

PEDOLOGIE

Edité avec le concours de la Fondation Universitaire
et du Ministère de l'Instruction Publique
Uitgegeven met de steun van de Universitaire Stichting
en van het Ministerie van Openbaar Onderwijs

Bulletin de la
Société Belge de Pédologie

≈

Bulletin van de
Belgische Bodemkundige Vereniging

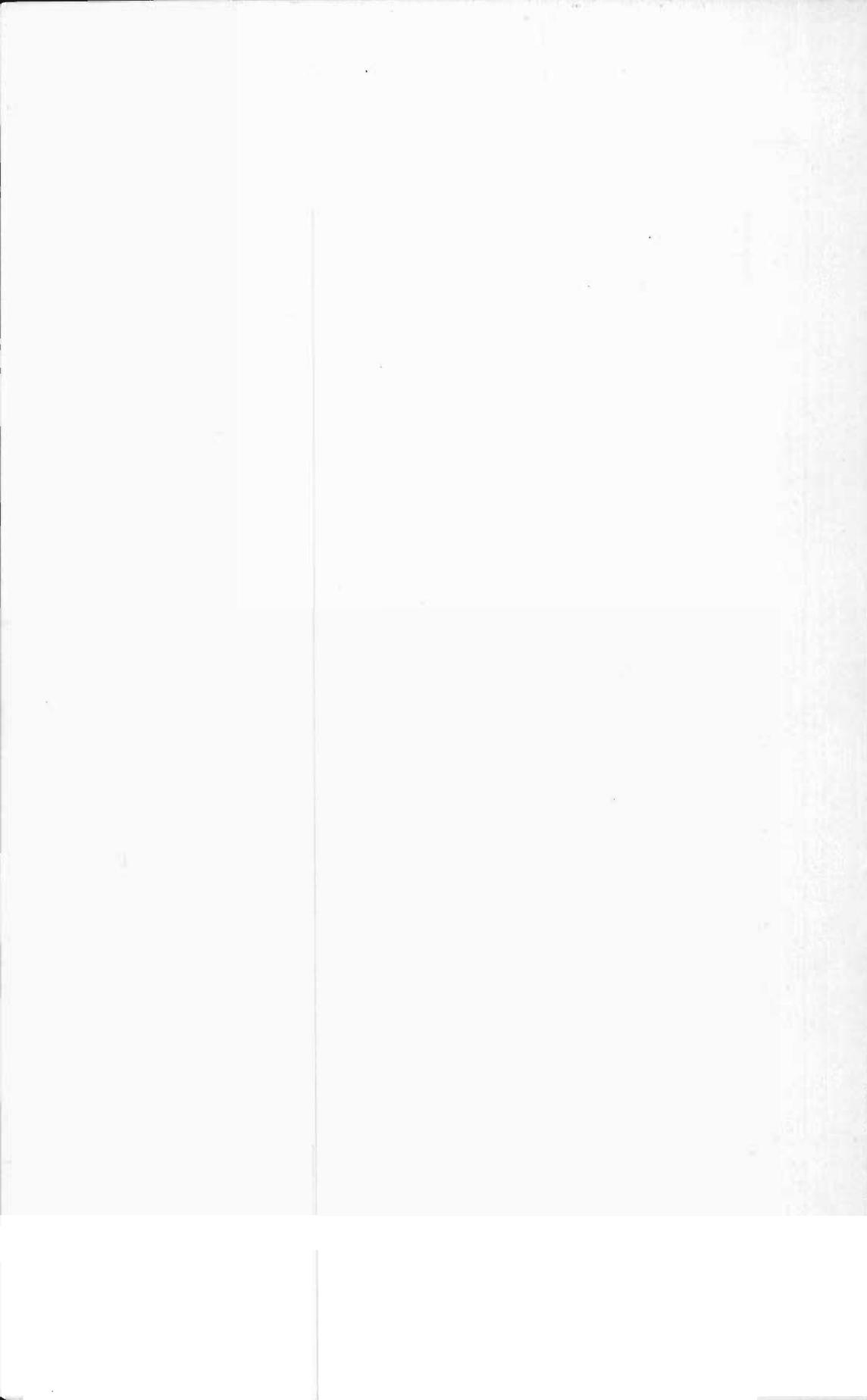
1 9 5 8

VIII

Comité de rédaction

Redaktiekomitee

J. AMERYCKX, L. DE LEENHEER, C. DONIS, J. FRIPIAT,
H. LAUDELOUT, G. MANIL, A. NOIRFALISE, G. SCHEYS,
D. STENUIT, R. TAVERNIER, A. VAN DEN HENDE



SOCIÉTÉ BELGE DE PÉDOLOGIE
BELGISCHE BODEMKUNDIGE VERENIGING

FONDEE A BRUXELLES LE 18 JUILLET 1950

OPGERICHT TE BRUSSEL OP 18 JULI 1950

Composition du bureau pour 1958
Samenstelling van het bestuur voor 1958

Président d'honneur	J. BAEYENS	Ere-voorzitter
Président	G. MANIL	Voorzitter
Vice-présidents	G. SCHEYS	Ondervoorzitters
	A. VAN DEN HENDE	
Secrétaire général	R. TAVERNIER	Sekretaris-generaal
Secrétaire trésorier	J. FRIPIAT	Sekretaris-schatbewaarder
Membres		Leden
	L. DE LEENHEER, J. DE ROUBAIX, F. JURION,	
	H. LAUDELOUT, A. NOIRFALISE, D. STENUIT,	
	V. VAN STRAELEN, G. WAEGEMANS	

ASSEMBLEE GENERALE

tenue le 30 janvier 1958

dans les locaux de la Fondation Universitaire à Bruxelles

La séance est ouverte à 16 h sous la présidence de Monsieur L. DE LEENHEER, président de la Société.

RAPPORT DU PRESIDENT AU NOM DU CONSEIL D'ADMINISTRATION

Conformément aux statuts, j'ai l'honneur de vous présenter le rapport annuel du conseil d'administration sur les activités de notre Société durant l'exercice 1957, ainsi que les propositions pour 1958.

I. ACTIVITES PENDANT 1957

1. Réunions

L'assemblée générale statutaire eut lieu le 31 janvier 1957; en outre nous avons tenu cinq séances ordinaires, au cours desquelles 41 communications furent présentées.

Les séances ordinaires du 31 janvier, 7 mars et 22 mai 1957 ont été consacrées essentiellement à la présentation de 35 communications par MM. J. AMERYCKX, P. AVRIL, R. BOON, P. BOURGUIGNON, A. COTTENIE, G. COULIER, G. COUVREUR, J. CROEGAERT, J. CULOT, J. DECKERS, M. DECLEIRE, F. DELECOUR, F. DE CONINCK, I. DENISOFF, R. D'HOLLANDER, P. DONDEYNE, E. EKKA, J. FRIPIAT, M^{elle} M. C. GASTUCHE, MM. H. HALLET, G. HANOTIAUX, P. JONGEN, H. LAUDELOUT, M. MALDAGUE, G. MANIL, R. MARÉCHAL, J. MAYAUDON, J. MEYER, A. MOLLE, P. PAHAUT, A. PÉCROT, R. PHILIPPOT, R. PIOT, R. POFFÉ, G. SCHEYS, P. SIMONART, D. STENUIT, C. SYS, R. TAVERNIER, G. T'JONCK, J. UYTTERHOEVEN, G. VAN COMPERNOLLE, A. VAN DEN HENDE, G. VAN HOECK et L. VIELVOYE. Ces communications avaient déjà été présentées au Sixième Congrès International de la Science du Sol à Paris en août 1956. Comme les organisateurs du Congrès ne pouvaient assurer la publication de ces notes, qui leur étaient parvenues tardivement, le bureau décida de les publier dans le bulletin de la Société après présentation à notre tribune.

Du 3 au 5 juin 1957 s'est tenu à Héverlé-Louvain un *Symposium sur les méthodes d'étude microbiologique du sol* organisé sous les auspices de notre Société par notre confrère M. le Professeur P. SIMONART.

Au cours de la quatrième séance ordinaire, tenue le 30 octobre 1957, M. A. VAN WAMBEKE fit un exposé : *Contribution à l'étude*

ALGEMENE VERGADERING

gehouden op 30 januari 1958

in de lokalen van de Universitaire Stichting te Brussel

De vergadering wordt geopend te 16 h onder voorzitterschap van de Heer L. DE LEENHEER, voorzitter van de Vereniging.

VERSLAG VAN DE VOORZITTER IN NAAM VAN DE BEHEERRAAD

Overeenkomstig de statuten heb ik de eer het jaarverslag van de beheerraad betreffende de werkzaamheden van onze Vereniging gedurende het dienstjaar 1957 uit te brengen, evenals de voorstellen voor 1958.

I. AKTIVITEITEN GEDURENDE 1957

1. Vergaderingen

De algemene statutaire vergadering had plaats op 31 januari 1957; daarenboven werden vijf gewone vergaderingen gehouden, tijdens dewelke 41 mededelingen werden gedaan.

De gewone zittingen van 31 januari, 7 maart en 22 mei 1957 werden hoofdzakelijk gewijd aan de presentatie van 35 mededelingen door de HH. J. AMERYCKX, P. AVRIL, R. BOON, P. BOURGUIGNON, A. COTTENIE, G. COULIER, G. COUVREUR, J. CROEGAERT, J. CULOT, J. DECKERS, M. DECLÉIRE, F. DELECOUR, F. DE CONINCK, I. DENISOFF, R. D'HOLLANDER, P. DONDEYNE, E. EKKA, J. FRIPIAT, Mej. M. C. GASTUCHE, HH. H. HALLET, G. HANOTIAUX, P. JONGEN, H. LAUDELOUT, M. MALDAGUE, G. MANIL, R. MARÉCHAL, J. MAYAUDON, J. MEYER, A. MOLLE, P. PAHAUT, A. PÉCROT, R. PHILIPPOT, R. PIOT, R. POFFÉ, G. SCHEYS, P. SIMONART, D. STENUIT, C. SYS, R. TAVERNIER, G. T'JONCK, J. UYTTERHOEVEN, G. VAN COMPERNOLLE, A. VAN DEN HENDE, G. VAN HOECK en L. VIELVOYE. Deze mededelingen werden reeds voorgedragen tijdens het Zesde Internationaal Bodemkundig Kongres te Parijs in augustus 1956. Gezien de inrichters van het Kongres de publikatie van deze mededelingen, die te laat werden ingezonden, niet konden verzekeren, besloot het bestuur ze te publiceren in het bulletin van onze Vereniging, na presentatie tijdens de zittingen.

Van 3 tot 5 juni 1957 werd te Heverlee-Leuven een Symposium over de methoden van het microbiologisch bodemonderzoek gehouden, ingericht onder de auspiciën van de Vereniging door ons medelid Professor P. SIMONART.

Tijdens de vierde gewone zitting, op 30 oktober 1957, gaf de H. A. VAN WAMBEKE een uiteenzetting getiteld *Contribution à l'étude*

des sols de la Cuvette Centrale congolaise, et M. R. DUDAL nous donna un aperçu très suivi sur *La cartographie et la classification des sols en Indonésie*.

A la séance du 13 décembre 1957, M. D. KIRKHAM a occupé la tribune avec une communication intitulée *The use of radiocarbon for dating soil strata*. M. R. TAVERNIER nous parla de *Quelques sols des régions méditerranéennes*, tandis qu'une communication de MM. L. DE LEENHEER, J. VAN HOVE et M. VAN RUYMBEKE sur la *Détermination quantitative de la matière organique du sol* fut présentée par le président.

2. Publications

Conformément à une décision prise par le conseil, on a commencé avec la publication des comptes rendus des réunions tenues depuis la fondation de la Société. Pendant l'exercice écoulé les cinq premiers tomes ont pu être distribués. Le tome VI (1956) sortira de presse prochainement, tandis que l'impression du tome VII (1957) est en cours. En outre on prépare la publication d'un numéro spécial consacré aux rapports du Symposium sur les méthodes d'étude microbiologique du sol (3-5 juin 1957).

Au point de vue publications, l'année budgétaire écoulée a donc été marquée par une grande activité; le bureau désire tout particulièrement rendre hommage au secrétaire de rédaction, M. J. AMERYCKX, pour le travail accompli.

3. Situation

En 1957 nous avons eu le plaisir d'accueillir 24 nouveaux membres. La situation de la société au 31 décembre 1957 se présente donc comme suit : 120 membres ont payé leur cotisation; en outre plusieurs membres fidèles de la Société n'ont pas encore réglé leur cotisation, vraisemblablement par suite de séjour à l'étranger. Nous pouvons donc estimer que la Société compte virtuellement au delà de 130 membres.

4. Rapport du trésorier

Les recettes de la Société sont constituées par les cotisations des membres. En outre, nous avons le plaisir de communiquer que la Fondation Universitaire nous a accordé un subside de 20 000 F pour l'impression du bulletin de 1957. La Raffinerie Tirlemontoise nous a également octroyé un subside de 10 000 F. Enfin, nous avons appris avec plaisir que le Ministère de l'Instruction Publique a également décidé de nous accorder un subside de 20 000 F.

A la fin de l'année 1957, l'avoir en caisse se monte à 44 227,60 F,

des sols de la Cuvette Centrale congolaise; de H. R. DUDAL gaf ons een boeiend overzicht over *La cartographie et la classification des sols en Indonésie*.

De H. D. KIRKHAM betrad de tribune tijdens de vergadering van 13 december 1957 met een mededeling getiteld *The use of radio-carbon for dating soil strata*, de H. R. TAVERNIER sprak over *Quelques sols des régions méditerranéennes*, terwijl een mededeling van de HH. L. DE LEENHEER, J. VAN HOVE en M. VAN RUYMBEKE over *Détermination quantitative de la matière organique du sol* werd voorgedragen door de voorzitter.

2. Publikaties

Ingevolge een beslissing van de beheerraad werd aangevangen met de publikatie van de verslagen van de zittingen, gehouden sedert de oprichting van de Vereniging. Tijdens het afgelopen dienstjaar werden de eerste vijf delen uitgereikt. Deel VI (1956) komt eerlang van de pers, terwijl deel VII (1957) in druk is. Daarenboven wordt de publikatie voorbereid van een speciaal nummer, gewijd aan de rapporten van het Symposium over de methoden van het mikrobiologisch bodemonderzoek (3-5 juni 1957).

Op gebied van publikaties werd 1957 dus gekenmerkt door een grote activiteit; het bestuur wenst in het bijzonder hulde te brengen aan de redaktiesekretaris, de H. J. AMERYCKX, voor het gepresteerd werk.

3. Stand

In 1957 hadden we het genoeg 24 nieuwe leden in te schrijven. De stand van de Vereniging op 31 december 1957 ziet er dus uit als volgt: 120 leden hebben hun bijdrage betaald; verschillende trouwe leden van de Vereniging hebben hun lidmaatschapbijdrage nog niet gestort, waarschijnlijk ten gevolge van hun verblijf in het buitenland. Het ledenaantal van de Vereniging kan aldus op ongeveer 130 leden geschat worden.

4. Verslag van de penningmeester

De ontvangsten van de Vereniging bestonden uit de ledenbijdrage. Daarenboven hebben we het genoeg mede te delen, dat de Universitaire Stichting ons een subsidie van 20 000 F heeft toegekend voor het drukken van het bulletin 1957. De Raffinerie Tirlémontoise heeft ons eveneens een subsidie van 10 000 F toegestaan. Ten slotte hebben we met genoeg vernomen dat het Ministerie van Openbaar Onderwijs besloten heeft ons een toelage van 20 000 F te verlenen.

Op het einde van 1957 was er 44 227,60 F in kas; de inkomsten

les recettes ayant atteint 36 525 F. Les dépenses effectuées se répartissent comme suit :

— club Fondation Universitaire	300 F
— cotisation S.I.S.S.	6 100 F
— secrétariat	95 F
— frais d'édition	57 330 F

Total : 63 825 F

5. Constitution du bureau et du comité de rédaction

D'après les statuts les mandats d'un vice-président et de quatre membres du conseil prenaient fin au premier janvier 1957.

Sur proposition du conseil, l'assemblée générale, tenue le 31 janvier 1957, élit M. G. SCHEYS, membre du conseil, comme vice-président en remplacement de M. J. DE ROUBAIX, vice-président sortant, qui fut désigné comme membre du conseil. Les autres membres du conseil sortants, notamment MM. F. JURION, D. STENUIT et J. VERDEYEN, furent réélus.

L'assemblée générale approuva également les propositions du bureau relatives à la constitution d'un comité de rédaction du bulletin. MM. J. AMERYCKX, L. DE LEENHEER, J. FRIPIAT, H. LAUDELOUT, G. MANIL, A. NOIRFALISE, G. SCHEYS, D. STENUIT, R. TAVERNIER et A. VAN DEN HENDE furent désignés comme membre; en outre M. J. AMERYCKX fut nommé secrétaire de rédaction.

II. PROPOSITIONS POUR 1958

1. Composition du bureau

Cette année nous devons élire le président, un vice-président et quatre membres du conseil d'administration.

Le bureau propose les nominations suivantes :

- M. G. MANIL, ancien vice-président, comme président,
- M. A. VAN DEN HENDE, membre au conseil, comme vice-président,
- MM. H. LAUDELOUT, A. NOIRFALISE, V. VAN STRAELEN et G. WAEGEMANS, comme membres du conseil,
- M. L. DE LEENHEER, président sortant, comme membre du conseil pour terminer le mandat de M. J. VERDEYEN, démissionnaire.

2. Programme pour l'année 1958

Outre la réunion ordinaire qui, comme d'habitude, aura lieu immédiatement après l'assemblée générale, on prévoit encore l'or-

bedroegen 36 525 F. Volgende uitgaven werden gedaan :

— club Universitaire Stichting	300 F
— bijdragen I.S.S.S.	6 100 F
— sekretariaat	95 F
— publikaties	57 330 F

totaal: 63 825 F

5. Samenstelling van het bestuur en van het redaktiekomitee

Volgens de statuten waren de mandaten van een ondervoorzitter en van vier leden van de beheerraad verlopen op 1 januari 1957.

Op voorstel van de beheerraad verkoos de algemene vergadering op 31 januari 1957 de H. G. SCHEYS, lid van de beheerraad, als ondervoorzitter in vervanging van de H. J. DE ROUBAIX, uit-tredend ondervoorzitter, die werd aangeduid als lid van de raad. De andere uittredende leden van de beheerraad, nl. de HH. F. JURION, D. STENUIT en J. VERDEYEN, werden herkozen.

