

DEUX EXEMPLES DE PEDOLOGIE APPLIQUEE

par J. P. HECK (**) et G. HANOTIAUX (*)

RESUME. - La fertilité phosphatée des sols et les risques de contamination des nappes phréatiques profondes par les pratiques agricoles modernes servent de support aux auteurs pour mettre en évidence l'utilité que revêt la connaissance de divers paramètres édaphiques dans la résolution de problèmes à finalité essentiellement pratique.

Ces paramètres, qu'ils soient de nature chimique, physique, physico-chimique ou biologique, ont permis :

1. d'élaborer une nouvelle approche de la fertilisation phosphatée des espèces végétales de grande culture;
2. d'évaluer les risques de contamination que peuvent courir les nappes phréatiques profondes par l'utilisation "en surface" des produits chimiques divers que requièrent les pratiques phytotechniques modernes.

SAMENVATTING. - De fosfaat vruchtbaarheid van gronden en het risico van diepe grondwaterverontreiniging door de moderne landbouwmethoden bieden de schrijvers de gelegenheid om het nut van de kennis van verschillende bodem parameters te beklemtonen welke kunnen bijdragen tot een oplossing van praktische problemen.

Deze parameters, van welke natuur ze ook zijn, chemisch, fysisch, physico-chemisch, of biologisch, konden leiden tot :

1. het uitwerken van een nieuwe benadering betreffende de fosfaat fertilisatie van gewassen op grote oppervlakten;
2. de verontreinigingsrisico's te schatten van de diepe grondwaterlagen, na gebruik "aan de oppervlakte" van verschillende chemische producten die bij moderne landbouwtoepassingen nodig zijn.

SUMMARY. - The phosphate fertility of soils and the risk of contaminating of the deep ground water tables by modern agricultural practices, enable the authors to underline the importance attached to the knowledge of different edaphic parameters in solving problems of an essentially practical finality.

These parameters, whether of a chemical, physical, physico-chemical or biological nature, have led to :

1. elaborate a new approach to phosphate fertility of plant species in large scale farming;
2. evaluate the risk of contamination incurred by deep ground water tables by "surface" application of various chemical products required by modern phytotechnical practices.

INTRODUCTION.

Les paramètres édaphiques définis par les pédologues doivent être considérés comme des outils de travail précieux pour les agronomes soucieux de la rentabilité des pratiques agricoles et de l'incidence de celles-ci sur notre environnement.

A titre d'exemple, l'utilisation de ces paramètres sera illustrée dans deux cas :

1. la fertilité phosphatée des sols de culture;
2. l'évaluation des risques de contamination des nappes d'eau souterraine par les méthodes phytotechniques modernes.

1. LA FERTILITE PHOSPHATEE DES SOLS DE CULTURE.

Le phosphore est un élément biogène reconnu comme étant indispensable à la vie du monde végétal. Ceci signifie qu'en son absence le développement de toute forme de vie végétale n'est pas réalisable.

Aussi, les sols agricoles n'en étant pas toujours pourvus en suffisance, les agronomes, intéressés par la productivité des spéculations agricoles, insèrent-ils des apports de cet élément dans tout conseil de fumure.

Ces conseils reposent, le plus généralement, sur des résultats d'expérimentations

(*) Directeur du Service de la Science du Sol, Faculté des Sciences Agronomiques de l'Etat à Gembloux.

(**) Chercheur au Comité pour l'Etude de la Fertilité Chimique du Sol (I.R.S.I.A.)

dans lesquelles l'accent est placé préférentiellement sur la productivité quantitative et qualitative des cultures testées plutôt que sur le comportement dans le sol de l'élément P et des relations entre ce comportement et la physiologie d'un organisme végétal au niveau de sa nutrition phosphatée.

Ce comportement du P dans les sols, révélé par les travaux de recherches des chimistes du sol, nous a permis quant à nous d'envisager une nouvelle approche de la fertilisation phosphatée de nos spéculations agricoles.

1.1. COMPORTEMENT DU P DANS LES SOLS.

Le P peut exister dans les sols sous différents états :

- le P soluble, c'est-à-dire celui présent dans la solution du sol;
- le P échangeable, c'est-à-dire celui adsorbé sur les colloïdes (positifs) du sol;
- le P inclus dans la matière organique;
- le P précipité sous forme de phosphates divers, après réaction avec certains éléments présents dans les sols comme Al, Fe et Ca.

Quantitativement, ces différents états accusent des proportions variables au sein du P total en fonction des types de sol. Ainsi, à titre d'exemple, dans le cas d'un sol limoneux de Hesbaye, le P soluble et le P échangeable, ensemble, représentent 1 % du P total, le solde étant assuré par le P impliqué dans des combinaisons organiques et par celui incorporé dans les phosphates minéraux précipités qui se partagent ce solde en quantités équivalentes (2).

Toutes ces formes de P ne présentent pas la même accessibilité aux systèmes racinaires de cultures, ainsi :

- le P sous les formes solubles et échangeables peut être prélevé facilement par les racines, quoique en ce qui concerne l'échangeable il puisse exister des forces de sorption des anions phosphoriques sur les colloïdes du sol telles qu'elles puissent représenter un frein à l'assimilation de ces ions par les végétaux;
- le P, inclus dans des composés organiques doit, pour être accessible à la végétation, attendre la minéralisation de ces composés. Cette transformation est réputée ne libérer par an que 1 à 2% de P sous une forme minérale accessible;
- le P des différents composés phosphatés aluminiques, ferriques et calciques est réputé quant à lui être très peu accessible à la végétation à court terme et ne l'être qu'à longue échéance. Il le sera après sa mise en solution partielle. Celle-ci est conditionnée par l'appauvrissement de la solution du sol en cet élément suite aux prélèvements opérés par les cultures et est dépendante des produits de solubilité, souvent très faibles, de ces phosphates.

