Ils sont donc extraits avec chaque moisson. Pour les éléments qui ne doivent avoir qu'une concentration minime, on peut admettre que la réserve est suffisante dans la plupart des sols. Ceux qui sont consommés en quantités appréciables doivent, par contre, être restitués.

Or, c'est le cas pour le bore. Mais, à cet égard, la nature s'est

montrée généreuse pour notre canton. Vous vous rappelez certainement que les marnières ont été exploitées autrefois et que le sol des vignes a été amélioré avec des marnes. Dans ce temps-là, les chimistes croyaient que c'était la chaux qui en était l'élément actif. Ces dernières années, M. TRUNINGER, chef de la station d'essais à Liebefeld, a trouvé que les marnes contenaient quelques milligrammes de bore par kilo, dont une partie est facilement soluble, donc directement accessible aux plantes. Il est très probable qu'il y a encore d'autres éléments en traces dans les marnes et il y aurait là, certainement, des problèmes très intéressants qui s'offriraient à la coopération de plusieurs sciences. Remarquons que les marnes du Jura ont, en général, un contenu plus élevé en bore que celles des Alpes.

On pourrait aussi penser à une méthode de travail appliquée à certains problèmes en Finlande et en Suède : on récolte un certain nombre de plantes provenant de différents sols, on les calcine et on détermine les traces d'éléments comme le bore, le vanadium, le molybdène, le chrome, l'or et d'autres encore. Par cette méthode, on pourrait déterminer quelles sont les roches dont la composition est la plus favorable. Il est certain que ces investigations vont être faites aussi en Suisse; il serait dommage qu'elles ne s'entreprennent pas tout d'abord à Neuchâtel.

Il est recommandable de remettre en exploitation les marnières du canton et d'en ouvrir quelques-unes dans chaque district. Les paysans qui possèdent des moyens de transport peuvent alors aller y chercher la marne pendant la saison morte et la répandre sur les champs. Elle sera décomposée par le jeu du gel et du dégel et remaniée au printemps par la charrue. D'autre part, les fabriques de ciment mettent à la disposition des acheteurs des marnes finement moulues qui peuvent être étendues sur les champs, où leurs effets se feront vite sentir. Nous voyons donc qu'il existe des matières premières d'importance qui se trouvent à nos portes et qu'il ne s'agit que d'exploiter. En appliquant des méthodes modernes d'investigation, telles qu'elles ont été mises au point en Scandinavie, telles que les Allemands les ont appliquées et telles que les Américains sont en train de les organiser, on tirerait certainement un profit beaucoup plus grand de notre sol national.

Citons encore un minéral qu'on trouve chez nous : c'est la *glauconie*. Ce sont ces points noirs ou verdâtres que l'on voit par exemple dans les couches formant la limite entre la pierre jaune et les marnes bleues. On en trouve aussi dans les horizons les plus élevés du Crétacé du canton, dans certaines couches molassiques et dans les sables qui en tirent leur origine. Sa formule théorique est $K\,Fe\,Si_2O_6{,}3\,H_2O$. Dans le minéral pur, il y aurait 13% de potasse. L'analyse des grains de glauconie montre 7 à 8,5% de K, plus rarement 9,5%. Dans les roches, il n'y a qu'un certain pourcentage de glauconie. Ce sont les sables verts, dits « Greensands » qui en contiennent le plus. Ces sables se rencontrent surtout

dans le Gault. Ils peuvent contenir 3-3,5% de K. Souvent ils contiennent aussi un peu de phosphate; mais ces phosphates ne sont souvent que peu solubles.

Il est certain que les sables verts du Crétacé ont été beaucoup plus répandus dans le Jura que leurs rares restes ne le font supposer. La preuve en est qu'on trouve dans certains sables molassiques du Jura beaucoup plus de glauconie qu'on pourrait le supposer d'après leur facies. Ce sont des glauconies qui ont été reprises par la molasse. Quand les glauconies ont subi un certain transport, elles se montrent plus ou moins usées. De ce fait, elles peuvent être, en général, d'une grandeur légèrement plus faible que celle des grains de quartz. Dans ce cas, on peut obtenir un produit légèrement plus riche en glauconie par un procédé très simple et peu coûteux : on peut tamiser les sables. Mais, dans ce cas, il faut naturellement qu'on procède d'avance à une analyse granulométrique. Avant l'emploi des sels de potasse, on a beaucoup usé de ces sables verts comme fertilisants dans différents pays, surtout dans les Etats de la Nouvelle-Angleterre. Le pourcentage en potasse variait entre 1,5 et 7,5% en chiffre rond, dont 1.35 à 6 8% étaient solubles dans HCl dilué. Le pourcentage du P_2O_5 variait entre 0,16 et 1.25%. Pendant la dernière guerre, des études sur les sables verts comme fertilisants ont été reprises, mais leurs gisements n'ont eu qu'une importance locale.

La glauconie est un minéral qui ne se forme que dans les dépôts marins. Les nouvelles recherches ont montré qu'elle avait un réseau cristallin semblable à celui des micas. Il est donc très probable que ce sont des produits de transformation des micas en milieu marin. Ce sont des formations intéressantes aussi bien au point de vue de leur genèse qu'à celui de leurs transformations ultérieures dans les sols, comme élément nutritif des plantes.

Il ressort de ce que nous venons de dire que les marnes à glauconie auraient une composition favorable à la formation de bons sols, et que ce seraient là des régénérateurs pour les sols cultivés. Nous avons des roches de ce genre dans le canton. Il suffit d'entreprendre des études en vue de leur application rationnelle.