De algemene vergadering nam eveneens de voorstellen van het bestuur aan betreffende de samenstelling van een redaktiekomitee van het bulletin. De HH. J. AMERYCKX, L. DE LEENHEER, J. FRIPIAT, H. LAUDELOUT, G. MANIL, A. NOIRFALISE, G. SCHEYS, D. STENUIT, R. TAVERNIER en A. VAN DEN HENDE werden aangeduid als lid; bovendien werd de H. J. AMERYCKX aangesteld als redaktie-sekretaris.

II. VOORSTELLEN VOOR 1958

1. Samenstelling van het bestuur

Dit jaar moeten we de voorzitter, een ondervoorzitter en vier leden van de beheerraad kiezen.

Het bestuur stelt de benoemingen voor van :

- de H. G. MANIL, oud ondervoorzitter, tot voorzitter,
- de H. A. VAN DEN HENDE, lid van de beheerraad, tot onder-voorzitter,
- de HH. H. LAUDELOUT, A. NOIRFALISE, V. VAN STRAELEN en G. WAEGEMANS tot leden van de beheerraad,
- de H. L. DE LEENHEER, uittredend voorzitter, tot lid van de beheerraad om het mandaat van de H. J. VERDEYEN, ontslag-gevend, te voleinden.

2. Programma voor 1957

Behalve de gewone vergadering, die zoals gewoonlijk dadelijk op de algemene vergadering zal volgen, voorziet men de organisa-

ganisation de cinq réunions et d'une excursion. La séance du mois de février se tiendra à Gand, où nous serons les hôtes de l'Institut Agronomique.

* * *

Les propositions sont acceptées à l'unanimité par l'assemblée générale.

Le président désire remercier tous les membres qui ont participé activement à la vie de la Société, et particulièrement ceux qui ont pris la parole à notre tribune. Il exprime l'espoir qu'un nombre toujours croissant de membres viendra joindre nos rangs.

Finalement Monsieur L. DE LEENHEER clôture l'assemblée générale et cède le fauteuil présidentiel à Monsieur G. MANIL, nouveau président.

tie van vijf zittingen en een exkursie. In februari zullen we vergaderen te Gent, waar we te gast zullen zijn in de Rijkslandbouwhogeschool.

* * *

De voorstellen van het bestuur worden eenparig door de algemene vergadering aangenomen.

De voorzitter dankt al de leden die actief hebben deelgenomen aan de werking van de Vereniging, en bijzonder deze die het woord voerden op de vergaderingen. Hij drukt de hoop uit dat een steeds toenemend aantal leden onze rangen zal komen vervoegen.

Hierop sluit de Heer L. DE LEENHEER de algemene vergadering en staat de voorzitterszetel af aan de nieuwe voorzitter, de Heer G. MANIL.

PREMIERE SEANCE ORDINAIRE

tenue le 30 janvier 1958

dans les locaux de la Fondation Universitaire à Bruxelles

La séance est ouverte à 16.30 h sous la présidence de Monsieur G. MANIL, président de la Société.

Présentation de nouveaux membres

Sur proposition de M. G. MANIL sont admis en qualité de membre effectif :

M^{elle} DE BIÈVRE, M., présentée par MM. A. VAN DEN HENDE et A. COTTENIE,

M. CLOOS, P., présenté par MM. H. LAUDELOUT et J. FRIPIAT,

M. MAYAUDON, J., présenté par MM. H. LAUDELOUT et J. FRIPIAT.

Communications

1. *L'acétylation de la kaolinite* par P. CLOOS et J. J. FRIPIAT.
2. *Pédologie : science de base du remembrement et de la bonification foncière* par H. HALLET.

Textes ci-après.

EERSTE GEWONE ZITTING

gehouden op 30 januari 1958

in de lokalen van de Universitaire Stichting te Brussel

De zitting wordt geopend te 16.30 h onder voorzitterschap van de Heer G. MANIL, voorzitter van de Vereniging.

Voorstelling van nieuwe leden

Op voorstel van de H. G. MANIL worden volgende personen als werkend lid aangenomen :

Mej. DE BIÈVRE, M., voorgesteld door de HH. A. VAN DEN HENDE en A. COTTENIE,

de H. CLOOS, P., voorgesteld door de HH. H. LAUDELOUT en J. FRIPIAT,

de H. MAYAUDON, J., voorgesteld door de HH. H. LAUDELOUT en J. FRIPIAT.

Mededelingen

1. *L'acétylation de la kaolinite* door P. CLOOS en J. J. FRIPIAT.
2. *Pédologie : science de base du remembrement et de la bonification foncière* door H. HALLET.

Teksten hieronder.

L'ACÉTYLATION DE LA KAOLINITE

par P. CLOOS et J. J. FRIPIAT

Laboratoire des colloïdes des sols tropicaux de l'INEAC

Institut Agronomique — Héverlé — Louvain

I. INTRODUCTION

Une des façons d'aborder l'étude de la nature et de l'activité d'une surface consiste dans la préparation et l'étude de dérivés organiques. Nous allons appliquer cette méthode à la kaolinite.

On sait que la surface des minéraux argileux est partiellement garnie de groupes hydroxyles : certains d'entre eux, très réactionnels, sont responsables des caractères physico-chimiques de l'argile. Logiquement on peut espérer synthétiser des dérivés organiques en faisant réagir sur l'argile un réactif typique des hydroxyles, tel p.ex. le chlorure d'acétyle. C'est la raison pour laquelle, dans les dernières années, des chercheurs ont fait des essais d'acétylation sur des montmorillonites. Les résultats des différents essais ont conduit leurs auteurs à des opinions très divergentes quant à la nature des produits obtenus. Deux thèses sont en présence.

A. Obtention de dérivés acétylés de la montmorillonite

Les tenants de cette thèse, GIESEKING [1, 2, 3], SPENCER [3], SLABAUGH [4] et DEUEL [5], affirment qu'il se produit une réaction chimique entre les hydroxyles de la surface du minéral et l'agent d'acétylation et qu'il en résulte l'établissement de liens covalents suivant le schéma :



Cette affirmation se fonde, d'une façon générale, sur le fait qu'après élimination de l'excès de réactif, le produit de réaction contient des groupes acétyles hydrolysables. En outre, certaines propriétés acquises par la montmorillonite acétylée, notamment son caractère hydrophobe, appuient l'hypothèse de la création d'un véritable dérivé organique.

La capacité d'échange de bases du produit acétylé est plus faible que la valeur de départ : elle est régénérée par hydrolyse.

Le taux de carbone, après hydrolyse, diminue aussi fortement. DEUEL [6, 7, 8, 9], qui a étudié toute une série de dérivés organiques des argiles, prouve que le dérivé acétylé de la montmorillonite

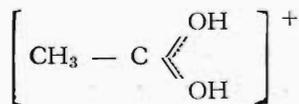
est peu stable et qu'il s'hydrolyse rapidement au simple contact de l'humidité atmosphérique [5].

B. Obtention de complexes d'adsorption de la montmorillonite

D'autres auteurs, notamment GLAESER [10], GREENLAND et RUSSEL [11], ont fait un examen critique de l'interaction d'un minéral argileux avec des agents d'estérification et concluent que les prétendus « dérivés organo-argileux » ne sont que des complexes d'adsorption.

M^{lle} GLAESER [10] a repris la réaction d'acétylation de Gieseking en opérant avec une montmorillonite — H à divers degrés d'hydratation. Les différentes analyses effectuées sur les produits obtenus l'ont amenée à conclure qu'elle avait obtenu des complexes d'adsorption très stables, identiques à ceux que donne l'acide acétique.

GREENLAND et RUSSEL [11] ont fait des essais d'acétylation parallèles au moyen de chlorure d'acétyle et d'acide acétique sur une montmorillonite pure, séchée et chauffée sous vide. Après désorption pendant 24 heures sous vide à des températures croissantes les produits obtenus ont été analysés quant à leur teneur en groupes acétyles, en carbone et en chlorure. L'examen des résultats montre que, même à 200°-300°C, une « désorption » complète ne peut être atteinte. La montmorillonite retient plus de groupes acétyles après traitement à l'acide acétique qu'après traitement au chlorure d'acétyle: fréquemment il y a plus de carbone que ne l'exigerait la quantité correspondante d'acétyle: le taux de fixation d'acétyle des échantillons traités au chlorure d'acétyle n'est pas égal à la teneur en chlorure, et il dépend du degré d'hydratation initial. Les auteurs cités pensent que le chlorure d'acétyle réagit avec l'eau adsorbée pour donner de l'acide acétique et de l'acide chlorhydrique. Le produit de réaction, l'acide acétique, ainsi qu'une certaine quantité de chlorure d'acétyle sont adsorbés. A leur avis rien ne permet d'affirmer qu'il y ait formation de liens covalents entre le minéral et le réactif d'acétylation. Pour expliquer la rétention énergique des composés organiques ils envisagent soit une association des molécules organiques polaires avec le cation échangeable, soit l'établissement de ponts d'hydrogène et éventuellement l'intervention d'un ion carbonium de la forme :



II. DISCUSSION DES METHODES D'ACETYLATION

Pour trancher l'alternative posée par l'existence des deux hypothèses évoquées, il nous a paru nécessaire de travailler sur une argile complètement débarrassée de l'eau adsorbée physiquement. D'autre part, il n'est pas moins important de s'assurer de l'évacuation complète de l'excès de réactif et des autres corps organiques produits, susceptibles de s'adsorber, avant d'analyser le produit de réaction.

A notre avis, les auteurs qui jusqu'à présent ont étudié le problème de l'acétylation des minéraux argileux ont négligé l'un ou l'autre de ces facteurs.

SPENCER et GIESEKING [3] lavent l'échantillon à l'alcool et à l'éther pour enlever l'eau, alors que l'alcool est également susceptible de réagir avec le chlorure d'acétyle.

SLABAUGH [4] se contente de sécher son échantillon pendant 2 heures à 105°C, ce qui est nettement insuffisant. GLAESER [10] part d'une montmorillonite hydratée, tandis que GREENLAND et RUSSEL [11] n'arrivent pas à déshydrater complètement leur argile en la chauffant à 100°-200°C sous vide. De même pour éliminer l'excès de réactif, SPENCER et GIESEKING [3] lavent le produit de réaction plusieurs fois à l'éther absolu tandis que SLABAUGH [4] le chauffe à 150°C après des lavages répétés à l'alcool éthylique à 80 %; suivant GLAESER [11] ces procédés n'assurent nullement une élimination complète.

Il faut encore souligner que la montmorillonite constitue un objet d'étude défavorable parce qu'il est très difficile, sinon impossible, d'éliminer la totalité de l'eau interlamellaire sans risquer de modifier la surface de l'argile. C'est la raison pour laquelle nous nous sommes proposé d'étudier l'acétylation de la kaolinite pour laquelle les difficultés évoquées sont plus facilement résolues.

L'espace interlamellaire est inaccessible aux réactifs et leur évacuation en est grandement facilitée.

III. TECHNIQUE DE TRAVAIL ET DISPOSITIF EXPERIMENTAL REALISE

A. Principe de la méthode et matériel de départ

L'échantillon de kaolinite est déshydraté par évacuation sous vide à une température de 140°C pendant 24 heures. FRIPIAT, GASTUCHE et UYTTERHOEVEN [12] ont montré qu'à 105°C, si la tension résiduelle de vapeur d'eau régnant sur l'échantillon est réduite à 10⁻⁸ mm de mercure, l'eau adsorbée physiquement et l'eau d'hydratation des cations saturant l'argile sont éliminées. Afin d'empêcher toute possibilité de réhumidification, l'échantillon reste

continuellement dans l'appareillage où règne le vide. L'acétylation se fait, à reflux, au moyen de chlorure d'acétyle amené au contact de l'argile par distillation sous vide. L'évacuation de l'excès de réactif a lieu dans les mêmes conditions que la déshydratation. La détermination du nombre de groupes acétyles fixés se fait par combustion, à 550°C, du produit dans la chambre d'acétylation même, à l'aide d'oxygène pur et parfaitement sec.

Sur l'échantillon calciné on répète les mêmes opérations afin d'étudier le comportement de la kaolinite déshydroxylée. Des essais parallèles, dans lesquels l'acide acétique remplace le chlorure d'acétyle, sont effectués sur des échantillons identiques.

On a utilisé deux kaolinites pures, différant uniquement par la taille des microcristaux et par conséquent par la surface et la capacité d'échange de bases (B.E.C.).

TABLEAU 1

<i>Données physico-chimiques</i>	<i>Kaolinite du sédiment busirien de Yangambi</i>	<i>Kaolinite du sédiment éolien de Yangambi</i>
Côté du pseudohexagone	1530 Å	730 Å
Surface spécifique (B.E.T.)	15,5 m ² /g	42,0 m ² /g
B.E.C. à pH 7 (NH ₄ ⁺)	5 méq/100g	9,5 méq/100g

La première n'a subi aucun prétraitement. La seconde a été débarrassée de son oxyde de fer libre par l'hydrosulfite. Les deux ont été saturées par une solution concentrée de KCl et soigneusement lavées.

B. Dispositif expérimental

La conception du dispositif expérimental est dominée par le souci d'y réaliser un vide poussé et de maintenir l'échantillon, une fois introduit, à l'abri de l'humidité atmosphérique.

L'appareil, schématisé à la figure 1, est relié par la canalisation X au dispositif réalisant le vide. Le récipient A, qui contient le réactif, peut être mis sous vide par l'ouverture des robinets R₁ et R₂.

La réaction a lieu dans la chambre E, dont les détails sont donnés à la figure 2. Cette chambre comprend deux parties: l'une fixe, E₁, l'autre amovible, E₂, rattachée à la première par un rodage r₂. La partie amovible porte la cellule de réaction c contenant l'échantillon. Sur la partie fixe est aménagée une tubulure latérale pourvue d'un rodage r₄ qui permet de placer la chambre dans le circuit de l'appareil de combustion. La chambre de réaction E peut être

Fig. 1.

Appareil d'acétylation.

- A : réservoir du réactif
- B : boule à mercure
- C : trappe de purification du réactif
- D : condenseur
- E : chambre de réaction
- F : réfrigérant à eau
- G : thermocouple
- H : rhéostat réglable
- I : interrupteur
- J : transformateur
- K : source de courant alternatif
- M : passage restreint
- R₁, R₂ ... R₁₀ : robinets
- T₁ : trappe à air liquide
- T₂ : trappe de mercure
- U₁, U₂ : manomètres à mercure
- V : galvanomètre
- X : canalisation allant au dispositif de pompage
- r₁, r₂ ... r₄ : rodages

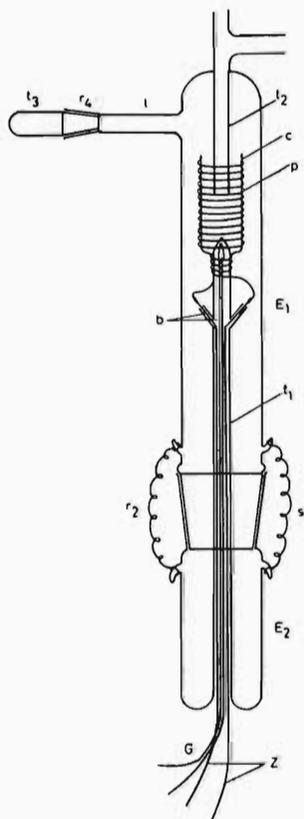
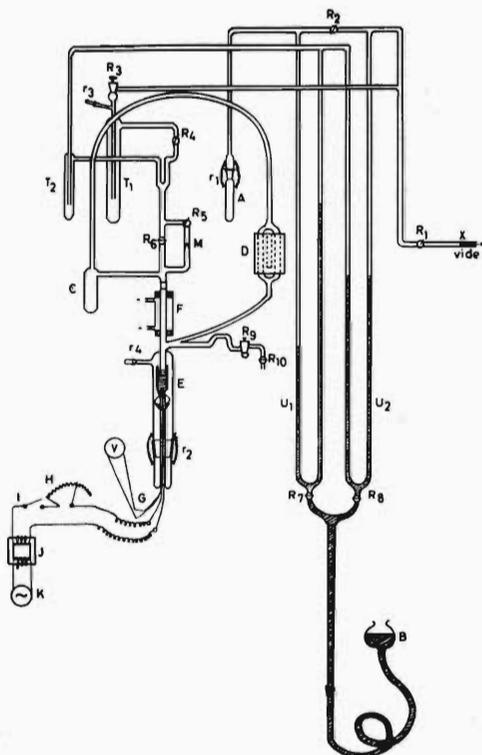


Fig. 2.

Chambre de réaction
(détail de la fig. 1).

- E₁ : partie fixe
- E₂ : partie amovible
- G : thermocouple
- Z : fils conducteurs
- b : branches latérales
- c : cellule de réaction
- l : tubulure latérale
- p : résistance en Pt
- r₂, r₄ : rodages
- s : ressorts

mise en communication avec la canalisation sous vide X par l'ouverture des robinets R_1 , R_3 , R_4 , R_6 et R_5 . Une communication entre le réservoir du réactif A et la chambre de réaction E peut être obtenue par le manomètre U_1 , quand on fait descendre le mercure jusqu'au robinet R_7 , R_6 étant ouvert, R_3 et R_4 fermés.

C. Appareil de combustion

Dans l'appareil de combustion, schématisé à la figure 3, la chambre E fait office de chambre de combustion et est isolée de l'appareil d'acétylation par la fermeture des robinets R_5 et R_6 (fig. 1). L'échantillon acétylé est porté à la température de 550°C au moyen d'une résistance chauffante en Pt, « p », enroulée autour de la cellule c (fig. 2). L'oxygène, purifié et séché par passage à travers une solution concentrée de KOH et d'une colonne de P_2O_5 est amené au contact de l'échantillon par le tube central t_2 . Les gaz de combustion passent, avec l'excès d'oxygène, sur les catalyseurs de combustion dans le tube P; H_2O est absorbé dans le tube S_1 contenant de l'anhydride et le CO_2 est retenu dans le tube S_2 rempli de « carborosorb soda asbestos ».

La précision obtenue est de l'ordre de 5 % relatifs, ce qui est suffisant pour l'étude que nous nous proposons de faire.