Ainsi, toute espèce végétale ne trouvera dans un sol qu'une quantité relativement faible de P dit "assimilable" en regard des

disponibilités potentielles totales.

C'est la raison pour laquelle depuis de nombreuses années, on assure des fumures phosphatées dites "de complément" assez substantielles. Ces apports extérieurs de P, qui ont souvent été pléthoriques par rapport aux prélèvements opérés par les cultures, ont contribué de part la propriété des ions phosphoriques de se combiner rapidement avec des éléments tels que Al, Fe et Ca, éléments le plus souvent abondamment représentés dans les sols, à augmenter, au fil des ans, le stock de "P précipité" dans les terres agricoles. Et ce, d'autant plus, que cette fixation énergétique du P dans les horizons où il est appliqué empêche toute perte de cet élément par lessivage vers les horizons profonds.

Ainsi, nos sols agricoles se sont enrichis considérablement au fil des ans (*). La valorisation agricole de cette réserve a fait l'objet de nombreux travaux de recherches de par le monde.

Une méthode analytique a été particulièrement utilisée à cet égard. Il s'agit de la méthode de fractionnement du P minéral du sol, mise au point en 1957 par CHANG et JACKSON. Elle utilise une série de réactifs spécifiques qui, employés en séquence sur un même échantillon de sol, permettent une mise en solution échelonnée des divers groupes de phosphates qui y sont présents (**). Par application successive de chacun d'eux sur un même échantillon de terre, celui-ci se retrouve progressivement épuisé en P (2).

Il faut noter qu'au sein d'une même fraction, on retrouvera le P provenant de la mise en solution de toute une série de composés phosphatés à base d'un même élément. Par exemple, dans la fraction C, le P proviendra de divers composés phosphatés calciques tels que ceux cités ci-après :

- hydroxyapatite :
 $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, produit de solubilité = $2 \cdot 10^{-114}$
- fluorapatite :
 $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$, produit de solubilité = $4 \cdot 10^{-119}$
- brushite :
 $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, produit de solubilité = $2,77 \cdot 10^{-7}$
- whitlockite :
 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, produit de solubilité = $3 \cdot 10^{-33}$

(*) ± 4 T. de P minéral dans la couche arable d'un sol de culture de la région de Hesbaye, limitée à 20 cm de profondeur dont 50% sont liés à Fe, 40% sont liés à Ca et 10% sont liés à Al.

(**) Les principaux réactifs utilisés dans la méthode de CHANG et JACKSON (2)

NH_4Cl (N), isole le P soluble dans l'eau et le P facilement échangeable. Ce P constitue la fraction O.

NH_4F (0,5 N), solubilise le P des phosphates aluminiques et le P de la fraction O. La différence reflète le P-Al ou fraction A.

NaOH (0,1 N), libère le P des phosphates ferriques, le P-Al et le P de la fraction O. La différence constitue le P - Fe ou fraction B.

H_2SO_4 (0,5 N), met en solution le P des phosphates calciques + celui des autres fractions. La différence représente le P - Ca ou fraction C.

L'utilisation de cette méthode a permis de mettre en évidence l'existence de relations entre les variations quantitatives dans les sols des diverses formes minérales du P et les prélèvements de ce même élément opérés par diverses espèces végétales. Certaines de celles-ci ayant même manifesté une "réelle spécificité" dans leurs prélèvements, l'hypothèse de l'intervention de la plante elle-même a été émise par HANOTIAUX pour expliquer les utilisations préférentielles observées (1).

La vérification de cette hypothèse a fait l'objet de recherches depuis plusieurs années dans notre Service dont l'essentiel est renseigné dans le paragraphe suivant.

1.2. VERIFICATION DE L'HYPOTHESE DE L'INTERVENTION DIRECTE ET PREFERENTIELLE DE LA PLANTE SUR LES PHOSPHATES MINERAUX DES SOLS.

Une série d'expérimentations ont été réalisées en milieux contrôlés, mais non stériles, suivant la technique de l'aquiculture sur sable. Cette technique présentait l'avantage de pouvoir se passer de l'utilisation d'un sol, milieu éminemment complexe et dans lequel il n'est pas possible de contrôler tous les paramètres.

Le sable utilisé présentait des propriétés texturales aptes à créer un milieu favorable au niveau de l'économie en eau et en air et était d'autre part inerte au point de vue richesse chimique. Tous les éléments autres que P, réputés indispensables à la vie végétale, ont été fournis par une solution nutritive équilibrée. Le P quant à lui a été apporté sous forme de divers phosphates minéraux de synthèse et naturels à produits de solubilité très faibles et entièrement cristallisés.

Dans une première étape, la betterave, le maïs et la pomme de terre ont servi de plantes-tests vis-à-vis des phosphates de synthèse suivants : $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ (hydroxyapatite), $\text{AlPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ et FePO_4 (3, 4). Ces premiers essais ont été suivis par d'autres dans lesquels diverses variétés d'une espèce ont été utilisées comme matériel végétal d'expérimentation en présence notamment de phosphates apatitiques naturels (phosphate de Ciply, phosphate du Canada) (5).

Plus récemment de nouvelles expériences ont utilisé l'orge, le froment et la luzerne comme matériel de recherche (6).