Jusqu'ici, nous avons surtout parlé de la potasse et des éléments en traces. Mais l'élément qui cause le plus de soucis à notre gouvernement, c'est le phosphore. Les roches qui contiennent des concentrations de phosphates sont rares dans notre pays, et, là où l'on en trouve, les concentrations sont dispersées. Le problème des phosphates est donc des plus graves.

Jusqu'à maintenant, nous avons surtout traité les matières minérales du sous-sol, mais nous avons vu au commencement que certaines matières utiles sont rendues au sol par les plantes, par les animaux ou par les hommes. Dans les exploitations agricoles, le fumier a toujours joué un grand rôle. Le service de récupération nous conserve une partie importante des phosphates sous

forme des os de boucherie. Mais il y aurait encore une source importante qui n'est que partiellement exploitée; ce sont les eaux de canalisation des villes. Quand on pense que l'agglomération de Neuchâtel laisse écouler dans le lac une cinquantaine de tonnes de matières utiles par jour, matières qui deviendront de plus en plus nuisibles au lac, on voit qu'il y a encore des possibilités. D'autre part, nous faisons venir les déchets d'autres villes pour fertiliser nos jardins, déchets que nous-mêmes laissons aller au lac.

Ces exemples nous montrent différents cycles parcourus par certains éléments chimiques. Dans la nature, ces cycles varient avec les conditions topographiques, climatiques et l'évolution de la végétation. En changeant la couverture végétale, l'homme a introduit des variations dans ces cycles, qui, elles, en entraînent d'autres. Puisque nous ne pouvons pas revenir aux stades primitifs de la culture extensive, il nous faut adapter nos cultures dans la mesure du possible aux conditions naturelles. Une partie des transports que la nature pratiquait elle-même doit être entreprise par l'homme, en particulier la distribution des matières fertilisantes, qu'on extrait et qu'on éloigne sous forme de produits agricoles.

Avant l'arrivée de l'homme, les éléments nécessaires ont été transportés par l'eau, par les vents et par les glaciers. Je ne veux pas entrer en détail dans ces modes de transport; je ne fais que rappeler le transport des rivières et leur action bienfaisante, dont le type est fourni par le cas légendaire du Nil. Le delta du Nil est un exemple très intéressant, montrant comment la culture intensive moderne exige des méthodes modernes. Depuis les temps des Pharaons, les boues des inondations suffisaient pour conserver au sol une fertilité proverbiale qui a fait une impression profonde aux Israélites, impression qui ne s'est pas perdue pendant des centaines d'années, comme le montrent les récits de l'Ancien Testament. Depuis la dernière guerre, l'Egypte a commencé à importer des engrais dits artificiels, de sorte qu'elle est actuellement un des pays à forte importation de matières fertilisantes.

En ce qui concerne le transport par les vents, je n'ai qu'à rappeler les régions du lœss de la Chine ou du centre des Etats-Unis pour vous remémorer son importance dans la production agricole. Enfin, ce sont des glaciers qui ont apporté cette riche variété de roches qui fait la couverture de nos coteaux et du pays molassique et qui en déterminent la fertilité, bien que cet apport glaciaire ait été une manière un peu brutale de fertiliser le sol, puisqu'il a détruit toute la végétation antérieure.

Ces apports ne sont possibles que si les conditions topographiques sont favorables. Les lœss du centre de l'Europe datent des temps quaternaires. Les glaciers et leurs eaux ont mis à la disposition des vents des quantités de poussières qui ont été transportées et déposées dans des régions plus éloignées des glaciers. L'action des rivières et des glaciers est fonction des conditions

climatiques et des différences de niveaux qui ont subi maint changement au cours des périodes géologiques. Nous savons qu'il y a eu pendant l'histoire terrestre des périodes actives et des périodes tranquilles. Chaque fois que des chaînes de montagnes se sont formées, l'érosion a été activée. Elle a attaqué des roches de plus en plus profondes et les a étalées sur l'avant-pays. Les mouvements orogéniques n'ont pas seulement créé des reliefs, ils ont aussi mis à la disposition de la végétation du matériel cristallin vierge. Avec les sables et les boues, une quantité d'éléments rares sans cela s'est ainsi étendue sur de vastes pays, et, bien que très diluée, elle a certainement été d'un apport significatif. En effet, si nous suivons l'évolution des flores, nous voyons qu'après chaque phase tectonique importante la flore atteint un épanouissement considérable et que de nouveaux types se répandent. La flore est d'ailleurs suivie par les faunes qui en dépendent.

Les périodes d'évolution rapide coïncident avec les phases de relief accentué. L'évolution organique est influencée d'une part par des changements climatiques entraînés par la surrection du relief, d'autre part par les apports d'éléments importants au sous-sol. C'est aux botanistes et aux cytologistes à faire la part de chaque facteur; le second a certainement été trop négligé jusqu'à maintenant.

Il appartient à la géologie moderne de situer ces problèmes dans le cadre de l'évolution générale de notre globe et de la circulation des éléments chimiques. Cette circulation a changé au cours de l'histoire du globe, mais elle n'a pas seulement changé, elle a évolué, puisqu'il y a interdépendance entre la végétation et la circulation. L'avènement d'une végétation terrestre importante au Dévonien représente un des changements les plus importants. L'évolution de l'agriculture et le défrichement des pays d'ancienne culture représentent une nouvelle phase dans cette évolution, et le plan Wahlen nous fait assister à un nouvel épisode intéressant pour tous ceux qui se vouent à l'observation des phénomènes qui nous entourent plutôt que de s'adonner à des sentiments qui appartiendraient plutôt à la paléontologie de l'âme humaine.

Manuscrit reçu le 29 décembre 1943.