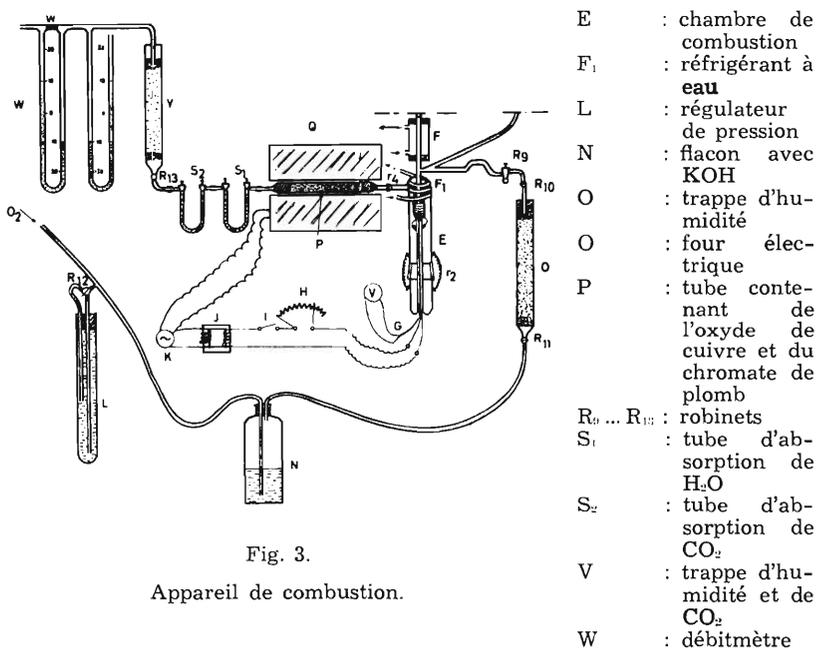


Fig. 3.
Appareil de combustion.

D. Mode opératoire

On peut résumer le mode opératoire comme suit.

1. Deux grammes de kaolinite séchée à 105°C sont placés dans la cellule de réaction et soigneusement dégazés sous une pression de 10^{-4} mm de mercure pendant 24 heures. On chauffe l'échantillon à 140°C pendant cette opération.
2. On amène sur l'argile un excès de chlorure d'acétyle par distillation sous vide. Le contact avec le réactif à la température ordinaire est maintenu pendant 24 heures.
3. L'excès de réactif est éliminé par un pompage combiné avec un chauffage à 140°C pendant 24 heures. La pression résiduelle obtenue est plus faible que 10^{-4} mm de mercure.
4. De l'oxygène pur et sec est introduit dans la chambre de combustion isolée de l'appareil d'acétylation et raccordée au tube contenant les catalyseurs. Le flux d'oxygène n'est pas interrompu.
5. L'échantillon est progressivement porté à 550°C et maintenu à cette température pendant 7 heures. Au début le débit d'oxygène est réglé à 10 ml/min, puis à 20 ml/min.
6. La différence de poids des tubes d'adsorption avant et après la combustion permet de déterminer la quantité d'acétyle fixée.

IV. RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les taux de fixation d'acétyle sont relatés dans le tableau 2. Nous les avons mis en regard avec d'autres données expérimentales pour mieux faire ressortir certaines relations.

L'examen du tableau 2 fait apparaître les points suivants.

1. Malgré la désorption consécutive à l'évacuation sous vide à 140°C, les produits de réaction contiennent dans tous les cas du carbone.
2. Les taux de fixation pour la kaolinite de départ, traitée au chlorure d'acétyle, sont reliés à la surface spécifique de l'échantillon.
3. Les taux de fixation pour la kaolinite calcinée, traitée au chlorure d'acétyle, sont du même ordre de grandeur que la B.E.C. de la kaolinite de départ.
4. Après calcination la kaolinite conserve partiellement sa B.E.C. et sa surface s'est accrue de 10 % environ.
5. La kaolinite de départ traitée à l'acide acétique fixe à peu près autant de groupes acétyles que lors du traitement au chlorure d'acétyle.
6. La quantité de groupes acétyles fixés par traitement à l'acide

TABLEAU 2

Résultats	Echantillon 1	Echantillon 2
Surface spécifique de la kaolinite de départ (en m ² /g)	15,5	42,0
Surface spécifique de la kaolinite après calcination à 550°C (en m ² /g)	—	46,2
P.E.C. de la kaolinite de départ (en μ éq/g)	50	95
B.E.C. de la kaolinite après calcination à 550°C (en μ éq/g)	—	60
Fixation d'acétyles par traitement au chlorure d'acétyle (en μ éq/g)		
a) kaolinite de départ	165,5	414,0
b) kaolinite après calcination	44,5	115,0
Fixation d'acétyles par traitement à l'acide acétique (en μ éq/g)		
a) kaolinite de départ	—	393
b) kaolinite après calcination	—	385
Surface occupée par un acétyle après traitement (en Å ² /molécule) :		
a) au chlorure d'acétyle	15,53	16,83
b) à l'acide acétique	—	17,72

acétique est sensiblement indépendante de la calcination subie par l'échantillon.

Il faut encore signaler qu'une analyse qualitative a révélé l'absence d'ions chlorures dans l'échantillon traité au chlorure d'acétyle et calciné.

V. DISCUSSION DES RESULTATS EXPERIMENTAUX

A. Adsorption physique, chemi-sorption ou liaison chimique

Nos résultats expérimentaux nous amènent à la conclusion que nous n'avons pas affaire uniquement à une adsorption physique des molécules organiques à l'intervention de forces du type de Van der Waals.

Cette affirmation est fondée sur les arguments suivants.

1. L'énergie mise en œuvre lors du pompage à 140°C, amenant la pression résiduelle d'équilibre sur l'échantillon à moins de 10⁻⁴ mm de mercure, est telle que la subsistance d'une adsorption physique devient peu vraisemblable.

2. Le packing des groupes acétyles est fort élevé. La valeur théorique de la surface couverte par une molécule adsorbée physiquement peut être calculée à partir de la formule proposée par BRUNAUER [13]. Elle nous donne, pour le chlorure d'acétyle et l'acide acétique respectivement, un packing théorique de 40,2 Å² et

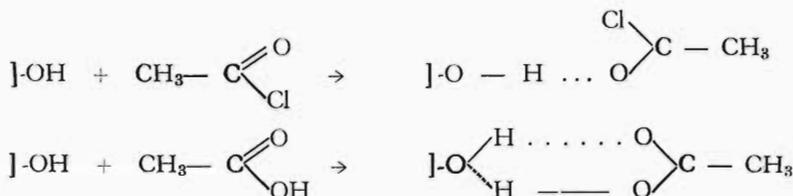
34,6 Å². Les données expérimentales (voir tableau 2) sont très différentes.

3. Le taux de fixation du chlorure d'acétyle après calcination a fortement diminué, bien que la surface spécifique se soit accrue de 10 %. Ce fait expérimental est en contradiction avec le caractère de non-spécificité propre à l'adsorption physique.

B. Nature de l'interaction kaolinite — agent d'acétylation

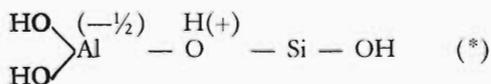
Il serait trop hasardeux de vouloir tirer de nos résultats expérimentaux une indication définitive en faveur d'un type de réaction déterminé. On peut cependant avancer quelques hypothèses.

Première hypothèse : formation de ponts d'hydrogène entre l'oxygène de la fonction carbonyle du réactif et l'hydroxyle de surface de la kaolinite.

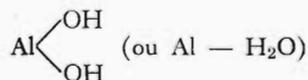


Deuxième hypothèse : réaction avec l'eau de constitution liée chimiquement à l'aluminium et formation de ponts d'hydrogène entre la surface hydroxylique et l'acide acétique.

Des recherches récentes de FRIPIAT [14], de GASTUCHE [15] et de LAUDELOUT [16] semblent prouver l'homogénéité de la surface kaolinitique. FRIPIAT [15] propose d'expliquer le comportement de cette surface en admettant qu'elle est constituée par des chaînons actifs du type suivant :



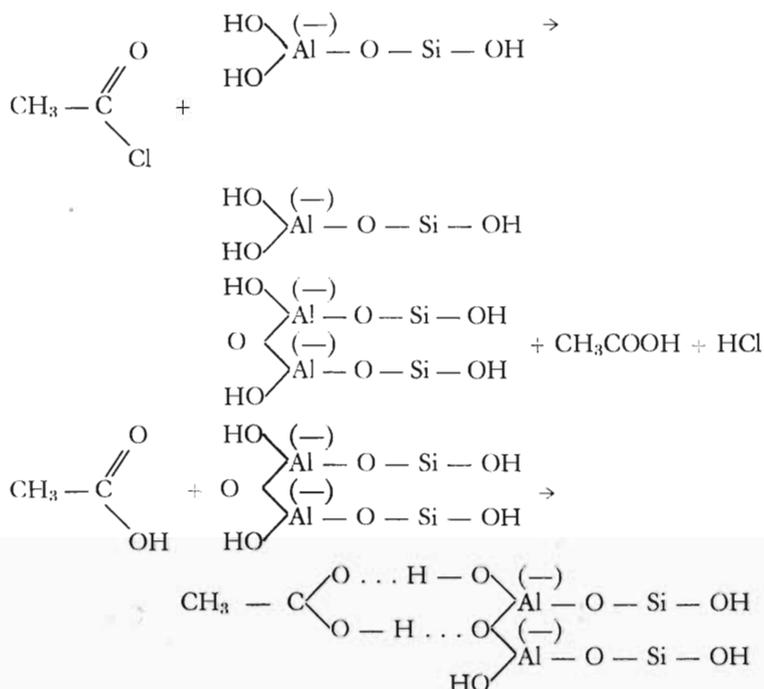
Dans cet arrangement structural, le groupement terminal est constitué par un atome d'aluminium agissant comme un acide de Lewis neutralisé par l'eau. L'ensemble



où l'aluminium serait tétraédrique, forme un acide de Brönsted.

(*) Dans ce schéma les coordinances ne sont pas respectées.

En admettant cette conception on peut interpréter nos résultats en proposant les réactions suivantes :

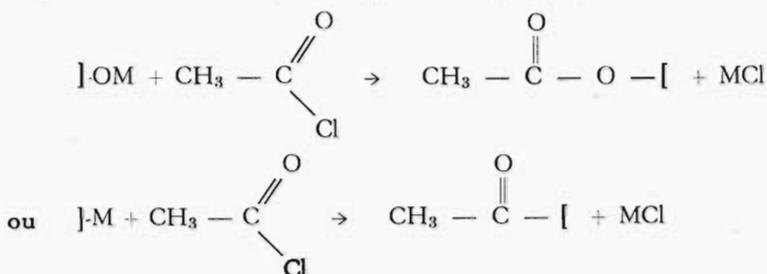


Ceci expliquerait l'analogie des résultats obtenus avec le chlorure d'acétyle et l'acide acétique. Il est évident que des réactions de ce type pourraient également se produire avec les radicaux SiOH.

A l'appui de cette interprétation notons que le packing apparent des groupes acétyles (tableau 2) est très proche de celui que KEENAN, MOONEY et WOOD [17] ont déterminé pour l'eau sur une surface kaolinitique (16,5 Å²/molécule).

Troisième hypothèse : formation de liens covalents.

Il n'est pas exclu qu'il y ait estérification de l'argile avec établissement de liens covalents réels. Cette réaction pourrait également se produire aux sites d'échange cationique (M).



Comme la kaolinite ne possède plus d'hydroxyle après calcination à 550°C, et étant donné que, dans les conditions expérimentales réalisées, une adsorption physique résiduelle est impossible, il faut envisager d'autres mécanismes de réaction pour expliquer la fixation d'acétyle après calcination. Le chlorure d'acétyle pourrait réagir avec les cations échangeables (voir plus haut), mais il n'y a pas de possibilité d'établissement de ponts d'hydrogène. Ceci expliquerait pourquoi les résultats expérimentaux sont très faibles et de l'ordre de grandeur de la B.E.C.

Par contre, avec l'acide acétique il y a possibilité de formation de ponts d'hydrogène avec les oxygènes liés à l'aluminium ou au silicium. On obtient en effet des valeurs fort élevées qui tendent vers celles obtenues avant calcination.

VI. CONCLUSIONS

D'après ce qui précède on propose le schéma de réaction suivant.

1. Le chlorure d'acétyle réagit dans une première étape avec les molécules d'eau fixées sur l'aluminium considéré comme un acide de Lewis. Il peut réagir également avec les groupes SiOH.
2. Entre l'acide acétique formé et la surface s'établissent des ponts d'hydrogène énergiques.
3. Lorsqu'on utilise comme réactif l'acide acétique, on passe directement à la seconde étape.

Par conséquent, il y aurait réaction chimique du chlorure d'acétyle avec la surface, amenant la formation d'acide acétique et adsorption de l'acide acétique avec création de ponts d'hydrogène. Ce point de vue concilierait les diverses hypothèses émises antérieurement par d'autres chercheurs.

Une confirmation expérimentale décisive pourrait être apportée par l'examen en infra-rouge de l'argile acétylée. On sait en effet que les bandes d'adsorption subissent un glissement lors de l'établissement des ponts d'hydrogène.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] GIESEKING, J. E. — *Adv. Agronomy*, **1**, 205, (1949).
- [2] GIESEKING, J. E. — *Trans. IVth Intern. Congres Soil Sci.*, Amsterdam, **4**, 53, (1950).
- [3] SPENCER, W. F. & GIESEKING, J. E. — *Journ. Phys. Chem.*, **56**, 751, (1952).
- [4] SLABAUGH, W. H. — *Journ. Phys. Chem.*, **56**, 748, (1952).
- [5] DEUEL, H. — Communication personnelle.

- [6] DEUEL, H., HUBER, G. & IBERG, R. — *Helv. Chim. Acta*, **33**, 1229, (1950).
- [7] DEUEL, H. & HUBER, G. — *Helv. Chim. Acta*, **34**, 1679, (1951).
- [8] DEUEL, H., HUBER, G. & GUNTARD, Hs., H. — *Helv. Chim. Acta*, **35**, 1799, (1952).
- [9] DEUEL, H. — *Clay Min. Bull.*, **1**, 205, (1952).
- [10] GLAESER, R. — Complexes organo-argileux et rôle des cations échangeables, (1954).
- [11] GREENLAND, D. J. & RUSSEL, E. W. — *Trans. Far. Soc.*, **51**, 1300, (1955).
- [12] FRIPIAT, J. J., GASTUCHE, M. C. & UYTTERHOEVEN, J. — Etude des groupes hydroxyles de surface de la kaolinite, (I). *Pédologie*, **VII**, 39, (1957).
- [13] BRUNAUER, S. — The adsorption of gases and vapors. Tome I, Physical adsorption. Oxford University Press, London (1945).
- [14] FRIPIAT, J. J. — Propriétés de surface des alumino-silicates. *Bull. Groupe Français des Argiles*, **IX**, 23, CNRS Paris, (1957).
- [15] GASTUCHE, M. C. — L'Aluminium libre en surface de la kaolinite. *Bull. Groupe Français des Argiles*, **IX**, 49, CNRS Paris, (1957).
- [16] LAUDELOUT, H. — Etude de la répartition des charges sur les surfaces des particules argileuses. *Bull. Groupe Français des Argiles*, **IX**, 61, CNRS Paris, (1957).
- [17] KEENAN, A. G., MOONEY, R. W. & WOOD, L. A. — *Journ. Phys. Coll. Chem.*, **55**, 1462, (1952).

DE ACETYLATIE VAN HET KAOLINIET

Samenvatting

Het doel van dit werk is de studie van de aktiviteit van de OH groepen aan de oppervlakte van kaolinitiet door toepassing van de reactie met acetylchloride en azijnzuur.

Teneinde alle nevenreacties met hydratatie water te vermijden, hebben de auteurs een toestel ontworpen waarin deshydratatie en acetylatie onder hoog vacuum mogelijk zijn. Na verwijdering van een overmaat reagens werd de acetylatiegraad bepaald door verbranding.

De proeven werden uitgevoerd op kaolinitiet gedroogd bij 140°C onder vacuum, en op kaolinitiet gedeshydroxyleerd door calcinatie.

De bekomen resultaten brengen de auteurs tot volgende besluiten:

- een physische adsorptie (type Van der Waals) van reagens of reactieproducten is uitgesloten in de omstandigheden van het experiment,
- om de bekomen resultaten te verklaren dient een chemisorptie of een scheikundige reactie aangenomen,
- drie hypothesen werden voorgesteld om het mechanisme van de reactie te verklaren.

PEDOLOGIE : SCIENCE DE BASE DU REMEMBREMENT ET DE DE LA BONIFICATION FONCIERE

par H. HALLET

Ingénieur-Pédologue à la S.N.P.P.T.

*« La connaissance du naturel des terrains
que nous voulons cultiver est le fondement
de l'agriculture. »*

Olivier de Serre
Théâtre d'agriculture et mesnage des
champs (1600).

Le terme pédologie ne doit pas être confondu avec l'analyse chimique agricole des terres, qui représente uniquement des variations passagères du potentiel des divers éléments chimiques concourant à une production végétale.

La pédologie étudie l'état et le comportement de la couche superficielle de l'écorce terrestre soumise au climat et à la végétation dans le temps et dans l'espace. Elle commence au point où cesse la géologie, celle-ci ne s'occupant que de la formation ou du dépôt des roches-mères, celle-là les suivant au fur et à mesure de la formation de leurs couches superficielles. La roche-mère transformée devient un sol.

Contrairement à l'analyse chimique agricole, la pédologie ne se base pas sur des variations passagères du potentiel des différents éléments qu'une seule application de fumure ou d'amendement perturbe instantanément.

La pédologie étudie la valeur intrinsèque du sol sur une profondeur moyenne de 1,25 m, tandis que l'analyse chimique donne uniquement la valeur passagère des 30 cm supérieurs.

DESCRIPTION ET CLASSIFICATION DES SOLS

Sous les actions biologiques du système racinaire des plantes et sous l'action lessivante des eaux de pluie chargées d'acide carbonique, une évolution se manifeste dans le sol et se traduit par l'apparition de zones horizontales présentant des caractères différents. Ces zones appelées *horizons* se différencient principalement par leur composition granulométrique, c.-à-d. les pourcentages de

particules de calibre différent, par la structure (arrangement de ces particules) et par la couleur.