Ces divers essais ont révélé une aptitude des systèmes racinaires de toutes les espèces et variétés végétales étudiées à prélever du P au départ des phosphates utilisés, quoique ceux-ci soient des produits entièrement cristallisés et ayant manifesté une solubilité chimique très faible dans les solutions de culture employées et ce en un laps de temps très court (+ 3 mois). De plus certaines d'entre-elles ont réalisé des prélèvements préférentiels marqués au départ d'une source de P plutôt que d'une autre. Tels sont les cas par exemple de la betterave et de la luzerne vis-à-vis des phosphates apatitiques et du froment et de l'orge vis-à-vis des phosphates ferrique et aluminique.

Cette propriété de prélever du P à des sources réputées non accessibles à court terme a été appelée "AGRESSIVITE", ce terme

étant compris comme étant l'aptitude que possède un organisme végétal de modifier chimiquement le sol de manière à créer un milieu favorable à son développement. Les qualificatifs de "GENERALE" et de "SPECIFIQUE" lui ont été adjoints pour caractériser ses deux aspects particuliers.

Tout récemment, il a été démontré que ces propriétés pouvaient être intensifiées, et probablement même optimisées, par des apports appropriés d'azote, mais que ce dernier élément ne les créait pas si elles n'existaient par au préalable (7).

Les résultats de ces divers essais nous ont conduit à admettre comme vraie l'hypothèse de travail émise.

1.3. MECANISMES PROBABLES DE LA PROPRIETE D'AGRESSIVITE.

Les conditions de NON STERILITE dans lesquelles se sont déroulées les expériences mentionnées en 1.2 ne permettent pas de discerner la part prise par la plante elle-même de celle prise par la microflore associée à son système racinaire, ni de pouvoir juger d'un effet synergique ou antagoniste entre ces deux facteurs.

D'un point de vue global, il semble que l'on ne puisse pas mettre en cause une acidification des milieux de culture. En effet, aucune différence significative à ce niveau n'a pu être mise en évidence entre les diverses espèces testées.

Des essais de mise en solution des phosphates expérimentés à l'aide de solutions mises en contact avec les systèmes racinaires pendant une période de + 3 mois n'ont pas révélé un effet solubilisant plus marqué que celui obtenu avec des solutions n'ayant pas subi ce contact. Cette observation exclut donc la présence dans ces solutions de substances enzymatiques ou autres secrétées par les systèmes racinaires concernés.

Cependant, il est apparu d'une façon bien tranchée, un développement plus important des systèmes racinaires dans des milieux carencés en P facilement assimilable. Cela laisse supposer l'existence d'une relation entre l'augmentation des surfaces réactionnelles de ces systèmes et la propriété d'agressivité. Le développement racinaire accru peut en effet impliquer, plus que probablement, une augmentation concomitante des phénomènes ayant pour siège ces surfaces, que ceux-ci soient de nature chimique ou physico-chimique, voire même biochimique par l'intermédiaire de la microflore rhizosphérique.

Des études récentes menées par le Service de Microbiologie de la Faculté de Gembloux (Dir. Pr. Ch. BONNIER) viennent de révéler que cette microflore n'est pas étrangère aux processus mis en évidence. Dans une première investigation certains aspects de son interférence ont déjà pu être précisés (8, 9).

Ainsi, il a été montré que + 30% de la population bactérienne totale oeuvrant au sein d'une rhizosphère de betterave étaient des bactéries capables de solubiliser les apatites, alors que ce pourcentage atteint des valeurs nettement inférieures (quelques %)

dans le cas des céréales.

Cette observation confirme donc, par une approche microbiologique, nos propres observations révélées, quant à elles, par une approche "chimico-physiologique".

1.4. CONSEQUENCES AGRONOMIQUES DE L'AGRESSIVITE.

L'agressivité permet, dès à présent, de ne plus limiter la contribution phosphatée d'un sol de culture à la nutrition minérale des plantes, aux seules formes de P réputées être accessibles à court terme (une saison culturale). Elle permet de l'étendre aux diverses formes minérales de cet élément présentes dans un milieu donné, avec les conséquences économiques que cette façon de faire est susceptible d'entraîner au niveau de la fumure de complément.

Elle permet aussi d'envisager l'adaptation de l'engrais phosphaté à l'espèce végétale à laquelle il est destiné. Ainsi, par exemple, on pourrait concevoir l'utilisation de certains phosphates minéraux naturels calciques ou aluminiques, peu coûteux, pour des cultures bien spécifiques (betterave ou céréales).

Enfin les révélations de l'approche microbiologique permettent d'envisager des conséquences à plus long terme qui seront fonction des développements des recherches à leur propos. On peut concevoir le développement des travaux de la manière suivante : isolement des bactéries spécifiques, mise au point des conditions de culture de celles-ci, adaptation de ces bactéries à d'autres plantes, injection des gènes responsables à d'autres espèces bactériennes mieux adaptées à certaines cultures par les techniques de l'ingénierie génétique, etc... Les résultats de ces recherches pourraient conduire à l'utilisation des réserves phosphatées minérales des sols par voie bactérienne. Elles trouveraient des terrains d'utilisation dans nos pays développés, certes, mais surtout dans les pays du tiers-monde où la valorisation de la fumure phosphatée est fortement handicapée par le pouvoir fixateur des sols de ces pays, riches en sesquioxides libres.

1.5. CONCLUSIONS.

Le fractionnement du P du sol en ces différentes composantes par les chimistes pédologues a permis le développement d'une nouvelle approche de la fumure phosphatée des cultures qui devrait probablement aboutir dans l'avenir à une meilleure valorisation de cette fumure sans pour autant altérer ni les aspects quantitatifs, ni les aspects qualitatifs des spéculations agricoles.

2. PRATIQUES AGRICOLES MODERNES ET CONTAMINATION DE NAPPES PHREATIQUES PROFONDES (10).

2.1. INTRODUCTION.

On sait que les pratiques agricoles modernes utilisent des engrais, des amendements et des produits phytosanitaires. Ceux-ci ont parfois été utilisés, en quantités pléthoriques suivant certains, mais leur influence favorable sur les aspects quantitatifs et qualitatifs des cultures n'est plus à démontrer.

Ces divers produits sont épanchés à la surface des terres agricoles ou incorporés aux premiers centimètres de celles-ci. Sous l'influence des eaux météoriques ils peuvent se dissoudre et percoler au niveau de l'horizon dans lequel se développent les activités radiculaires. Ils sont "en théorie", pour la plupart, prélevés par les plantes cultivées et la part non prélevée est réputée être biodégradée.

Mais, il existe des distorsions entre, d'une part les apports et, d'autre part les exportations. Ces distorsions se soldent souvent par des excédents. Au vu de cette situation, la question se pose de savoir si ces excédents non consommés par les cultures, sont susceptibles d'entraîner, à court ou à long terme, une pollution soit du sol au niveau des horizons où ils ont été appliqués, soit du sous-sol où les eaux météoriques sont susceptibles de les entraîner, soit enfin au niveau des nappes d'eau souterraines.

C'est cette éventualité que nous avons étudiée dans un cas bien particulier, celui de la nappe phréatique contenue dans les craies du Campanien-Maastrichtien de la région Liégeoise qui servent de RESERVOIR D'EAU POTABLE aux habitants de la ville de Liège, réservoir géré par le Service des Eaux de cette ville.

L'étude a pris en compte tous les produits utilisés par les agriculteurs dans le périmètre concerné, en examinant à la fois, d'une part les éléments constitutifs de ceux-ci, qu'ils aient ou non une valeur commerciale reconnue et, d'autre part, les produits de leurs dégradations, appelés aussi métabolites.

Dans cet exposé, nous nous limiterons à donner quelques exemples de comportements d'éléments ou de substances apportés par les produits utilisés en agriculture, comportements dont l'étude sera faite à la lumière de la connaissance des paramètres édaphiques du milieu dont il est question ici.

2.2. LES PARAMETRES EDAPHIQUES ET LE COMPORTEMENT D'ELEMENTS OU DE SUBSTANCES APPORTES PAR LES PRODUITS UTILISES EN AGRICULTURE.

2.2.1. Localisation et caractérisation du bassin hydrogéologique de Liège.

Ce bassin est limité :

- au nord, par le Geer;
- au sud et à l'est, par la crête de partage des bassins du Geer et de la Meuse;
- à l'ouest, par la crête de partage des bassins du Geer et de la Mehaigne.

Il a une superficie de 350 km² et constitue une région à vocation essentiellement agricole dans laquelle les grandes cultures dominent. Il se situe dans la partie septentrionale de la Hesbaye qui, compte tenu du drainage favorable des eaux pluviométriques qu'on y observe, a été appelée Hesbaye sèche (type cartographique Aba).

MONJOIE a d'ailleurs proposé l'équation suivante pour rendre compte du bilan de l'eau dans ce bassin :

P = ET + Q GEER + Q captages + Accumul.+ Pertes (*)
100% 71% 16% 9% 2% 2%

Il apparaît ainsi que 30% environ de l'eau pluviométrique s'infiltré efficacement dans le sol. Cette eau peut servir de "transporteur" pour les divers constituants des divers produits utilisés en agriculture et permettre à ceux-ci de se déverser dans l'eau de la nappe. Pour ce faire, néanmoins, il faut qu'elle traverse l'épaisseur de diverses assises géologiques dont certaines propriétés peuvent intervenir comme agent temporisateur à cette migration potentielle.

Ces assises géologiques sont les suivantes :

- un limon éolien d'une puissance de 5 à 15 m;
- un conglomérat résiduel à silex d'une puissance de 5 à 18 m.

L'eau ayant traversé ces assises arrive alors au niveau d'une assise de craie (Campanien - Maastrichtien), d'une puissance de 30 à 50 m, qui repose elle-même sur des horizons imperméables d'argiles et de marnes argileuses, connus sous le nom de smectite de Herve. Ces horizons font la transition avec la roche primaire sous-jacente.

Compte tenu de la puissance des deux assises qui surmontent celle de la craie et de leurs perméabilités, on estime que le délai entre une chute de pluie et l'alimentation effective de la nappe par l'eau d'infiltration peut varier de 6 mois (au minimum) à 18 mois (au maximum).

Ainsi toute substance épanchée en surface est susceptible théoriquement d'atteindre l'eau de la nappe six mois au minimum après son application en absence de tout phénomène régulateur.

La couche limoneuse toutefois, de par certains de ses constituants, ne peut être considérée comme un milieu inerte quant à ses réactions vis-à-vis de ces apports exogènes. Entre autres constituants intéressants à considérer dans le problème dont il est question ici, on peut citer : le calcaire, l'argile et la matière organique.

2.2.2. INTERFERENCE DU CALCAIRE, DE L'ARGILE ET DE LA MATIERE ORGANIQUE DES ASSISES LIMONEUSES SUR LE DEVENIR DE QUELQUES CONSTITUANTS DES PRODUITS UTILISES EN AGRICULTURE.

2.2.2.1. Le calcaire (CaCO₃)

Des études réalisées à l'Université de Liège par TIJGAT-DECLERCQ ont mis en évidence la présence de CaCO₃ dans ces dépôts limoneux, soit localisé dans des horizons d'accumulation, soit uniformément réparti. Les teneurs observées peuvent atteindre 10%.