Ces horizons étant le résultat de divers facteurs externes, dont les principaux sont la végétation, le climat et la topographie, il est normal que leur développement varie en même temps que ces facteurs. Nous obtenons ainsi différents types de sol.

Le *type de sol* est défini par un ensemble :

1. de caractères extérieurs :

- le relief
- le drainage
- l'exposition et l'altitude
- la végétation
- la nature et la profondeur de la nappe phréatique,

2. de caractères internes :

- la nature de la roche-mère
- la nature et l'épaisseur des horizons
- la texture des différents horizons
- la couleur
- la structure
- le drainage
- la réaction
- la consistance
- la teneur en matières organiques et l'enracinement
- l'occurrence de formations spéciales dans le profil.

Ces caractères morphologiques d'un sol sont en corrélation avec des propriétés physico-chimiques et chimiques établies en laboratoire. Il est donc possible d'affirmer que des sols d'un tel type, situés à des endroits différents, auront des propriétés physiques et chimiques semblables.

D'autre part, d'autres corrélations sont établies entre ces propriétés et la valeur agricole des types de sol grâce à des parcelles d'essai et aux très nombreuses observations relevées sur le terrain.

En résumé, l'interprétation de la carte des sols, dont le dessin est essentiellement basé sur des caractères morphologiques définissant le type de sol, permet de délimiter des zones de terres différenciées par leur *valeur agricole*, leur propriété, leur productivité, leur vocation agricole et les façons culturales les plus appropriées pour leur mise en valeur.

De cette façon, on acquiert une connaissance précise et complète de l'élément productif de base : *le sol*.

Il est facile de comprendre que dans toute opération de bonification foncière et de remembrement, il est indispensable de définir avec précision la constante de base que représente la valeur poten-

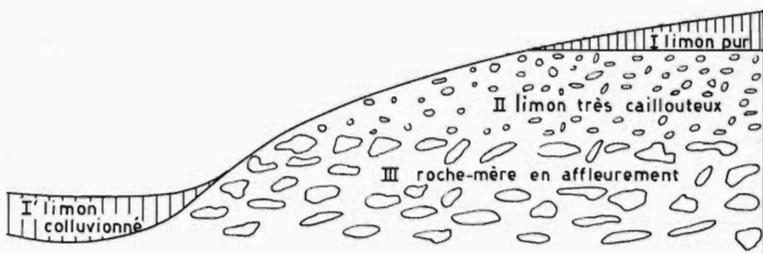


Fig. 1.

tielle actuelle du sol ou la valeur possible à atteindre par les méthodes habituelles de bonification.

La fig. 1 donne une séquence courante de différents profils de sol. La fig. 2 donne le profil du type de sol I.

LA CARTE DES SOLS

En Belgique, les levés cartographiques sont effectués à l'échelle de 1/5 000. Lorsque la cartographie d'une planchette est décidée, le cartographe reçoit une copie à l'échelle de 1/5 000 des plans cadastraux des communes situées dans les limites géométriques de la zone à cartographier.

Il part sur le terrain et va effectuer, au moyen d'une sonde, toute une série de sondages. Cette sonde a une longueur de 1,25 m, ce qui correspond sur le terrain à la profondeur habituelle d'affouillement des racines. Les différents sondages sont effectués de 75 m en 75 m avec des sondages intermédiaires suivant la topographie.

Au cours de son travail, le cartographe décrit chaque sondage dans un carnet et lui donne un symbole correspondant à un type de sol bien défini dans la légende.

Il reporte ce symbole sur la carte et trace une ligne pour réunir les mêmes types de sol dans une plage. Pour tracer cette ligne, il s'aide de la topographie, des indications des associations végétales ou de sondages intermédiaires.

Il relève également un grand nombre d'observations au fur et à mesure de ses allées et venues sur le terrain qu'il connaîtra par-

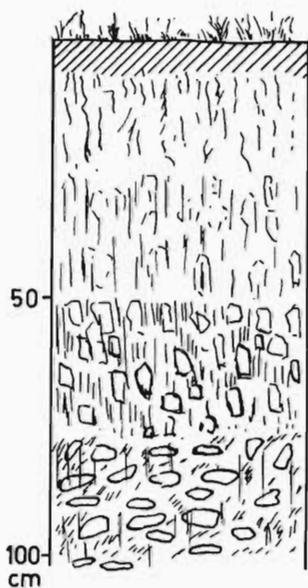


Fig. 2.

faitement après l'avoir percé d'un grand nombre de trous et l'avoir parcouru dans tous les sens.

Ces notes lui serviront à rédiger son rapport de section; une section équivaut la superficie d'une commune.

Tous ces travaux sont exécutés sous la direction du chef de secteur, ingénieur agronome, qui rédige le texte explicatif quand l'entièreté de la planchette est cartographiée.

La publication des cartes se fait à l'échelle de 1/20 000.

LA CARTE DES SOLS, DOCUMENT DE BASE DU REMEMBREMENT ET DE LA BONIFICATION FONCIERE

1. Mise en commun de parcelles dispersées

La mise en commun de parcelles dispersées en larges unités rectangulaires soulève maints problèmes dont quelques-uns sont directement liés aux conditions du sol. Ces problèmes comportent les éléments suivants.

a) *L'évaluation exacte de la valeur agricole des terres qu'apporte chaque fermier dans le cadre du projet de remembrement.*

Le classement des terres constitue la charnière de tout remembrement. Il doit être effectué avec le plus grand soin, de façon à offrir aux exploitants et propriétaires de terrains à remembrer un système équilibré et rationnel, leur donnant toutes les garanties quant à l'estimation agricole de leurs biens.

S'il est vrai que la méthode de classement des terres variera d'une région à l'autre et à l'intérieur d'une même région suivant les cas d'espèces des différents remembrements, il est important de déterminer un canevas de base, suffisamment rigoureux, pour respecter l'esprit de la loi, mais suffisamment souple pour être adapté à des conditions particulières locales. Cette unité de travail minimum sera indispensable lorsqu'il faudra greffer un nouveau remembrement sur une commune déjà remembrée.

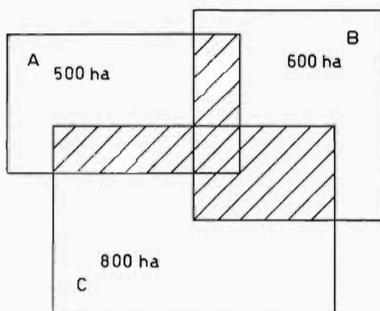


Fig. 3.

Les cultivateurs de A peuvent connaître les valeurs relatives du bloc A; ils ne connaissent pas les valeurs relatives du bloc B ou du bloc C (fig. 3). Il est indispensable d'établir un canevas de classification des sols pour comparer et proportionner les échelles de A, B et C.

Proposition d'une méthode de classement

Est-il possible à partir de la

carte des sols belges de construire un système rationnel capable de rencontrer la confiance des cultivateurs ?

La carte des sols nous donne :

- les textures : argile, limon, sable, etc.
- les drainages : sols humides, secs, etc.
- les développements de profil : sol calcaire, sol appauvri, etc.
- la profondeur du sol et la nature de la roche sous-jacente
- les positions topographiques d'un type de sol déterminé par le jeu des couleurs.

Enfin toute une série de notes de terrain figurent dans les carnets de sondage et une échelle rationnelle des classes d'aptitude et de capabilité des sols est mise au point par une équipe d'ingénieurs agronomes, spécialisés chacun dans l'étude des sols d'une région agricole déterminée.

Toutes ces données interprétées avec discernement permettent d'établir des zones agronomiques et de les classer dans une échelle de valeurs relatives.

Ce document devra nécessairement être corrigé suivant l'importance de différents facteurs locaux.

Par exemple : on peut avoir des sols identiques de même valeur agronomique situés sur deux plateaux différents. La carte des zones agronomiques, tirée de la carte des sols, donnera la même valeur aux sols des deux plateaux. Si, pour des raisons locales, un des deux plateaux est exposé à la bise, compromettant la levée des semis, il est bien certain que les sols de ce plateau seront diminués de valeur par rapport à l'autre. Mais là encore, la carte des sols nous servira parce qu'elle permettra immédiatement de délimiter exactement la zone des sols à déclasser.

b) La formation efficace des nouvelles parcelles en rapport avec la nature du sol.

Chaque nouvelle parcelle, groupant souvent plusieurs anciens lopins de terre étroits de forme irrégulière, doit être assise autant que possible sur le même profil de sol, afin de pouvoir rationaliser les méthodes culturales et l'épandage des mêmes quantités d'amendements et d'engrais. Ce problème revêt une grande importance dans toutes les régions et nous pouvons prendre comme exemple typique la commune de Les Avins, où la S.N.P.T. a organisé l'assemblée générale et obtenu une majorité écrasante en faveur du remembrement, et où la carte des sols nous dessine des plages de sols calcaires à côté de plages de sols limoneux lessivés s'acidifiant facilement. Le nouveau parcellaire devra tenir compte de cet élément agronomique de première importance pour éviter d'inclure des sols acides et des sols calcaires dans la même parcelle,

afin d'éviter au cultivateur des problèmes de fumure souvent insolubles. On pourrait citer de nombreux autres exemples en région limoneuse également, où des terres-à-briques voisinent avec des sols limoneux légers d'anciens profils forestiers. Les façons culturales et les doses d'amendements sont différents pour ces deux séries de sols.

c) *L'attribution adéquate de nouvelles parcelles groupant différents types de sol.*

Dans les régions d'agriculture mixte (prairies et terres arables) il importe que chaque ferme reçoive des types de sol appropriés dans une juste proportion. Par exemple, si une prairie se trouve au milieu d'un grand bloc de terres cultivées, il faut que le cultivateur qui recevra la prairie soit assuré qu'il pourra remettre la parcelle en culture et que la prairie n'a pas été établie à cet endroit pour cacher une tache de sols humides. Seule l'étude du profil du sol peut lui donner toutes les certitudes.

d) *Pouvoir trancher avec la plus grande justice possible les contestations concernant le classement des terres.*

Prenons l'exemple d'un cultivateur contestant le classement d'une terre mise sous prairie. Sur quel document faudra-t-il s'appuyer pour solutionner le cas, sinon sur un levé pédologique ?

e) *Piquetage des zones de valeur sur le terrain (art. 17).*

Là encore la carte des sols sera d'une aide précieuse, car elle précise l'allure générale des tracés et définit les zones de valeur moyenne avec exactitude.

2. Amélioration du réseau routier agricole

La construction de nouveaux chemins demande également une utilisation systématique des cartes, pour les raisons suivantes :

- la carte des sols renferme, en gros, des indications sur le coût et les problèmes que pose la construction de chemins,
- la carte des sols révèle l'endroit où se trouvent éventuellement le gravier et le sable,
- la carte des sols nous renseignant sur les affleurements rocheux et sur l'état d'humidité des matériaux meubles et délimitant ces zones avec précision, permet de placer les chemins aux endroits où leur construction est la plus économique et d'éviter de couper inutilement une zone de bonnes terres.

Considérons deux exemples caractéristiques.

1. En Ardenne, il est courant de rencontrer des sols limoneux

profonds voisinant avec des sols très courts où la roche apparaît à 20 ou 30 cm de profondeur (fig. 4).

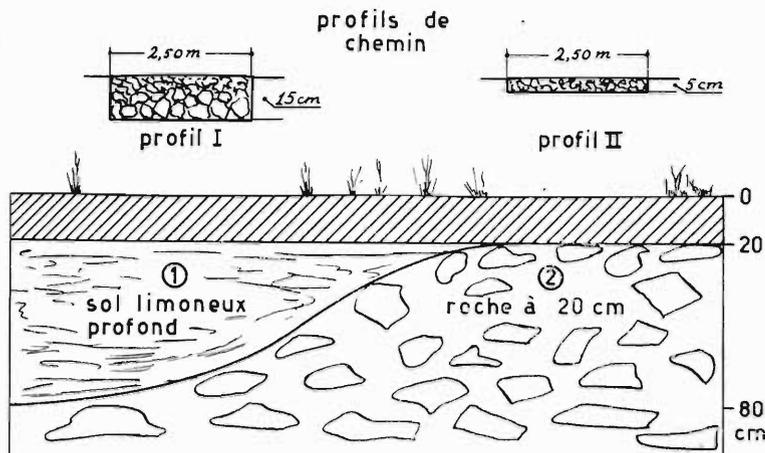


Fig. 4.

Le simple fait de placer le chemin sur la zone (2) au lieu de le tracer sur la zone (1), permet une économie considérable de travaux de terrassements, de matériaux caillouteux et de transports, sans compter que les frais d'entretien en zone (2) se limiteront uniquement à un léger nivellement de temps à autre, tandis qu'en zone (1) il faudra toujours prévoir des frais de rechargement du chemin.

S'il s'agit de chemins enherbés, sans empierrement, à plus forte raison sera-t-il indispensable de les placer en (2) et non en (1) si on veut éviter les défoncements et les deux raies boueuses dues au passage répété des tracteurs et remorques.

Remarquons encore que cette solution conserve le maximum de bonnes terres à l'agriculture.

Nous pourrions citer de nombreux autres exemples en région limoneuse. Il suffit pour s'en convaincre de voir les plaques de béton de nos grandes chaussées se briser ou se déformer quelques mois après leur construction à certains endroits bien déterminés. Dans 99 % des cas, c'est la nature du sol qui en est responsable. Une cartographie du sol suffirait à éviter ces gros frais de réparation.

Si on réfléchit qu'un mètre courant de chemin agricole empierré coûte ± 185 F pour le profil I, on se rend compte des économies considérables que l'interprétation de la carte des sols peut entraîner. Moins cher coûtera un remembrement, plus grande sera la superficie agricole remembrée.

2. Dans le pays flamand, il n'est pas rare de trouver des plages tourbeuses voisines de plages sableuses. Tous les techniciens connaissent les difficultés que représente la construction d'une route en terrain tourbeux et les précautions qu'il faut prendre pour fixer l'assiette convenablement, tout ceci entraînant de nombreux frais supplémentaires. La carte des sols délimitant exactement les plages tourbeuses et sableuses permet de rechercher le tracé de route au profil le plus économique.

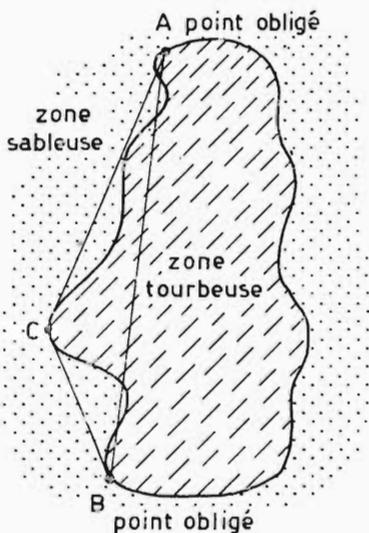


Fig. 5.

La fig. 5 illustre ce second exemple. Le tracé AB, le plus court, n'est pas le plus économique. La construction de ACB coûtera moins cher, avec la certitude de construire un chemin durable, qui ne se déformera pas dans 6 mois.

La carte des sols permet également de trouver la solution la plus économique et la plus durable dans le problème du remblaiement des chemins creux. D'une part, si on possède les zones des différents sols voisins du chemin creux à remblayer, il est possible dans certains cas de trouver des sols où l'on peut enlever 20 ou 30 cm de limon superficiel

au-dessous de la couche arable, sans craindre de nuire à leurs qualités agronomiques, mais en ayant la possibilité de réduire sensiblement les frais de transport.

Il peut même se faire que le prélèvement de quelques centimètres superficiels améliore les qualités agronomiques de certains types de sol. On réalise du même coup et pour le même prix deux améliorations foncières.

D'autre part, les chemins creux sont souvent des anciens chemins d'érosion. Il est indispensable de solutionner le problème en respectant les conditions de lutte anti-érosive pour chaque cas d'espèce donné.

3. Amélioration du drainage et contrôle des eaux

Ce n'est pas par hasard que nous employons les deux termes « drainage » et « contrôle des eaux », car en agriculture le but de tout drainage est d'arriver à un contrôle parfait des eaux à des ni-

veaux adéquats. L'ingénieur agronome ne doit pas solutionner uniquement un problème d'hydraulique, mais l'équation la plus importante qu'il ait à résoudre est la suivante : compte tenu des conditions climatiques, du type de sol et de la végétation, à quel niveau doit-on maintenir la nappe phréatique pendant telle et telle période végétative ?

Reprenons l'exemple classique de la nappe d'eau suspendue d'un sol caillouteux ardennais (fig. 6).

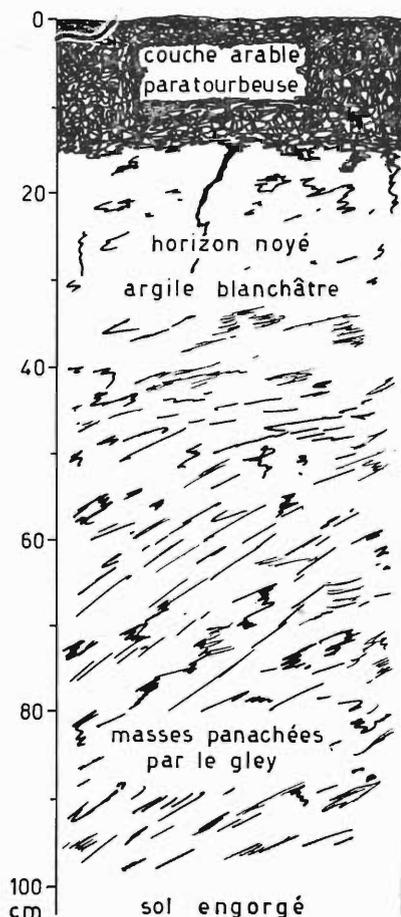


Fig. 6.

tériel sans structure, blanchâtre et paracendreau, anormalement sec et dur, présentant de larges craquelures en surface dommageables pour les enracinements.

Il est facile de comprendre que la prairie poussera moins bien sur ces sols après drainage. Que faudrait-il proposer comme amélioration ? Une simple amélioration foncière coutant 5 fois meilleur

Ce profil se situe généralement sur les plateaux et est toujours couvert d'une végétation prairiale et hygrophile. La première tendance, vu l'aspect général de la végétation, serait de conclure à la nécessité d'un drainage. Et pourtant, en examinant sérieusement le problème, on se rend compte que l'humidité est due :

- à la pluviosité élevée,
- au manque de contact entre les horizons superficiels et sous-jacents, ce qui diminue très fortement la capacité de rétention des eaux dans le sol.