La présence de CaCO₃ implique l'existence dans ces dépôts de pH alcalins et une certaine richesse en ions Ca⁺⁺.

- les pH alcalins.

Ceux-ci contribuent à la réduction de la mobilité de certains ions par leur précipitation sous forme d'hydroxydes. C'est le cas par exemple pour l'aluminium. En effet, à des pH inférieurs à 4, cet élément existe sous la forme ionique Al⁺⁺⁺. Sous cet état il est mobile et de plus toxique pour les végétaux. A des pH supérieurs à 8, il se précipite sous forme d'hydroxyde (Al(OH)₃). Il est rendu ainsi immobile et aussi inactif.

Ce qui est vrai pour Al, vaut aussi pour toute une série d'autres éléments tels que Fe, Cu, Zn et d'autres métaux lourds qui peuvent être apportés, à titre d'impuretés, par les produits agricoles. Les limites de pH qui conditionnent l'existence sous une forme donnée peuvent cependant être différentes en fonction de l'élément pris en considération et certains d'entre eux peuvent même rester mobiles à des pH supérieurs à 8. C'est le cas du vanadium (V) par exemple.

- les ions Ca⁺⁺

Ces ions sont reconnus pour leurs qualités flocculantes et ce, à un point tel, qu'ils constituent l'élément actif essentiel des amendements calcaires. Ces qualités sont liées à leur charge électrique et à leur faible hydratation.

Ce pouvoir flocculant est aussi susceptible d'intervenir pour assurer la flocculation de molécules organiques exogènes comme celles des matières actives ou des métabolites des produits phytosanitaires.

Ces molécules seront ainsi rendues inactives et immobilisées, rendant toute migration peu probable.

Ils peuvent aussi contribuer à la précipitation du phosphore apporté par les engrais sous forme de phosphates calciques et empêcher ainsi cet élément d'être lessivé.

Le milieu alcalin, à lui seul, contribuera donc à minimiser la migration d'une gamme diversifiée de substances allant de l'ion métallique à la molécule organique.

2.2.2.2. L'argile.

La présence d'argiles a été mise en évidence sur toute l'étendue du dépôt limoneux avec une teneur moyenne de l'ordre de 20%. La nature minéralogique de celles-ci a été précisée par THOREZ et al. Elles appartiennent soit au groupe des illites (ouvertes et fermées), soit à celui des montmorillonites. Les kaolinites et les interstratifiées y sont peu représentées.

Les argiles sont en fait des cristaux ioniques doués d'une charge électrique négative et dès lors de propriétés sorptives vis-à-vis d'éléments chargés positivement, comme les cations.

Ces propriétés de sorption se matérialisent par la notion de "capacité de sorption" qui s'exprime en méq d'élément adsorbé par 100 g. d'argile. Les valeurs prises par ce critère de mesure varient

(*) P = pluviosité moyenne annuelle.
ET = évapotranspiration moyenne annuelle.
Q = débit \bar{m} pour le GEER et total pour les captages.

en fonction du type d'argile (*) mais dans le cadre du problème de la sauvegarde de la qualité des eaux de nappes phréatiques, cette capacité de sorption joue un rôle de "frein" à la migration des cations et ce, d'autant plus que certains types d'argile présentent vis-à-vis de certains ions des sorptions préférentielles. C'est ainsi que, par exemple, les dimensions des ions K^+ et NH_4^+ sont telles que ces ions, et eux seuls, ont la possibilité de se loger dans les vides cuboctaédriques des argiles de type illitique. Ce processus donne lieu à une fixation importante qui peut cependant être réversible en fonction des conditions d'hydratation du milieu.

Sorptions non spécifique et spécifique peuvent donc réaliser un obstacle à la migration des cations qu'ils soient majeurs ou mineurs.

2.2.2.3. La matière organique.

Il a été montré que ces dépôts limoneux contiennent de la matière organique répartie d'une façon plus ou moins homogène sur toute leur hauteur mais en quantité relativement faible, de l'ordre de 0,1 à 0,4 % dans les horizons sous-jacents à l'horizon de labour.

Cette matière organique joue dans les sols agricoles un rôle important au niveau de l'élaboration et du maintien de la structure.

Elle se présente sous forme de particules porteuses de charges électriques négatives et jouissent donc de propriétés de sorption. De plus, certaines de ces particules sont douées de propriétés chélatantes, c'est-à-dire qu'elles peuvent "emprisonner" des ions (éventuellement toxiques) et former des composés appelés "chélates". Ces ions sont ainsi rendus inactifs jusqu'à la destruction du composé organique qui les contient par minéralisation.

Elle sert enfin aussi de substance énergétique à la biomasse du sol.

A cet égard son rôle est intéressant à considérer au niveau de la dénitrification des nitrates, assurée par des bactéries dénitrifiantes.

Il faut savoir que l'azote apporté par les engrais peut s'y présenter sous trois formes, la forme nitrique (NO_3^-), la forme ammoniacale (NH_4^+) et enfin la forme organique (uréique).

Compte tenu des divers processus "vivants" ayant leur siège dans le sol, les deux dernières formes citées évolueront, à plus ou moins long terme, vers la forme nitrique (la forme uréique assurera cette transformation par l'intermédiaire des bactéries ammonifiantes et nitrifiantes, la forme ammoniacale par l'intermédiaire de bactéries nitrifiantes).

Les diverses formes de N épandues donneront donc lieu, in fine, à l'apparition dans le sol de nitrates, c'est à dire, une forme anionique de N.

Il faut savoir que le sol lui-même peut être considéré, d'une façon globale, comme un anion puisque la majeure partie des particules colloïdales qui y sont présentes sont chargées négativement. Il apparaît ainsi que cette forme de l'azote, subissant essentiellement des forces de répulsion, sera peu retenue dans les milieux édaphiques qu'elle traverse. D'autre part, cet anion peut être amené à se combiner avec des cations présents dans ce milieu, comme le calcium par exemple, et former des sels solubles. Sous ces formes, ionique et sel soluble, on peut s'attendre à ce que l'azote migre vers les horizons profonds.

La présence de matière organique, support énergétique d'une microflore microbienne spécifique, peut néanmoins contribuer à la dénitrification de ces nitrates en migration et à l'élimination de l'azote en excès, soit sous forme gazeuse soit par réorganisation dans la matière vivante. Ces processus biologiques minimisent donc l'éventualité de voir apparaître les nitrates dans les eaux phréatiques profondes pour autant que cette matière organique ne soit pas complètement absente en certains niveaux, ce qui contribuerait à rendre nuls ces processus régulateurs et à permettre, soit l'arrivée des nitrates dans la nappe, soit une accumulation éventuelle de ceux-ci dans certains horizons, ce qui a été suspecté par certains auteurs.

Dans le cas qui nous occupe ici, et au vu de résultats analytiques antérieurs relatifs à la teneur en nitrates de l'eau de la nappe qui s'est révélée être croissante au cours du temps (19,15 ppm N - NO_3^- en 1959 et 36,86 ppm N - NO_3^- en 1976), des contrôles du cheminement de cette forme de N dans le sous-sol de la Hesbaye ont été jugés nécessaires. Ces contrôles ont permis d'observer que, dans le cas d'un endroit choisi comme représentatif de la région étudiée et ce jusqu'à 5 m de profondeur :

- la teneur en cette forme de N diminue progressivement avec la profondeur;
- aucun horizon d'accumulation ne se manifeste.

Il faut prendre acte toutefois que la teneur de l'eau de la nappe a presque doublé en une période de 17 années, ce qui semble impliquer que les phénomènes régulateurs n'ont pas toujours pu compenser les excédents. Il faut aussi noter que l'enrichissement en azote de la nappe phréatique peut provenir d'autres sources, telles que les bassins d'orage, par exemple.

Quoiqu'il en soit, les teneurs observées sont encore inférieures à la limite de potabilité admise par l'Organisation Mondiale de la Santé. Celle-ci est de l'ordre de 45 à 100 ppm. Il faut penser que le geste agronomique relativement récent, de la fumure fractionnée de l'azote (Méthode LALOUX) contribuera à annuler ce risque dans l'avenir, les nitrates en excès étant, dans cette optique, dénitrifiés en surface, la richesse en matière organique y étant plus importante qu'en profondeur.

(*) Quelques capacités de sorption en méq./100 g d'argile.

- Kaolinite	3 à 15
- Illite	30
- Montmorillonite	60 à 150

2.2.3. CONCLUSIONS.

La connaissance de certains paramètres édaphiques et celle de la dynamique dans les sols des éléments et substances exogènes apportés par les produits modernes utilisés en agriculture permettent d'éclairer,

du moins partiellement, les problèmes liés à la sauvegarde de la qualité de notre environnement qui subit les "contraintes" de notre agriculture moderne, industrialisée.

BIBLIOGRAPHIE.

1. HANOTIAUX, G. (1966) - L'étude de la dynamique du phosphore du sol par la méthode du fractionnement. *Offprinted from Trans. Comm. II and IV. Int. Soc. Soil Sci., Aberdeen.*
2. HANOTIAUX, G. et HECK, J. P. (1973) - Agressivité des espèces végétales vis-à-vis des formes du phosphore du sol. I. Définition du problème. *Pédologie, XXIII, 1, pp. 27-38.*
3. HECK, J. P. et HANOTIAUX, G. (1974) - Agressivité spécifique des espèces végétales vis-à-vis des formes du phosphore du sol. II. L'agressivité spécifique et les phosphates synthétiques. *Pédologie XXIV, 1, pp. 17-29.*
4. HECK, J. P. et HANOTIAUX, G. (1975) - Le phosphore du sol et son utilisation spécifique par les plantes. *Transactions of the 10 th. International Congress of Soil Science, Moscou, Vol. XII, pp. 161-167.*
5. HECK, J. P. et HANOTIAUX, G. (1976) - Le phosphore minéral du sol et son utilisation spécifique par quelques plantes de grande culture. *Comptes-rendus du 4e Colloque International sur le Contrôle de l'Alimentation des plantes cultivées. Gent, Vol. I, pp. 510-518.*
6. HECK, J. P. & HANOTIAUX, G. (1978) - Agressivité spécifique des plantes cultivées vis-à-vis des formes minérales du P dans le sol. *Abstracts for Commissions Papers. Vol. 1, 11 th. Congress International Society of Soil Science. Edmonton - Canada.*
7. HECK, J. P. & HANOTIAUX, G. (1981) - Effet de l'azote sur la nutrition phosphatée des plantes de grande culture. *Comptes-rendus du Colloque HUMUS-AZOTE, Reims - A.I.S.S., A.F.E.S., I.N.R.A., pp. 197-204.*
8. RAPPORT D'ACTIVITE du Comité pour l'étude de la Fertilité Biologique du Sol (I.R.S.I.A.) (Dir. Pr. Dr. Ch. BONNIER). *Publication du Centre d'Etude des Légumineuses, n°15, 1981, Fac. Sc. Agr. de l'Etat à Gembloux, Belgique.*
9. SAIVE, R. et HECK, J. P. - Microflore rhizosphérique et prélèvement du P du sol par les plantes (sous presse).
10. HECK, J. P. (févr. 1977) - La pollution des nappes aquifères. Enquête relative à la pollution éventuelle de la nappe aquifère contenue dans les craies du Plateau de la Hesbaye par les pratiques agricoles et les eaux de ruissellement des autoroutes. *Publication du Service de la Science du Sol (Dir. Pr. G. HANOTIAUX). Faculté des Sc. Agron. de l'Etat, Gembloux.*

Communication présentée au cours de la Séance du 10 mars 1982.