Un drainage habituel aurait pour effet d'assécher complètement la couche superficielle, sans assurer un contact étroit entre la surface et les couches sous-jacentes.

L'eau ayant stagné pendant très longtemps à la surface a détruit complètement la structure du sol, de telle sorte que le drainage de ces horizons superficiels va laisser un ma-

leur marché que le drainage (expérience réalisée en Allemagne, Congrès F.A.O., Bonn, 1957), rétablissant le contact entre les couches superficielles et sous-jacentes, suffit à agrandir le bassin de rétention des eaux dans le sol et à abaisser la nappe phréatique de 30 cm de la surface, c'est-à-dire en dehors de la zone d'affouillement habituelle de l'association des plantes de prairie. On obtient de cette façon une excellente prairie qui ne souffre pas de la sécheresse pendant l'été. Ce simple exemple montre bien que la recherche sur le niveau de la nappe phréatique, convenant le plus aux divers types de sol, n'est possible qu'après une description et classification préalable des sols différents.

La mise en application des résultats obtenus dans ces recherches demande, à son tour, une connaissance approfondie de la distribution des divers types de sol. Le lever de la carte est indispensable.

Quand une corrélation est établie entre le profil et la perméabilité du sol, les résultats peuvent être appliqués à des sols similaires, situés ailleurs.

La carte détaillée du sol révèle également les endroits où l'irrigation est nécessaire. Il y a de nombreux exemples à montrer en Belgique où les sols manquent d'eau en été.

4. Amélioration du sol des nouveaux lots

La bonification foncière de chaque parcelle nouvellement formée, dans le nouveau réseau de chemins et de cours d'eau, doit être orientée :

- vers la formation d'une surface suffisamment régulière pour permettre l'utilisation de machines agricoles,
- vers la constitution d'un profil suffisamment homogène pour utiliser rationnellement le sol en ce qui concerne les cultures et l'assolement.

Pour remplir toutes ces conditions, il est nécessaire :

- de combler d'anciens fossés,
- de supprimer d'anciens chemins,
- de niveler des parties de terrains,
- d'appliquer le labour profond en certains endroits, etc.

Pour porter un jugement précis sur la nécessité de toutes ces opérations et les mettre en œuvre, la carte des sols est indispensable parce qu'elle permet d'établir sainement les données de chaque problème.

La recherche sur la nécessité et sur les résultats de ces opérations ne peut être entreprise que lorsqu'elle s'étaye sur une description et classification détaillée des sols et sur leur distribution.

5. Recherche de nouveaux terrains à déboiser pour augmenter la superficie des exploitations existantes

La carte des sols est encore indispensable :

- pour repérer les zones de bons terrains à remettre en culture,
- pour préciser la nature et l'étendue des différentes améliorations foncières, afin d'établir le bilan financier correct de l'opération.

6. Problème du boisement des terres agricoles

Ici aussi la carte du sol est nécessaire pour délimiter les zones forestières et agricoles.

Remarque. Ces deux derniers points seront traités plus spécialement dans un article sur l'amélioration intégrale du village.

CONCLUSION

La grande importance de la carte des sols en amélioration foncière et en remembrement consiste en substance dans la possibilité de poser des données sérieuses pour un certain nombre de problèmes touchant directement et indirectement le sol et son utilisation.

Ceci est possible du fait que la carte donne des précisions non seulement sur le caractère, l'extension et la distribution géographiques des problèmes, mais qu'elle indique au surplus la formule la plus économique possible pour établir les projets d'exécution.

La carte des sols s'avère indispensable tant pour l'œuvre de la recherche sur le terrain des différentes améliorations foncières, que pour l'élaboration et la mise en œuvre des projets.

L'ingénieur pédologue est un maillon de la chaîne des spécialistes qui se penchent sur un projet, mais il est souhaitable qu'il en soit le premier et le dernier.

Le premier, afin d'établir les données de base de l'ensemble d'un problème en se limitant à leur description la plus complète et la plus exacte possible. Le dernier afin de vérifier si tous les détails de l'exécution correspondent aux nécessités de la pédologie et pouvoir poser à nouveau les données, suivant les nouvelles conditions créées, pour la mise en culture et la protection du profil nouveau.

Afin de limiter l'étendue de cet article, le choix s'est limité nécessairement à quelques exemples. L'expérience acquise pendant années de cartographie, les problèmes journaliers de pédologie appliquée qui nous sont posés sans cesse, nous auraient permis de dresser une liste importante d'exemples choisis dans la réalité.

Nous avons traité aujourd'hui du rapport de la pédologie avec le remembrement et la bonification foncière. Dans un prochain article, nous traiterons du rapport de la pédologie avec les problèmes de construction, d'amélioration intégrale du village et des prêts aux cultivateurs.

Nous aurons ainsi fait le tour de toutes les branches d'activité de la S.N.P.P.T., qui est le *premier organisme belge* à s'être assuré le concours de l'ingénieur pédologue.

La S.N.P.P.T. s'est ainsi donnée la possibilité, au moment où elle se tourne vers des problèmes agricoles, d'établir une tradition technique qui marquera ses projets et ses réalisations dans les 20 années qui viennent, les classant d'office à égalité de rang avec les projets des pays voisins.

BODEMKUNDE : BASISWETENSCHAP VOOR DE RUILVERKAVELING EN DE GRONDVERBETERING

Samenvatting

De auteur handelt eerst over de beschrijving en de klassifikatie van de bodems. Vervolgens toont hij aan, dat de bodemkaart het mogelijk maakt zones met verschillende landbouwwaarde te begrenzen. Aan de hand van enkele voorbeelden uit de praktijk zet hij uiteen dat de bodemkaart, zoals ze in België wordt opgemaakt, een basisdokument is bij de voornaamste bodemverbeteringen, nl.

- het schatten van de landbouwwaarde van de gronden en hun herverdeling bij ruilverkaveling,
- de verbetering van het wegennet,
- de verbetering door drainage en de waterbeheersing.

DEUXIEME SEANCE ORDINAIRE

tenue le 27 février 1958

dans les locaux de l'Institut Agronomique de l'Etat à Gand

La séance est ouverte à 15 h sous la présidence de Monsieur A. VAN DEN HENDE, vice-président de la Société.

Présentation de nouveaux membres

Sur proposition de Monsieur A. VAN DEN HENDE sont admis en qualité de membre effectif de la Société :

M. DAELS, Luc, présenté par MM. R. Tavernier et J. Laruelle,
M^{lle} SPITAELS, P., présentée par MM. R. Tavernier et W. De Breuck,

M. DETHIOUX, M., présenté par MM. Noirfalise et Sougnez,

M. TRAETS, J., présenté par MM. Noirfalise et Sougnez,

M. THILL, A., présenté par MM. Noirfalise et Sougnez.

Communication

Détermination de la teneur en carbone organique des sols par

L. DE LEENHEER et J. VAN HOVE.

Texte ci-après.

Visite

Au cours de la visite au Laboratoire de Pédologie et au Centre de Recherches pédologiques (Dir. Prof. Dr. L. De Leenheer) et au Laboratoire de Chimie analytique et au Centre de Physico-Chimie appliquée dans l'Agriculture (Dir. Prof. Dr. A. Van den Hende) les membres sont guidés par les Directeurs respectifs et leurs collaborateurs.

TWEEDE GEWONE ZITTING

gehouden op 27 februari 1958

in de lokalen van de Rijkslandbouwhogeschool te Gent

De zitting wordt geopend te 15 h onder voorzitterschap van de Heer A. VAN DEN HENDE, ondervoorzitter van de Vereniging.

Voorstelling van nieuwe leden

Op voorstel van de Heer A. VAN DEN HENDE worden volgende personen als werkend lid van de Vereniging aangenomen :

de H. DAELS, Luc, voorgesteld door de HH. R. Tavernier en J. Laruelle,

Mej. SPITAEELS, P., voorgesteld door de HH. R. Tavernier en W. De Breuck,

de H. DETHIOUX, M., voorgesteld door de HH. Noirfalise en Sougnez,

de H. TRAEYS, J., voorgesteld door de HH. Noirfalise en Sougnez,

de H. THILL, A., voorgesteld door de HH. Noirfalise en Sougnez.

Mededeling

Détermination de la teneur en carbone organique des sols door L. DE LEENHEER en J. VAN HOVE.

Bezoek

Een bezoek werd gebracht aan het Laboratorium voor Bodemkunde en het Centrum voor Grondonderzoek (Dir. Prof. Dr. L. De Leenheer) en aan het Laboratorium voor Analytische Scheikunde en het Centrum voor toegepaste Fysico-chemie in de Landbouw (Dir. Prof. Dr. A. Van den Hende); de leden werden er rondgeleid door de resp. Directeurs en hun medewerkers.

DETERMINATION DE LA TENEUR EN CARBONE ORGANIQUE DES SOLS

Etude critique des méthodes titrimétriques

par L. DE LEENHEER et J. VAN HOVE(*)

La détermination quantitative du carbone organique peut se faire, soit par voie sèche (calcination), soit par voie humide.

Dans le premier cas le carbone est transformé en CO_2 , qui est fixé sur une matière absorbante, puis déterminé par l'augmentation de poids qui en résulte. Dans le second cas on détermine par titrimétrie ou colorimétrie la quantité d'un produit oxydant nécessaire pour l'oxydation d'un échantillon de terre, pour lequel on suppose que cette oxydation consiste uniquement dans la transformation du carbone organique en CO_2 .

I. OXYDATION PAR VOIE SECHE OU ANALYSE ELEMENTAIRE

Dans un four de construction spéciale, permettant le passage d'un courant d'oxygène, le carbone présent dans le sol est transformé quantitativement en CO_2 , puis fixé sur une matière absorbante.

Le four, employé par nous pour cette étude, est un four Heraeus (Mikro-Verbrennungsofen Heraeus, Hanau; AF 501/53). Nous estimons superflu de donner ici la description de l'appareil et son fonctionnement, qu'on peut trouver dans les brochures de cet appareil. Signalons seulement que la combustion se fait dans un courant d'oxygène et que ce gaz, venant d'une bombonne et passant par un gazomètre à pression réduite, puis par un tube de combustion, est préalablement purifié par son passage à travers un flacon rempli d'anhydron, $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$, pour fixer l'humidité, et un flacon rempli d'ascarite (NaOH sur asbeste) pour fixer le CO_2 . Par l'échauffement du tube, contenant la petite nacelle avec l'échantillon à calciner, la matière organique du sol est complètement brûlée et les gaz produits sont quantitativement oxydés, grâce aux catalyseurs successifs placés dans le tube de combustion

(*) Etude subsidiée par l'Institut pour l'encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (IRSLA). Comité pour l'étude de la structure et de la matière organique des sols belges, Section Pédologie, Gand.

derrière la nacelle. Ces catalyseurs sont successivement : laine d'argent, oxyde de cuivre en aiguilles^(*), laine d'argent, grains de dioxyde de plomb et laine d'argent. Tous ces produits sont séparés entre eux par une mince couche d'asbeste (fig. 1).

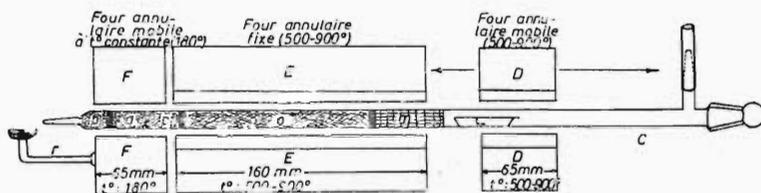


Fig. 1.

Appareil pour l'analyse élémentaire.

Le tube d'oxydation à l'intérieur des trois fours annulaires contient de droite à gauche (dans le sens du courant d'oxygène) :

- la nacelle *L* avec l'échantillon à calciner,
- les catalyseurs : laine d'argent *m*, oxyde de cuivre en aiguilles *o*, laine d'argent *p*, grains de dioxyde de plomb *q* et laine d'argent *p*.

Dans les absorbeurs, placés derrière le tube de combustion, les vapeurs d'eau sont retenues sur l'anhydron et le gaz carbonique sur l'ascarite. L'augmentation de poids de cette dernière permet de déterminer la teneur en carbone de l'échantillon calciné [1].

Appréciation de l'analyse élémentaire

Cette méthode est la seule qui soit généralement considérée comme étant vraiment exacte pour les sols non calcaires^(**); c'est elle qui devra toujours être prise comme méthode de référence pour juger de la valeur d'une nouvelle méthode plus rapide.

Elle demande malheureusement beaucoup de temps et ne convient pas pour des déterminations en grandes séries. En outre, l'analyse doit être faite minutieusement, et sans analyse effectuée en double, on n'a jamais la certitude qu'il n'y a pas eu une fuite ou une obstruction des gaz de combustion.

Une réserve importante cependant doit être faite : si l'échantillon contient des carbonates, on détermine simultanément le carbone de ces derniers. Dans ce cas il faut :

- (*) Si l'échantillon contient des composés de soufre (p.ex. certaines argiles renfermant de la pyrite plus ou moins colloïdale) l'oxyde de cuivre est mélangé avec du chromate de plomb.
- (**) La seule exception théorique serait celle d'échantillons riches en montmorillonite, dans laquelle une fixation interlamellaire de substances humiques aurait eu lieu.

- soit déterminer le carbonate sur un autre échantillon et corriger le résultat en conséquence;
- soit détruire le carbonate avant de passer à l'analyse élémentaire du même échantillon.

Dans la pratique la première façon d'opérer ne donne pas satisfaction, la teneur trouvée en carbone étant généralement trop élevée. Dans les sols calcaires pauvres en humus, la teneur en carbone, déduite de la teneur en carbonate trouvée par voie titrimétrique, dépasse parfois le total trouvé par analyse élémentaire.

La destruction préalable du calcaire ne paraît pas non plus une bonne solution. Si l'on détruit le calcaire à l'acide chlorhydrique, le CaCl_2 formé, qui est très hygroscopique, empêche d'obtenir un résidu dont l'humidité correspond à celui de l'échantillon brut. Si le calcaire est détruit à l'acide sulfurique dilué, sa concentration, lors de l'évaporation, entraîne une décomposition partielle de la matière organique. Une attaque du calcaire par un acide, suivi d'un lavage à l'eau, ne donne pas la solution non plus, l'acide dissolvant une partie des substances organiques.

Certains auteurs (SPITHOST e.a. [2]) ont pu montrer qu'une addition de fleur de soufre à des sols calcaires assure une décomposition plus parfaite du carbonate par calcination. Par contre une partie du carbonate peut se transformer en sulfate et ceci d'autant plus que le sol est plus argileux, les vapeurs d'eau qui se dégagent vers 400°C activant la transformation en sulfate.

A l'heure actuelle l'analyse élémentaire des sols calcaires pose toujours un problème.

II. OXYDATION PAR VOIE HUMIDE

L'oxydation par voie humide consiste en un traitement de l'échantillon dans un milieu liquide, à pouvoir oxydant très élevé.

Le bichromate de potasse, additionné d'acide sulfurique concentré, a été un produit préféré depuis 1870 environ. Nombreux sont les auteurs qui ont employé ce mélange. Au début, le gaz carbonique formé lors de cette oxydation était absorbé quantitativement, puis déterminé par l'augmentation du poids de l'absorbant (KNOP, W.F. [3]).

Pour éviter toute erreur, SPRINGER, U. (1928) [4] recommande de faire passer le gaz dans un tube d'oxydation complète (tube chauffé renfermant de l'oxyde de cuivre et du chromate de plomb) avant son passage sur l'absorbant. La méthode ne devient intéressante pour les analyses en série, que lorsque cette fixation quantitative des gaz de la combustion humide est remplacée par

une titration de la quantité de bichromate de potasse, non utilisée pour la réaction, et donc en excès.

C'est vers 1930 que les méthodes titrimétriques s'introduisent (SCHOLLENBERGER [5]). Depuis la dernière guerre mondiale on a essayé à plusieurs reprises de remplacer la titrimétrie par la détermination colorimétrique, soit de la quantité de $K_2Cr_2O_7$ réduite à l'état de Cr trivalent par la matière organique, soit de la quantité de $K_2Cr_2O_7$ ajoutée en excès (GRAHAM [6]), RIEHM-ULRICH [7], WESTERHOF [8], CAROLAN [9], VAN WESEMAEL et LEHR [10], MATON, COTTENIE et VAN DEN HENDE [11]).

Parmi les nombreuses méthodes utilisant le bichromate et l'acide sulfurique comme réactifs pour la combustion humide, celle de WALKLEY et BLACK [12, 13], dont le modus operandi sera donné ci-après, est actuellement de loin la plus répandue. Au fond c'est la méthode de Schollenberger sous une forme améliorée.

Une méthode couramment utilisée en France, en Belgique et aux Pays-Bas est celle d'ISTSCHEREKOW [14] utilisant le permanganate de potasse, additionné d'acide sulfurique, comme oxydant; l'excès de $KMnO_4$ est déterminé après addition d'un excès d'acide oxalique, retitré au moyen de $KMnO_4$.

Pour cette raison nous avons estimé utile de comparer d'abord les résultats de la détermination du carbone obtenus par les deux dernières méthodes (Istscherekow versus Walkley et Black).

Après cette comparaison nous traiterons des améliorations de la méthode Walkley et Black, ce qui nous amènera à discuter la meilleure méthode rapide, actuellement connue(*), notamment la méthode de SPRINGER et KLEE [15]. Au cours de l'exposé nous passerons aussi en revue quelques autres méthodes.

1. Comparaison des méthodes Walkley-Black et Istscherekow

a) Méthode Istscherekow

Telle que prescrite par l'auteur, la technique est la suivante. Une quantité de terre de 0,1 à 0,5 g, suivant la teneur en humus, est traitée par une quantité de permanganate 0,2 N, qui est 2 à 2,5 fois supérieure à celle requise pour l'oxydation de l'humus en présence (en moyenne 25, au maximum 50 ml).

(*) Nous entendons par meilleure méthode rapide, celle dont l'oxydation humide d'échantillons riches en matières organiques est la plus complète. Ainsi nous excluons les méthodes colorimétriques utilisant une courbe de référence pour retrouver un maximum de carbone, malgré une oxydation incomplète. Les méthodes colorimétriques feront l'objet d'une note séparée.