Publications

Publikaties

Bulletins :

Bulletins :

- par tome	1.000.- F .	- per volume	1.000.- F .
- par fascicule	250.- F .	- per deel	250.- F .

Série complète à partir du Tome LXII (1953)
jusqu'au tome 90 (1981) soit 29 tomes, plus
Tables LI (1942) à LXXI (1962)

Volledige reeks van Vol. LXII (1953) tot
Vol. 90 (1981) hetzij 29 Vol. met Tafel LI (1942)
tot LXXI (1962)

Mémoires in-4°	300.- F .	Verhandelingen in 4°	300.- F .
----------------	-----------	----------------------	-----------

1. BOMMER, Ch., 1903. Les causes d'erreur dans l'étude des empreintes végétales (31 p., 10 pl.). épuisé
2. PRINZ, W., 1908. Les cristallisations des grottes en Belgique. (90 p., 143 fig.). épuisé
3. SALEE, A., 1910. Contribution à l'étude des polypiers du Calcaire Carbonifère de la Belgique. Le genre *Carinia*. (62 p., 9 pl.).
4. STÜBEL, A., 1911. Sur la diversité génétique des montagnes éruptives. (70 p., 53 fig.).
5. ROBERT, M., 1931. épuisé (voir série suivante n° 2)

in-4°, 2e série : Nouveaux Mémoires

1. CAMERMAN, C., et ROLLAND, P., 1944. La pierre de Tournai. (125 p., 4 dépliants, 5 pl.).
2. ROBERT, M., 1949. Carte géologique du Katanga méridional, avec notice topographique de J. VAN DER STRAETEN et notice géologique de M. ROBERT. (32 p., 1 carte polychrome au 1/1.000.000e).
3. LEPERSONNE, J., et WERY, A., 1949. L'oeuvre africaine de Raymond De Dycker. (131 p., 1 dépliant).
4. STEVENS, Ch., 1952. Une carte géomorphologique de la Basse- et Moyenne-Belgique. (24 p., 8 fig., 1 carte polychrome).
5. DELCOURT, A., et SPRUMONT, G., 1955. Les spores et grains de pollen du Wealdien du Hainaut. (73 p., 4 pl., 14 fig.).

in-8°

1. DELECOURT, J., 1946. Géochimie des bassins clos, des océans et des gîtes salifères. Mers et lacs contemporains. (177 p., 3 fig.).
2. LOMBARD, A., 1951. Un profil à travers les Alpes, de Bâle à Chiasso. (50 p., 16 fig., 2 dépliants). épuisé
3. ROBERT, M., 1951. Les cadres de la géologie du Katanga. (45 p., 1 fig., 1 dépliant).
4. CAHEN, L. et LEPERSONNE, J., 1952. Equivalence entre le système du Kalahari du Congo belge et les Kalahari Beds d'Afrique australe. (64 p., 8 fig.). épuisé
5. MARLIÈRE, R., 1958. Ostracodes du Montien de Mons et résultats de leur étude (53 p., 6 pl., 3 fig.).
6. SYMPOSIUM SUR LA STRATIGRAPHIE DU NEOGENE NORDIQUE, Gand, 1961. (248 p., 13 pl.) 500.- F .
7. BORDET, P., MARINELLI, G., MITTEMERGER, M. et TAZIEFF, H., 1963. Contribution à l'étude volcanologique du Katmaï et de la Vallée des Dix Mille Fumées (Alaska). (114 p., 22 pl.). 500.- F .
8. van BEMMELN, R.W., 1964. Phénomènes géodynamiques. I. A l'échelle du Globe (géonomie). II. A l'échelle de l'écorce terrestre (géotectonique). III. A l'échelle de l'orogénèse alpine (tectonique). (127 p., 38 fig.). 500.- F .
9. MAMET, B., MIKHAILOFF, N. et MORTELMANS, G., 1970. La stratigraphie du Tournaisien et du Viséen inférieur de Landelies. Comparaison avec les coupes du Tournaisien et du Bord Nord du Synclinal de Namur. (81 p., 6 fig.). 300.- F .

Publications hors-série : patronnées par la Société

Buitengewone Publikaties : gepatroneerd door de Ver.

- LANCASTER, A., 1888. La pluie en Belgique - Premier fascicule (seul paru). 224 p. et une carte au 1/400.000 de la répartition annuelle des pluies 300.- F .
- LA GEOLOGIE DES TERRAINS RECENTS DANS L'OUEST DE L'EUROPE. 1947 (Session extraordinaire des Sociétés belges de Géologie, en septembre 1946). 495 p., 97 fig., 12 pl., 2 tabl. 800.- F .
- BOUCKAERT, J., 1961. Les Goniatites du Carbonifère belge (Documents pour l'Etude de la Paléontologie du Terrain Houiller). 10 p., 29 pl. 300.- F .
- BEUGNIES, A., 1968. Livret guide des excursions dans le Massif Cambrien de Rocroi, de Fépin à Bogny suivant la vallée de la Meuse. 38 p., 1 pl. 50.- F .
- MARLIÈRE, R., 1969. Introduction à quelques excursions géologiques dans Bassin de Mons. 10 p., 1 pl. 50.- F .