Ensuite on ajoute un volume égal d'eau (25 à 50 ml), puis 2 à 4 ml d'acide sulfurique (1:5) et on fait bouillir doucement pendant 40-50 minutes. La solution est alors décolorée en ajoutant un excès d'acide oxalique, l'excès étant titré à son tour avec une solution titrée de KMnO_4 .

Plusieurs auteurs (MIECZYNSKI [16], SPITHOST [2] e.a.) ont tiré l'attention sur les inconvénients d'un mode opératoire trop peu précis. Le dernier auteur l'a bien mis en évidence par la publication du tableau suivant.

TABLEAU 1
DÉTERMINATION DE LA TENEUR EN HUMUS PAR OXYDATION
AU PERMANGANATE DE POTASSE [2]

Quantité employée d' H_2SO_4 (10%) en ml	Quantité employée de KMnO_4 (0,2N) en ml	Teneur en humus	
		déduite du résultat de l'analyse (%C \times 1,724)	déduite de la perte par calcination
2 (4)	25	1,93 (2,13)	4,3
2 (4)	50	2,32 (2,53)	
2 (4)	75	2,70 (2,91)	
2 (4)	25	1,75 (1,93)	3,0
2 (4)	50	2,16 (2,40)	
2 (4)	75	2,46 (2,62)	
2 (4)	25	1,10 (1,17)	2,0
2 (4)	50	1,33 (1,42)	
2 (4)	75	1,37 (1,43)	
2 (4)	25	0,52 (0,59)	1,0
2 (4)	50	0,70 (0,74)	
2 (4)	75	0,71 (0,79)	

Le mode opératoire, suivi par nous dans cette étude comparative, est le suivant.

A 0,5 g de sol, introduit dans un flacon conique de 300 ml, on ajoute successivement 100 ml d'eau, 5 ml d'acide sulfurique concentré (96 %), 25 ml de KMnO_4 , 0,1 N. Après avoir agité le mélange, on porte à ébullition pendant 15 minutes. Si la solution se décolore, on ajoute encore 25 ml de KMnO_4 , 0,1 N (et éventuellement une troisième fois).

A la solution encore chaude on ajoute 25 ml d'acide oxalique 0,1 N et on titre immédiatement au KMnO_4 0,1 N.

Chaque ml de KMnO_4 correspond à 0,3 mg C.

En supposant l'emploi de 50 ml KMnO_4 , 0,1 N pour 0,5 g de terre,

cela signifie la possibilité théorique d'oxyder $0,3 \times 50 \times 2 = 30$ mg C par g de terre, soit une teneur en carbone de 3 %.

b) *Méthode Walkley et Black*

Le mode opératoire original, dans lequel la titration s'effectue avec le sel de Mohr, $(\text{NH}_4)_2 \text{Fe}(\text{SO}_4)_2$, a été modifié peu après par WALKLEY[13], la titration s'effectuant alors avec du sulfate ferreux. Ce dernier mode opératoire a été suivi.

A 1 g de terre fine (passant le tamis de 0,5 mm) introduit dans un erlenmeyer (flacon conique) de 500 ml, on ajoute 10 ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, N (d'une pipette), puis 20 cc de H_2SO_4 concentré (96 %). Après agitation on laisse reposer 30 minutes. Ensuite on ajoute 200 ml d'eau, 10 ml d'acide phosphorique (85 %) et 1 ml de diphénylamine (0,5 %).

L'excès de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ est titré au FeSO_4 , N.

La couleur vire brusquement d'un bleu pourpré au vert foncé(*). Chaque ml de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ correspond à 3 mg C.

Dans le cas de 10 ml $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, N, pour 1 g de terre, il y a une possibilité théorique d'oxyder $10 \times 3 = 30$ mg C par g de terre, soit 3 % C. Au point de vue pouvoir oxydant théorique les deux méthodes sont donc comparables. D'ailleurs et en principe les deux méthodes ne peuvent s'appliquer que s'il y a excès de réactif oxydant.

c) *Comparaison des deux méthodes*

Suivant les deux modes opératoires décrits ci-dessus, un total de 378 échantillons de sols a été étudié. Chaque détermination a été faite en double, pour chaque mode opératoire(**).

A titre d'exemple nous donnons au tableau 2 quelques résultats(***), choisis de telle façon que la teneur en argile des échantillons augmente. Les résultats donnés expriment la teneur en humus, obtenue en multipliant la teneur trouvée en carbone par l'ancien facteur 1,724. Dans ce tableau nous donnons aussi la teneur en argile, car nous avons voulu examiner simultanément, si la

(*) Lorsque la quantité requise de FeSO_4 est inférieure à 1 ml on recommence l'analyse, mais sur 0,5 ou 0,2 g de terre seulement. Dans ce dernier cas l'échantillon doit être bien homogénéisé par broyage dans un mortier.

(**) Travail analytique fait par M. L. Maes.

(***) Presque tous les tableaux dans cette étude ne donnent qu'une partie des résultats, leur publication complète étant impossible (frais d'impression).

TABLEAU 2

QUELQUES RÉSULTATS DE LA DÉTERMINATION DE LA
TENEUR EN HUMUS

Echantillon	Au $KMnO_4$		Au $K_2Cr_2O_7$		% argile	
	1ère fois	2e fois	1ère fois	2e fois		
56 W 5/1(*)	5/2	1,72	1,67	3,90	4,14	0,9
	5/3	1,37	1,48	2,86	3,05	0,6
	5/4	0,79	0,73	1,32	1,21	0,9
	5/5	0,44	0,58	0,77	0,78	0,9
	5/6	0,57	0,51	0,96	0,86	1,1
	5/6	1,84	2,02	4,11	4,29	2,4
3/1	3/2	1,15	1,16	1,55	1,45	3,9
	3/3	0,76	0,75	0,88	0,94	2,1
	3/4	0,61	0,63	1,09	1,04	2,3
	3/5	0,30	0,31	0,57	0,61	1,4
	3/5	0,15	0,09	0,18	0,22	1,1
	3/5	0,61	0,75	1,58	1,63	4,9
9/2	9/2	0,39	0,34	0,83	0,92	4,7
	9/3	0,64	0,57	0,91	0,85	3,4
	9/3	0,64	0,57	0,91	0,85	3,4
8/1	8/2	1,04	1,12	1,85	1,94	8,3
	8/2	0,63	0,59	1,10	0,98	7,2
	8/3	0,14	0,07	0,36	0,41	7,9
72 E 6/1	6/2	1,33	1,51	2,70	2,75	13,2
	6/2	0,56	0,60	0,86	0,87	14,2
	6/3	0,46	0,45	0,54	0,56	13,1
	6/4	1,27	1,31	0,35	0,35	12,8
	6/5	1,04	0,61	0,40	0,47	12,2
56 W 44/1	44/2	1,76	1,75	3,44	3,47	18,6
	44/2	0,98	1,00	1,01	1,11	19,8
	44/3	0,67	0,66	0,67	0,62	16,5
11 W 6/A	6/B	0,87	0,78	1,28	1,24	20,8
	6/B	0,33	0,41	0,74	0,64	22,8
	6/C	0,34	0,32	0,53	0,53	23,4
	6/D	0,23	0,23	0,48	0,48	20,3
	6/E	0,16	0,17	0,46	0,51	23,8
11 W 4/A	4/B	1,25	1,19	2,60	2,60	31,8
	4/B	0,42	0,36	0,84	0,79	39,0
	4/C	0,35	0,35	0,59	0,59	33,6
	4/D	0,42	0,40	0,71	0,74	34,2
	4/E	1,28	1,29	2,73	2,81	33,9
56 W 43/1	43/2	1,19	1,18	1,19	1,14	9,3
	43/2	0,73	0,48	0,44	0,49	9,0
	43/3	0,33	0,33	0,28	0,27	6,5
	43/4	0,38	0,34	0,28	0,28	6,8

(*) 56 W 5/1 : planchette de la carte pédologique n° 56 W; profil 5; horizon 1.

différence éventuelle entre les deux méthodes n'est pas influencée par la formation d'un complexe organo-minéral, moins facilement oxydable par la plus faible des deux méthodes.

Pour ces 375 déterminations, faites en double, la teneur moyenne en humus trouvée par la méthode au KMnO_4 s'élève à 1,36 % alors qu'elle atteint 2,00 % avec la méthode au $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, soit 50 % de plus.

Dans 58 cas sur 375 la teneur en carbone organique oxydée par le permanganate était supérieure à celle oxydée par le bichromate, soit dans 15 % des cas seulement.

En général les 58 cas signalés ici comme exceptions se rapportent à des teneurs réduites en humus. Nous avons examiné chacune de ces exceptions, et tout particulièrement lorsque la majorité des horizons d'un même profil se comportait ainsi, p.ex. les profils 36, 37, 41, 43 et 44 de la planchette de Wetteren 56 W (sur les 26 horizons 19 étaient « exceptionnels » dans le sens ci-dessus).

Il ne nous a pas été possible d'expliquer ces exceptions, ni par une réserve en chaux carbonatée du profil, ni par une teneur importante en argile, ni par une humidité prononcée du profil.

Le calcul statistique de tous les résultats obtenus, pris dans leur ensemble, permet les conclusions suivantes.

1. Les deux méthodes comparées donnent des résultats différents pour le même sol et cette différence est hautement significative. L'oxydation au bichromate donne pour les échantillons humifères un résultat moyen nettement supérieur à la méthode au permanganate.
2. La nature du sol exerce une influence différente sur chaque méthode. La valeur F trouvée ($F = 53$) est très significative. Une des deux méthodes pourrait alors être insuffisamment oxydant pour détruire certaines matières organiques. Seulement on explique difficilement dans ce cas pourquoi 15 % des échantillons font exception, parmi lesquels des échantillons appartenant à des profils entiers (voir tableau 2, le dernier profil). Le fait qu'une influence due à une teneur élevée en argile n'a pas été constatée ne facilite pas l'explication.
3. La reproductibilité de l'oxydation au bichromate semble supérieure (écart type = 0,047) à celle de l'oxydation au permanganate (écart type = 0,069). Ceci veut donc dire qu'avec la méthode au bichromate on a la certitude (au niveau de 95 %) que les écarts des résultats seront inférieurs à 0,10 % de la moyenne exprimée en humus, alors qu'avec la méthode au permanganate ces écarts seront inférieurs à 0,14 %.

Comme on peut le voir au tableau 4, la reproductibilité de la méthode au bichromate diminue cependant avec l'augmentation de la teneur en matière organique.

Voulant examiner de plus près comment s'exerce l'influence de la nature du sol sur les résultats trouvés, nous avons groupé les sols étudiés suivant leur teneur en argile et leur teneur en carbonate. Les subdivisions introduites ainsi se retrouvent au tableau 3, colonnes 1, 2 et 3. Pour chaque groupe d'échantillons le calcul de l'écart type a été fait séparément.

TABLEAU 3(*)
ÉCART TYPE SUR LA TENEUR EN HUMUS DES
DIFFÉRENTS GROUPES D'ÉCHANTILLONS

% CaCO_3	% argile	Nombre d'échantillons	Ecart type	
			$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (W.B.)	KMnO_4 (Istsch.)
0	0-2	32	0,068	0,068
	2-5	71	0,053	0,070
	5-10	68	0,059	0,073
	10-20	92	0,029	0,074
	20-35	18	0,024	0,065
	> 35	5	0,059(?)	0,030(?)
0,1 à 2	10-20	3	0,019(?)	0,118(?)
	> 20	6	0,040	0,047
2 à 5	10-20	12	0,048	0,060
	20-35	10	0,059	0,037
	> 35	7	0,038	0,040
> 5	5-10	9	0,025	0,057
	10-20	23	0,058	0,069
	> 20	15	0,036	0,092
Moyenne de tous les échantillons			0,047	0,069

Pour chaque groupe d'échantillons le quotient % carbone- $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ sur % carbone- KMnO_4 a été confronté graphiquement avec la teneur en carbone trouvée au $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Ces résultats sont représentés sur la fig. 2, a, b, c, d, e, pour 5 groupes d'échantillons ne contenant pas de carbonate.

Si le nombre de points sur ces graphiques est suffisamment élevé, on observe :

1. que la variation du quotient est très grande pour les teneurs faibles en humus ($< 0,5\%$ C); il est alors impossible de calculer une valeur moyenne de ce quotient qui soit significative;

(*) Valeurs calculées à deux reprises avec un intervalle supérieur à un mois.

2. que le quotient semble augmenter avec une teneur croissante en humus, dès que la teneur en carbone ($C_{W.B.}^{(*)}$) est supérieure à 0,5 %.

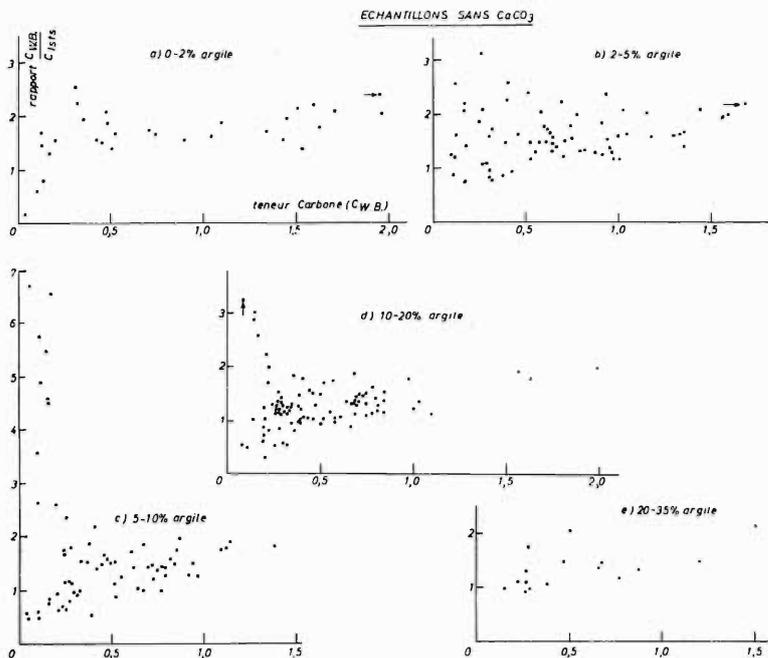


Fig. 2.

Variation du rapport $C_{W.B.}$ sur $C_{Istsch.}$ pour des teneurs croissantes de $C_{W.B.}$ et pour différents groupes d'échantillons de terre avec des teneurs croissantes en argile.

La comparaison des résultats des analyses, toutes faites en double sur les 375 échantillons, ne nous a pas permis de tirer une conclusion bien nette, ni après analyse statistique des résultats dans leur ensemble, ni après analyse statistique des résultats des différents groupes d'échantillons. Une conclusion bien nette par contre a pu être tirée après l'examen du graphique donnant pour tous les échantillons les teneurs en humus (ou en carbone organique), trouvées par les deux méthodes.

On y observe très bien que la teneur $C_{Istsch.}^{(*)}$ se rapproche d'une valeur constante pour une teneur croissante en $C_{W.B.}$.

Comme le montre le graphique (fig. 3) des résultats, il est possible de calculer cette relation; la ligne de régression dans laquelle

$$y = C_{Istsch.} \text{ et } x = C_{W.B.} \text{ a pour formule :} \\ y = 0,829x - 0,163x^2 - 0,004.$$

(*) $C_{Istsch.}$ = % carbone trouvé par la méthode Istscherkow.

$C_{W.B.}$ = % carbone trouvé par la méthode Walkley et Black.

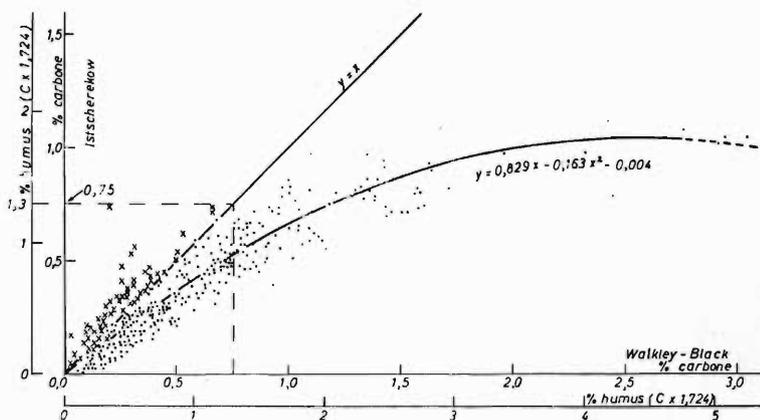


Fig. 3.

Ligne de régression entre les résultats de la méthode Istscherekow et ceux de la méthode Walkley et Black, obtenue avec les données de 375 échantillons (toutes déterminations faites en double).

La régression est valable jusqu'à une teneur $C_{W.B.} = 2,5$. Au delà de cette teneur nous admettons que la valeur $C_{Istsch.}$ reste constante. Si on calcule la régression pour les 276 échantillons pauvres en humus ($C_{W.B.} < 0,75\%$ — voir fig. 3), on trouve la régression suivante :

$$C_{Istsch.} = 0,672 C_{W.B.} + 0,141.$$

La différence entre les deux méthodes est bien fonction de la teneur en humus, ce qui empêche le calcul d'une différence moyenne. En un certain sens l'écart entre les deux méthodes est fonction de la nature du sol, comme le premier calcul statistique sur l'ensemble des échantillons l'avait fait ressortir, notamment si le terme « nature du sol » est pris uniquement dans le sens de pauvre en humus, humifère ou humeux et non pas dans le sens de sol calcaire ou non, sol argileux ou non, sol humide ou non. Dans ce dernier cas en effet l'examen des différents groupes d'échantillons aurait souligné des écarts mieux marqués entre les deux méthodes.

Il est probable qu'avec une teneur croissante en matière organique, certains constituants peu humifiés de cette matière s'accumulent; ces derniers seraient mieux décomposés par le $K_2Cr_2O_7$ que par le $KMnO_4$. Ce dernier oxydant ne détruisant que les constituants les plus facilement oxydables, on trouve un écart type qui varie purement au hasard avec des teneurs croissantes en carbone; le bichromate par contre décompose des produits déjà moins bien humifiés, ce qui explique un écart type de plus en plus grand avec des teneurs croissantes en humus (voir tableau 4). L'écart type en

effet peut être considéré comme étant l'expression de deux facteurs, le premier étant fonction de la technique d'analyse et le second de la nature et de la quantité du matériel oxydé.

TABLEAU 4(*)
ÉCART TYPE POUR DES TENEURS CROISSANTES EN HUMUS(**)

% humus	Méthode $K_2Cr_2O_7$ (W.B.)		Méthode $KMnO_4$ (Istsch.)	
	Nombre d'échantillons	écart type	Nombre d'échantillons	écart type
0-0,5	119	0,027	153	0,054
0,5-1	105	0,040	137	0,084
1-1,5	80	0,056	72	0,069
1,5-2	35	0,064	13	0,054
2-3	28	0,067		
3-6	8	0,119		

Soulignons à ce propos que la méthode au $K_2Cr_2O_7$ (W.B.) se comporte à son tour d'une façon analogue lorsqu'elle est confrontée avec la méthode dite « analyse élémentaire ». Dans ce dernier cas l'inflexion de la courbe s'observe vers une teneur de 7,5 % en carbone organique, alors qu'avec le $KMnO_4$ (Istsch.) elle se situe vers une teneur de 0,75 % C, soit 10 fois moins. Ceci veut dire qu'à partir d'une teneur en matière organique dépassant 3,0 % (***) les chiffres obtenus par la méthode au permanganate perdent toute signification, tout comme ceux obtenus par la méthode au bichromate perdent leur sens pour des sols tourbeux dosant plus de 15 à 20 % de matière organique. Nous reviendrons plus tard sur ce dernier point.

Les méthodes au $K_2Cr_2O_7$ et au $KMnO_4$ ont été confrontées également par MATON, COTTENIE et VAN DEN HENDE[11]. Les modes opératoires étaient identiques, sauf pour la méthode au $KMnO_4$, pour laquelle ces auteurs ajoutaient les réactifs dans un ordre différent et employaient 20 ml de H_2SO_4 30 %, alors que notre addition d' H_2SO_4 était de 5 ml à 96 %. Le mode opératoire suivi par eux est le mode opératoire néerlandais, proposé par le laboratoire de Groningue.

Les auteurs précités ont comparé les résultats pour un nombre restreint d'échantillons, 21 seulement, et dont le choix était peu heureux, du fait que la teneur en humus était toujours peu élevée; en effet 9 échantillons contenaient moins de 1,0 % $C_{W.B.}$, 9 autres

(*) Valeurs calculées à deux reprises avec un intervalle supérieur à un mois.

(**) Les teneurs en humus trouvées étant plus élevées avec le $K_2Cr_2O_7$, le tableau n'est pas identique pour les deux méthodes.

(***) Le tableau 15 montre que 0,75 % $C_{Istsch.}$ correspond environ à 1,5 % C_{total} (ou C par analyse élément.), soit à $1,5 \times 2 = 3$ % mat. organ.[13].

avaient une teneur oscillant entre 1,0 et 1,5 % $C_{w.B.}$ et 3 seulement contenaient entre 1,5 et 1,85 % C. Pour les 12 échantillons dosant plus de 1,0 % C, 11 échantillons avaient une teneur $C_{w.B.}$ supérieure à $C_{Istsch.}$. En ce qui concerne l'échantillon le plus humifère, étudié par ces auteurs, la valeur $C_{w.B.}$ était de 1,82 contre 1,28 $C_{Istsch.}$.

Dans leur ensemble les résultats confirment les nôtres, sans que ces auteurs aient pu trancher la question, la décision dépendant de la confrontation des résultats obtenus sur des échantillons plus humifères.

Les résultats cependant sont complètement différents dans une « étude critique de quelques méthodes pour la détermination de la teneur en humus dans les sols » par MATON, ROTTI et COTTENIE [14]. Le matériel pour cette étude se limite à 7 échantillons provenant d'une même parcelle de sol poldérien, 9 échantillons provenant d'une même parcelle de sol sablo-limoneux et 9 échantillons provenant d'une même parcelle de sol sableux. Ces trois sols différents contiennent en moyenne respectivement 1,56 %, 0,84 % et 0,56 % $C_{w.B.}$, avec des extrêmes oscillant respectivement entre 1,48 et 1,65 %; 0,78 et 0,90%; 0,45 et 0,69 %. Pareil choix de matériaux pour une étude critique nous semble inadmissible.

Quant aux résultats, les teneurs trouvées par la méthode Istscherekow sont *toujours* supérieures à ceux de la méthode Walkley et Black, avec une valeur moyenne totale (exprimée en humus, c.-à-d. % C \times 1,724) de 2,72 contre 1,62 %. Les auteurs expliquent ce résultat par un pouvoir d'oxydation supérieur du $KMnO_4$ vis à vis du $K_2Cr_2O_7$, et citent pour le prouver le potentiel « redox » normal de 1,52 volt du système MnO^-/Mn^{++} contre 1,30 volt pour le système $Cr_2O_7^{--}/2Cr^{+++}$ (à pH = 0). Ayant constaté que dans les échantillons sablonneux la teneur en humus, méthode Istscherekow, est supérieure à la perte par calcination(*), les auteurs estiment que le facteur empirique 1,724 employé pour le calcul de l'humus est peut-être exagéré. Nous savons qu'en réalité ce facteur est plus grand, notamment 2,0 [18].

Un examen des modes opératoires cependant nous révèle que la teneur en humus, méthode Walkley et Black, a été trouvée en multipliant la teneur en carbone par 1,724, alors que la teneur en humus, méthode Istscherekow a été obtenue par le calcul : % C \times 1,724 \times 1,724 ou % C \times 2,97.

Ayant effectué les corrections qui s'imposent, nous trouvons que pour le sol sableux très peu humifère la méthode Istscherekow donne un résultat faiblement supérieur à la méthode Walkley et

(*) Perte par calcination corrigée pour l'humidité, mais non corrigée pour la perte d'eau zéolitique et d'eau de constitution (se dégageant entre 105°C et 500°C).

Black, alors que pour le sol sablo-limoneux les deux résultats sont pratiquement identiques; pour le sol argileux plus humifère le résultat Walkley et Black est nettement supérieur au résultat Istscherekow (fig. 4).

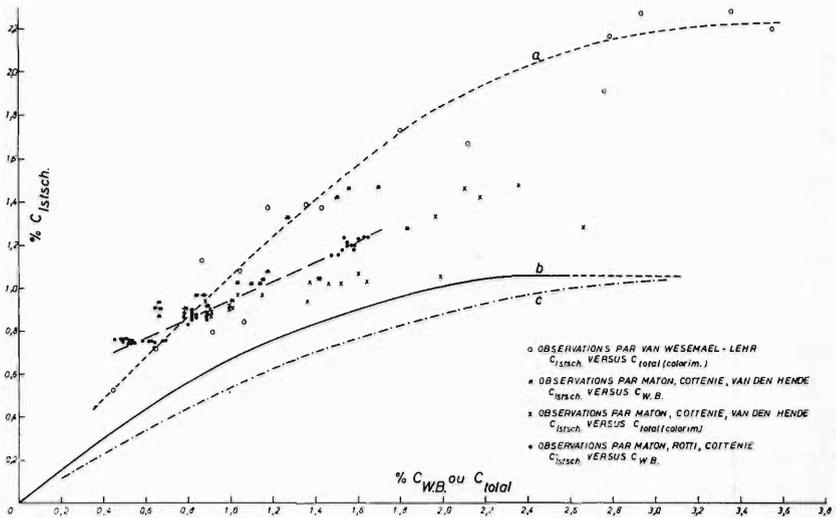


Fig. 4.

Représentation des résultats de 4 études pour l'appréciation de la méthode Istscherekow. Courbe *a* : résultats de Van Wesemaal et Lehr; courbe obtenue avec 16 points (les petits cercles) (mode opératoire néerlandais).

Courbe *b* : résultats de De Leenheer et Van Hove; courbe obtenue avec 375 points (fig. 3) (mode opératoire franco-belge).

Courbe *c* : idem que courbe *b*, mais exprimée vis à vis de carbone total (au lieu de $C_{W.B.}$).

La ligne droite se rapporte aux données de Maton, Rotti et Cottenie (points noirs); les autres données (de Maton, Cottenie, Van den Hende) peuvent difficilement être traduites par une courbe : les points semblent se trouver à deux niveaux (pour tous les résultats de Maton et al. : mode opératoire néerlandais).

Nous avons déjà signalé que sur les 375 échantillons étudiés par nous, 58 avaient une teneur $C_{W.B.}$ inférieure à $C_{Istsch.}$ et que ces exceptions se rapportent à des échantillons ayant des teneurs réduites en humus. Il en est de même des échantillons peu humifères étudiés par MATON, COTTENIE en VAN DEN HENDE [11] : pour les 9 échantillons d'une teneur $C_{W.B.}$ inférieure à 1 %, tous donnent une valeur $C_{W.B.}$ inférieure à $C_{Istsch.}$

CHAMINADE [19] a déjà signalé que le rapport entre la consommation en permanganate et la quantité de matière organique n'est linéaire que jusqu'à 12 ml de $KMnO_4$, 0,1 N.

Ce fait est à son tour signalé par SCHEFFER, WELTE et

HEMPLER[20], qui disent que la consommation de KMnO_4 pour l'oxydation d'un mg d'acide humique est bien plus élevée quand on fait l'analyse d'une quantité réduite d'humus qu'en présence d'une quantité plus grande.

Un second fait sur lequel ces derniers auteurs[20] attirent l'attention est l'extrême sensibilité de la méthode Istscherekow aux circonstances de l'analyse, tels le temps d'oxydation, la température, le vieillissement des extraits humiques. VAN WESEMAEL et LEHR[10] ont également souligné la sensibilité exceptionnelle de la méthode Istscherekow.

Le fait que le mode opératoire suivi par nous et qui nous a été inspiré par CHAMINADE[19] et par LAUDELOUT et D'HOORE[21], n'est pas identique dans tous les détails au mode opératoire néerlandais, explique que ces auteurs ont trouvé des résultats systématiquement supérieurs aux nôtres; il est important de signaler cependant que VAN WESEMAEL et LEHR[10] ont eux aussi trouvé, par une ligne de régression dessinée avec 16 points, que la méthode au permanganate perd toute signification pour des teneurs en matière organique supérieures à 3 %.

A la fig. 4 nous avons représenté la ligne de régression trouvée par Van Wesemael et Lehr (courbe a), ainsi que les résultats trouvés par Maton, Cottenie et Van den Hende (points en étoiles et croix) et ceux trouvés par Maton, Rotti et Cottenie (points simples). Dans ces trois études le mode opératoire est le mode néerlandais.

On y voit très bien que pour des teneurs en carbone organique (total) supérieures à 1,5 %, la méthode au KMnO_4 (mode opératoire néerlandais) perd toute signification, et que les résultats obtenus dans ces trois études sont fortement différents.

Il se peut que le mode opératoire néerlandais pour ces dernières études ait été différent dans un détail(*), ce qui soulignerait encore l'extrême sensibilité de la méthode Istscherekow, qui à notre avis devrait être définitivement rejetée en tant que méthode pour la détermination quantitative du carbone organique des sols.

2. Amélioration de la méthode Walkley et Black et comparaison des nouveaux résultats avec ceux de l'analyse élémentaire

Les teneurs en carbone obtenues par la méthode Walkley et Black ($C_{W.B.}$) peuvent être différentes si on modifie les quantités ajoutées d'acide sulfurique et de bichromate. C'est ce que nous montre le tableau 5, emprunté à J. DEROLEZ[22] dans lequel les

(*) Ce détail pourrait être une différence de température du local, une des études pouvant être faite en hiver, l'autre en été.

teneurs trouvées en carbone sont exprimées en pourcent de la teneur trouvée par analyse élémentaire ($C_{A.E.}$).

De ce tableau il ressort clairement qu'une augmentation de la quantité de bichromate n'augmente pas la teneur trouvée en carbone, si la quantité d'acide est normale (10 à 20 ml), mais seulement si cette dernière est grande (40 ml).

TABLEAU 5

TENEUR EN CARBONE EN % DE LA TENEUR OBTENUE PAR ANALYSE ÉLÉMENTAIRE (RÉSULTATS POUR 3 ÉCHANTILLONS A, B, C DOSANT 1,06%, 2,54% et 4,21% $C_{A.E.}$ (*))

		ml $K_2Cr_2O_7$ →				
		10	15	20	25	30
ml H_2SO_4 ↓						
	10	A	79%	79%	61%	59%
B		77%	61%	48%	44%	42%
C		64%	55%	44%	41%	37%
20	A	82%	81%	78%	76%	68%
	B	84%	77%	70%	67%	66%
	C	76%	81%	69%	64%	63%
30	A	84%	89%	91%	85%	84%
	B	84%	92%	87%	84%	81%
	C	75%	87%	89%	83%	78%
40	A	84%	88%	92%	95%	91%
	B	84%	86%	94%	94%	90%
	C	73%	87%	90%	91%	91%

Théoriquement on peut espérer retrouver 100 % du carbone ($C_{A.E.}$) si les quantités d' H_2SO_4 et $K_2Cr_2O_7$ ajoutées sont suffisamment élevées.

Ceci est irréalisable en pratique, le virement de couleur lors de la titration devenant de moins en moins net avec des quantités croissantes d'acide, sans parler des risques d'accidents de travail qu'entraîne un emploi d'acide sulfurique dans des travaux en série.

D'autre part l'influence de l'acide sulfurique concentré fait songer à l'influence de la température lors de la dilution de cet acide. Le tableau 6 le prouve.

La confrontation des tableaux 5 et 6 confirme que la température joue un rôle considérable dans le rendement exprimé en % de la teneur $C_{A.E.}$.

(*) $C_{A.E.}$ = carbone trouvé par analyse élémentaire.

TABLEAU 6

TEMPÉRATURE DU MILIEU APRÈS ADDITION D'ACIDE SULFURIQUE

Minutes après l'addition de H_2SO_4	ml $K_2Cr_2O_7$		10	15	20	25	30
	ml H_2SO_4	→					
0	10		105°C	91°C	87°C	76°C	71°C
1			70°C	78°C	74°C	63°C	63°C
2			63°C	67°C	63°C	58°C	57°C
3			57°C	61°C	59°C	55°C	52°C
30'			27°C	28°C	29°C	29°C	29°C
0		20		102°C	112°C	108°C	108°C
1			87°C	93°C	92°C	93°C	87°C
2			78°C	83°C	84°C	86°C	80°C
3			70°C	77°C	78°C	80°C	73°C
30'			37°C	38°C	42°C	38°C	37°C
0	30			103°C	111°C	115°C	115°C
1			93°C	103°C	105°C	99°C	102°C
2			84°C	95°C	97°C	92°C	96°C
3			79°C	88°C	90°C	88°C	89°C
30'			39°C	40°C	41°C	38°C	39°C
0		40		95°C	103°C	114°C	119°C
1			86°C	100°C	104°C	109°C	109°C
2			79°C	94°C	98°C	99°C	101°C
3			73°C	89°C	93°C	94°C	98°C
30'			32°C	42°C	43°C	41°C	44°C

Pour avoir confirmation de ce fait, l'analyse a été refaite en respectant toutes les prescriptions du mode opératoire de Walkley et Black, sauf la température, qui est maintenue à environ 100°C (au bain-marie) ou à 120°C (au thermostat).

Le tableau 7 donne quelques résultats exprimés en pourcent du résultat de l'analyse élémentaire. Les échantillons portés à ébullition ont été chauffés au bain-marie pendant un laps de temps variant de 30 minutes à 8 heures; d'autres ont été mis au thermostat (à 120°C) pendant 1 1/2 heure.

Un échauffement à 100°C pendant une demi-heure suffit donc pour atteindre en moyenne 104 % du résultat de l'analyse élémentaire. Malheureusement les écarts sont très grands (91 à 121 %), même pour les échantillons pauvres en humus; les écarts sont encore plus grands (73 à 125 %) pour les échantillons traités à 120°C.

TABLEAU 7

INFLUENCE DE L'ÉCHAUFFEMENT SUR LES RÉSULTATS DE LA DÉTERMINATION DU CARBONE (WALKLEY ET BLACK) EXPRIMÉS EN % DE LA TENEUR TROUVÉE PAR ANALYSE ÉLÉMENTAIRE

Numéro	Teneur C (analyse élément.) (a)	Teneur relative en % de (a)							
		temp.	100°C (échauffement au bain-marie)					120°C	
		ord.	30'	1 h	1½ h	5 h	8 h	1½ h	
54 E 4/A	0,74	65%	91%	93%	96%	112%	118%	96%	
70 E 1/2	0,99	97%	121%	123%	129%	142%	142%	121%	
54 E 33/A	1,01	76%	91%	94%	101%	121%	122%	90%	
54 E 11/A	1,14	79%	95%	100%	103%	112%	118%	73%	
38 E 17/A	1,18	94%	115%	114%	125%	130%	131%	108%	
38 E 28/A	1,20	73%	93%	95%	98%	112%	117%	94%	
70 E 2/2	1,27	85%	98%	102%	106%	115%	126%	94,5%	
38 E 10/A	1,38	88%	108%	109%	110%	118%	123%	125%	
70 E 2/1	1,42	98%	116%	120%	123%	132%	135%	105%	
38 E 8/A	1,90	98%	109%	113%	117%	123%	123%	103%	
Moyenne de 10 détermin.	100%	87%	104%	106%	111%	122%	125%	101%	

Le tableau 7 est intéressant en ce sens qu'il nous permet de nous faire une idée approximative des résultats qu'on obtiendra probablement en modifiant la température à laquelle se fait l'oxydation de la matière organique des sols.

Nombreux en effet sont les modes opératoires proposés, utilisant tous le bichromate en milieu sulfurique, mais ne différant essentiellement entre eux que par la température plus ou moins élevée ou par le temps plus ou moins prolongé de cette attaque; ainsi nous citons, à titre d'exemple,

- TIURIN-ANNE, qui prescrivent une ébullition pendant 5 minutes après avoir ajouté les réactifs[23];
- RAUTERBERG et KREMKUS, qui proposent une oxydation humide au bain-marie pendant 3 heures[24];
- RIEHM et ULRICH, qui proposent une attaque pendant 1 1/2 h dans un thermostat à 120°C[7];
- DEGTJAREFF, qui a fait la suggestion de faire digérer pendant 10 minutes à une température de 165°C (bain d'acide sulfurique concentré)[25].