Tables générales des matières :

Inhoudstafels :

Tome I (1887) à XX (1906)	300.- F .	Volume I (1887) tot XX (1906)	300.- F .
Tome XXI (1907) à L (1940-1941)	300.- F .	Volume XXI (1907) tot L (1940-1941)	300.- F .
Tome LI (1942) à LXXI (1962)	500.- F .	Volume LI (1942) tot LXXI (1962)	500.- F .

Les commandes doivent être adressées au
Secrétariat. Le paiement anticipatif est
demandé et se fera par virement au

C.C.P. 000.0145219.10

de la Société belge de Géologie, Bruxelles.
Une remise de 25% est consentie aux
libraires et aux membres de la Société.

De bestellingen worden aan het Sekretariaat
gericht. Verplichtend voorafgaandelijk te
betalen door storting op

P.C.R. 000.0145219.10

van de Belgische Vereniging voor Geologie,
Brussel.
Boekhandels en Leden genieten van 25%
afslag.

GEOLOGIE

**Bulletin de la Société
belge de Géologie**

Périodique trimestriel

Tome 91 - Fascicule 2 - 1982

édité en août 1982

**Bulletin van de Belgische
Vereniging voor Geologie**

Driemaandelijks tijdschrift

Volume 91 - deel 2 - 1982

verschenen in augustus 1982

SOCIETE BELGE DE GEOLOGIE, a.s.b.l.
rue Jenner 13 1040 Bruxelles.

BELGISCHE VERENIGING VOOR GEOLOGIE, v. z. w.
Jennerstraat 13 1040 Brussel.

CONSEIL D'ADMINISTRATION

1 9 8 2

RAAD VAN BEHEER

Président Guy SERET (1982-1983) Voorzitter

Vice-Présidents Ondervoorzitters

DELMER, A. (1981-1982) LADURON, D. (1982-1983)

TONNARD, V. (1982) d'URSEL, A. (1982-1983)

Secrétaire général Secretaris-Generaal

Eric GROESSENS (1979-1982)

Comité de Rédaction du Redactie Comité van
Miscellanea Geologica Miscellanea Geologica

LAVREAU, J. - STREEL, M. - VANDENBERGHE, H.

Secrétaires généraux honoraires Ere Secretarissen-Generaal

DELMER, A. (1956-1969)

PAEPE, R. (1970-1974)

LEGRAND, R. (1975-1978)

Trésorier Schatbewaarder

Henri LADMIRANT (1981-1984)

Membres du Conseil Leden van de Raad

BOISSONNAS, J. (1981-1982) BONÉ, Ed. (1982-1983)

COEN-AUBERT, M. (1981-1982) BRUMAGNE, D. (1982-1983)

DE PAEPE, P. (1981-1982) LAGA, P. (1982-1983)

PAEPE, R. (1981-1982) BEUGNIES, A. (1982-1983)

ROBASZYNSKI, F. (1981-1982) LOY, W. (1982-1983)

OVERLAU, P. (1982) BULTYNCK, P. (1982-1983)

Commission de Commissie voor
Vérification des Comptes Nazicht der Rekeningen

ANCIAUX, P. (1981-1982)

DRICOT, E. (1981-1982)

DUCARME, B. (1981-1982)

Commission des Publications Publicatiecommissie

BEUGNIES, A. CONIL, R. de BETHUNE, P. de MAGNEE, I.

Bibliothécaire Eric GROESSENS Bibliothecaris

BULLETIN DE LA
SOCIETE BELGE DE GEOLOGIE
TOME 91 - FASC. 2 - 1982

Publié sous le Haut Patronage
de S. M. le Roi

Publié avec l'aide financière
du Ministère de l'Education
nationale et de la Culture
française et du Ministerie
van Nationale Opvoeding en
Nederlandse Cultuur.

Publié avec le concours de la
Fondation Universitaire
de Belgique.

Editeur responsable
Eric GROESSENS

SECRETARIAT - Rue Jenner 13
B-1040 Bruxelles

BULLETIN VAN DE
BELGISCHE VERENIGING VOOR GEOLOGIE
VOLUME 91 - DEEL 2 - 1982

Publicatie onder de Hoge Bescherming
van Z. M. de Koning

Gepubliceerd met de financiële hulp
van het Ministerie van Nationale
Opvoeding en Nederlandse Cultuur
en het
Ministère de l'Education nationale
et de la Culture française.

Gesubsidieerd door de
Belgische Universitaire Stichting.

Verantwoordelijke Uitgever
Eric GROESSENS

SECRETARIAAT - Jennerstraat 13
B-1040 Brussel

TABLE DES AUTEURS - INHOUD

FASCICULE 2

DEEL 2

Pages / Blz.

DEJONGHE, L., GUILHAUMOU, N., et TOURAY, J. C. - Les inclusions fluides de la barite du gisement sédimentaire de Chaudfontaine (Province de Liège, Belgique)	79
TOURNEUR, F. - Conodontes des trois "récifs de marbre rouge F2J". Stratigraphie et écologie	91
JACOBS, L., SWENNEN, R., VAN ORSMAEL, J., NOTEBAERT, L. and VIAENE, W. - Occurrences of pseudomorphs after evapo- ritic minerals in the Dinantian carbonate rocks of the eastern part of Belgium	105

N. V. SMET D. B.

VERKENNINGSBORINGEN

WATERWINNINGSPUTTEN

POMPENINBOUW

WATERBEHANDELING

AFVALWATERSTATIONS

BETONBORINGEN

Stenehei 30

2480 DESSEL

Tel. 014/37 76 56

Telex 33189