Il est évidemment impossible de comparer toutes ces méthodes avec un nombre suffisamment élevé et varié d'échantillons. La suggestion de Degtjareff a cependant été retenue et nous avons finalement appliquée la méthode Walkley et Black en respectant tous les détails du mode opératoire, sauf celui de la température, qui

TABLEAU 8

PARTIE DES 68 RÉSULTATS OBTENUS PAR L'ANALYSE ÉLÉMENTAIRE ($C_{A.E.}$),
LE MODE OPÉRATOIRE WALKLEY ET BLACK MODIFIÉ ($t^{\circ} = 160^{\circ}C$) ET LA
MÉTHODE SPRINGER ET KLEE ($C_{S.K.}$)

N ^o échantillon	$C_{A.E.}$ (*) (a)	$C_{W.B. 160^{\circ}C}$		Moyenne % C	$C_{S.K.}$ (**) (d)
		(b)		W.B. 160 ^o C (c)	
M 23/B	22,02	25,84	26,63	26,24	25,91
M 23/A	13,58	14,57	13,73	14,15	14,56
M 65/F	37,64	41,64	39,54	40,59	39,89
M 2/A	2,20	1,96	1,91	1,94	2,02
M 11/A	1,53	1,46	1,41	1,44	1,45
M 13/A	2,28	1,77	1,82	1,44	1,92
M 16/A	1,41	1,34	1,28	1,31	1,38
M 12/A	4,46	4,28	4,95	4,27	4,36
M 29/A	3,81	3,87	3,75	3,81	3,82
M 30/A	4,73	5,02	4,76	4,89	4,85
M 29/A	3,23	3,48	3,39	3,44	3,50
M 42/A	4,69	5,21	4,71	4,96	5,04
M 68/A	4,38	4,98	4,94	4,96	4,96
M 71/A	6,44	7,44	6,95	7,20	7,35
M 74/A	6,94	7,08	6,72	6,90	6,65
M 36/F	40,25	42,68	40,92	41,80	43,88
M 62/E	41,62	45,50	43,73	44,62	44,41
6E 32/1	3,86	3,57	3,84	3,61	3,66
48/2	3,26	3,54	3,36	3,45	3,45
48/4	4,93	5,11	4,31	4,71	5,13
6W 3/1	5,80	5,66	5,97	5,82	5,84
17/1	3,17	2,87	2,93	2,90	3,17
7W 3/1	3,61	4,08	3,61	3,85	3,92
3/2	1,01	1,14	1,14	1,14	1,12
3/3	5,37	5,22	5,12	5,17	5,04
7W 15/1	5,80	5,90	5,65	5,78	5,76
19/1	3,00	2,98	2,80	2,89	2,84
19/2	2,92	2,99	3,05	3,02	3,01
19/3	13,23	14,40	13,36	13,88	13,98
19/4	6,38	6,97	6,84	6,91	6,48
7W 23/1	6,66	7,50	8,13	7,81	6,86
23/2	4,69	4,42	4,94	4,68	5,86
23/4	26,75	37,79	33,32	35,60	31,32
30/1	2,52	2,75	2,75	2,75	2,52
37/4	3,06	3,31	3,28	3,30	3,36
54E 8/A	2,80	2,89	2,69	2,79	2,70
9/A	3,52	3,48	3,73	3,60	3,57
30/B	3,14	2,76	2,80	2,78	3,97
30/C	12,06	15,86	15,00	15,43	15,28
30/D	19,58	26,40	25,95	26,18	26,45

(*) $C_{A.E.}$: moyenne de 2 ou 3 déterminations; voir tableau 10.

(**) $C_{S.K.}$: moyenne de 2, 3 ou 4 déterminations; voir tableau 10.

fut portée à 160°C environ. Après l'addition de 10 ml $K_2Cr_2O_7$, N et de 20 ml H_2SO_4 conc., l'attaque eut lieu pendant 10 minutes dans un bain d'huile à une température de 157 à 160°C.

C'est cette modification de la méthode qui donne entièrement satisfaction, quand on compare les résultats à ceux de l'analyse élémentaire, ce que nous montre le tableau 8 (confrontation des colonnes *a* et *c*).

En nous basant sur ces données, nous avons calculé la corrélation entre les deux méthodes et nous trouvons la ligne de régression suivante (pour 68 échantillons)

$$C_{W.B. (160^\circ C)}^{(*)} = 1,12 C_{A.E.} - 0,20.$$

Les fig. 5 et 6 représentent ce rapport, la première pour tous les résultats, la dernière pour les données inférieures à 10 % C (fig. 6 étant seulement un détail de la fig. 5).

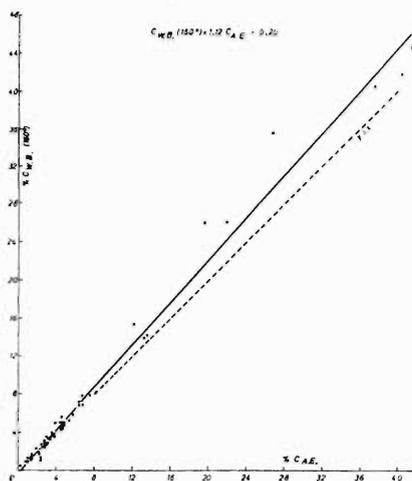


Fig. 5.

Les résultats de l'oxydation humide (méthode Walkley et Black), mais à une température de 160°C, se rapprochent de ceux de l'analyse élémentaire.

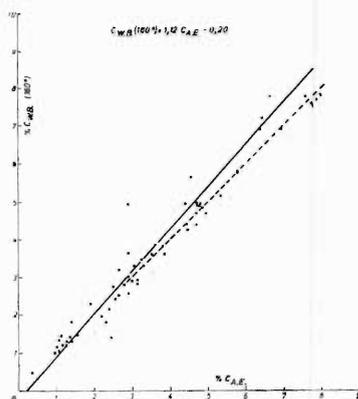


Fig. 6.

Détail de la fig. 5 : résultats obtenus avec des sols dosant moins de 10% C.

Cette méthode améliorée donne donc en moyenne des résultats supérieurs d'environ 12 % à ceux de la méthode par analyse élémentaire, et à partir de 10 % C tous les résultats trouvés sont toujours supérieurs à ceux de la méthode de référence.

(*) $C_{W.B. (160^\circ C)}$: carbone trouvé par le mode opératoire Walkley et Black (température portée à 160°C).

Si nous calculons la ligne de régression pour les 59 échantillons dosant moins de 10 % C, nous trouvons un rapport plus étroit, avec les résultats de l'analyse élémentaire, notamment :

$$C_{W.B. (160^{\circ}C)} = 1,045 C_{A.E.} - 0,052.$$

En ce qui concerne la reproductibilité de la méthode, celle-ci ne peut être calculée en partant de la teneur trouvée en carbone (% C), du fait que la quantité de sol pesée pour l'analyse varie suivant la richesse en matière organique. Nous avons alors fait le calcul sur la base de la quantité de carbone exprimée en mg et présente dans la quantité de terre pesée. L'écart type trouvé est 1,177 mg C.

L'erreur exprimée en pourcent, pour un niveau de sécurité de 95 %, et calculée en fonction de la quantité de terre pesée, atteint les valeurs présentées au tableau 9.

TABLEAU 9

ERREUR (%) DE LA MÉTHODE WALKLEY ET BLACK MODIFIÉE ($t^{\circ} = 160^{\circ}C$) EN FONCTION DE LA QUANTITÉ DE TERRE PESÉE POUR L'ANALYSE

Quantité pesée en g	Erreur % (sécurité 95%)
2	0,12 %
1,5	0,16 %
1,0	0,24 %
0,8	0,29 %
0,6	0,39 %
0,4	0,59 %
0,2	1,18 %

Entretemps une nouvelle technique a été publiée, dont nous parlerons ci-après, notamment la méthode de SPRINGER et KLEE [15]. Le tableau 8 précité permet la comparaison des résultats, obtenus par cette méthode, respectivement avec ceux obtenus par la méthode Walkley et Black modifiée (160°C) et ceux de l'analyse élémentaire.

Pour les 68 échantillons étudiés nous trouvons :

$$C_{W.B. (160^{\circ}C)} = 1,010 C_{S.K.} - 0,05.$$

Calculé pour les 59 échantillons dosant moins de 10 % C, nous trouvons :

$$C_{W.B. (160^{\circ}C)} = 1,011 C_{S.K.} - 0,064.$$

La valeur de la méthode Springer et Klee est pratiquement identique à celle de la méthode W.B., telle qu'elle a été modifiée par nous, ($t^{\circ} = 160^{\circ}C$). Elle est même légèrement supérieure, comme le fait ressortir la comparaison des lignes de régression avec les résultats de l'analyse élémentaire pour les échantillons dosant

moins de 10 % C (voir ci-après, § 3) et jouit de la priorité de publication. Pour cette raison nous avons adopté la méthode Springer et Klee pour toutes les études de la matière organique, où on veut déterminer le rapport C/N ou le rapport mat. org./C.

Dans ces deux cas tout rapport doit être rejeté comme inexact si la teneur en C, supérieure à 10 %, n'a pas été déterminée par analyse élémentaire ou par oxydation au bichromate en milieu sulfurique à une température de 160°C.

3. La méthode Springer et Klee; comparaison avec l'analyse élémentaire et avec la méthode Walkley et Black (normale et modifiée)

Le mode opératoire pour cette analyse est le suivant : une quantité de terre, de 0,15 à 5 g suivant la richesse en matière organique, est pesée et mise dans un ballon jaugé, dans lequel se trouvent $2 \pm 0,001$ g $K_2Cr_2O_7$ (*). La quantité de terre pesée est telle qu'on tâche d'avoir environ 80 mg carbone dans l'échantillon à analyser, sans qu'on dépasse cependant 5 g de terre.

Au mélange de terre et de $K_2Cr_2O_7$ on ajoute 40 ml d'une solution contenant 270 ml d'eau et 350 ml de H_2SO_4 conc. Cette solution moyennement diluée est préparée d'avance et n'est ajoutée que lorsqu'elle s'est refroidie à la température normale ($\pm 20^\circ C$). Le contenu du ballon est porté à ébullition le plus tôt possible sur un bec bunzen (tout en évitant les risques d'un grillage local par une flamme trop grande), puis maintenu pendant 10' à une température de 157 à 160°C, par immersion dans un bain d'huile. Après 10' on laisse refroidir hors du bain, et on remplit le ballon à 200 ml exactement. On prélève ensuite 50 ml à la pipette, puis on titre au $FeSO_4$ ($\pm 0,5$ N) après addition de 10 ml H_3PO_4 conc. et 0,5 ml diphénylamine (indicateur). Le calcul du carbone se fait en partant de la différence de titration avec un blanc.

Le tableau 10 donne un aperçu des résultats des déterminations faites et des résultats obtenus pour une vingtaine d'échantillons.

Pour l'ensemble de tous les échantillons étudiés (68) la concordance avec la méthode par analyse élémentaire s'exprime par la formule :

$$C_{S.K.} = 1,11 C_{A.E.} - 0,15.$$

Si l'on tient compte uniquement des résultats des échantillons dosant moins de 10 % C on trouve pour les 59 échantillons une concordance quasi parfaite :

$$C_{S.K.} = 1,027 C_{A.E.} + 0,035.$$

(*) Uniquement pour des raisons d'économie les auteurs ont proposé $Na_2Cr_2O_7$ au lieu de $K_2Cr_2O_7$.

TABLEAU 10

QUELQUES RÉSULTATS DES TENEURS EN C TROUVÉES PAR DIFFÉRENTES MÉTHODES

N°	Analyse élémentaire				Springer & Klee					Walkley & Black				% mat. org.	
	1x	2x	3x	Moyenne	1x	2x	3x	4x	Moyenne	1x	2x	3x	Moyenne	H ₂ O ₂ (*) (anal. méch.)	perte par calcin.
M 23/B	23,89	20,98	21,18	22,02	25,11	25,87	27,70	24,95	25,91	12,94	12,94	11,78	12,55	57,75	seulement pour sols sableux non calcaires
M 23/A	13,74	13,45	13,55	13,58	12,64	14,76	15,02	15,83	14,56	9,56	9,45		9,50	35,00	
M 2/A	2,18	2,22		2,20	2,02			2,05	1,98	1,59	1,58		1,59	3,10	
M 12/A	4,45	4,47		4,46	4,32			4,47	4,28	2,99	3,63		3,31	9,95	
M 29/A	3,81	3,81		3,81	3,81			4,47	4,28	2,70	3,03		2,86	8,95	
M 30/A	4,77	4,69		4,73	4,96			4,85	4,75	3,35	3,99		3,67	9,95	
M 68/A	4,39	4,37		4,38	4,98	5,04	5,05	4,75	4,96	3,99	3,99	3,96	3,98	12,25	
M 71/A	6,41	6,47		6,44	6,87	7,14	8,15	7,24	7,35	6,39	4,80		5,60	16,20	
M 74/A	6,96	6,93		6,94	6,65			6,47	6,82	4,81				17,85	
7W 15/1	5,85	5,76		5,80	5,29	5,88	6,03	5,85	5,76	5,07	4,98		5,03	12,20	
7W 19/1	2,82	3,09	3,08	3,00	2,81	2,79	2,87	2,86	2,84	2,37	2,30		2,34	4,00	6,10
7W 19/3	13,58	12,25	13,84	13,23	14,20		13,53	14,21	13,98	10,09	9,83		9,96	28,10	5,14 8,80
7W 30/1	2,39	2,73	2,44	2,52	2,66	2,80	2,26	2,38	2,52	2,48				4,60	
7W 41/2	4,59	4,56		4,57	4,96			4,89	4,76	3,47	3,15		3,31	6,90	
54E 30/C	12,34	11,78		12,06		14,16	14,65	17,02	15,28	11,57	9,60		10,58	33,08	
54E 49/A	7,26	7,87	7,71	7,61	8,28		7,74	8,43	28,11	5,76	5,33		5,50	17,65	
127W 8/1	3,34	3,30		3,32	3,34	3,38	3,32	3,34	3,35	3,20	2,58		2,80	5,25	
114E 4/1	2,63	2,66		2,64	2,55		2,46	2,60	2,54	2,10	2,00		2,05	4,85	
M 65/F	38,18	37,00	37,74	37,64	38,87		40,31	40,49	39,89	10,84	16,20	11,63	12,89	(tourbe)	(tourbe) (tourbe) (tourbe)
M 36/F	40,17	40,33		40,25	42,20		44,66	43,71	43,88	14,27	13,42	13,65	13,78		
M 62/E	41,70	41,54		41,62	44,37		44,08	44,78	44,41	13,63	11,76	12,23	12,53		

(*) Perte de poids constatée lors de l'analyse mécanique par suite du traitement à H₂O₂, 30%, tenant compte de la teneur en carbonate et de l'humidité (perte d'eau à 105°C) des échantillons séchés à l'air [18].

Avec les données à notre disposition nous avons pu calculer également les lignes de régression entre $C_{A.E.}$ et $C_{W.B.}$ et entre $C_{S.K.}$ et $C_{W.B.}$.

Nous avons trouvé successivement (pour les échantillons dosant moins de 10 % $C_{A.E.}$)

$$\text{d'une part : } C_{W.B.} = 0,758 C_{A.E.} + 0,122$$

$$\text{d'autre part : } C_{W.B.} = 0,736 C_{S.K.} + 0,102.$$

Ce qui saute aux yeux c'est :

- d'une part la concordance parfaite entre l'analyse élémentaire et la méthode Springer et Klee, même pour les échantillons humiques et tourbeux;
- d'autre part le fait que la méthode (normale) Walkley et Black ne détermine que 75 % environ du carbone total pour les échantillons dosant moins de 10 % C, et qu'elle perd tout intérêt pour des échantillons plus humifères.

Partant des résultats obtenus, nous avons calculé les rapports

$$\frac{C_{A.E.}}{C_{S.K.}}, \frac{C_{A.E.}}{C_{W.B.}}, \frac{C_{S.K.}}{C_{W.B.}} \text{ pour tous les échantillons étudiés, sauf les rapports } \frac{C_{A.E.}}{C_{W.B.}} \text{ et } \frac{C_{S.K.}}{C_{W.B.}} \text{ lorsque la teneur en carbone dépasse 10 \% .}$$

Le tableau 11 donne les résultats.

Nous croyons avoir tranché ainsi la question de la meilleure technique rapide pour la détermination quantitative du carbone organique des sols; la réponse est formelle : une oxydation humide pendant 10 minutes au bichromate en milieu sulfurique et à une température de 160° C, et pour laquelle nous proposons le mode opératoire de Springer et Klee, donne des résultats quasi identiques à ceux de l'analyse élémentaire.

Il importe de répéter ici que cette conclusion vise la meilleure technique d'oxydation par voie humide, à l'exclusion des méthodes colorimétriques dans lesquelles les résultats sont obtenus par comparaison avec une courbe de référence. Dans une étude critique de ces méthodes il faut en effet envisager d'une part la valeur de l'oxydation par voie humide, d'autre part la valeur de la courbe de référence employée.

A la suite de ces résultats nous avons définitivement adopté la méthode Springer et Klee, et nous l'avons appliquée à un très grand nombre d'échantillons, p.ex. à tous les échantillons constituant les profils de référence pour une étude agro-pédologique de la région

TABLEAU 11

RELATION ENTRE LES TENEURS EN C, DÉTERMINÉES PAR LES
TROIS MÉTHODES
(ANALYSE ÉLÉMENTAIRE, SPRINGER ET KLEE, WALKLEY ET BLACK)

N ^o	$C_{E.A.}$	$C_{S.K.}$	$C_{E.A.}$
	$C_{W.B.}$	$C_{W.B.}$	$C_{S.K.}$
M 23/B			0,85
M 23/A			0,93
M 65/E			0,94
M 2/A	1,38	1,27	1,09
M 11/A	1,35	1,28	1,06
M 13/A	1,84	1,35	1,19
M 16/A	1,33	1,30	1,02
M 12/A	1,35	1,32	1,02
M 29/A	1,33	1,34	1,00
M 30/A	1,29	1,32	0,98
M 39/A	1,23	1,34	0,92
M 42/A	1,13	1,22	0,93
M 68/A	1,10	1,25	0,88
M 71/A	1,15	1,31	0,88
M 74/A	1,44	1,38	1,04
M 36/F			0,92
M 62/E			0,94
6E 9/1	1,14	1,32	0,87
6E 22/1	1,32	1,37	0,96
6E 32/1	1,35	1,28	1,05
6E 48/2	1,23	1,31	0,94
6E 48/4	1,23	1,28	0,96
6W 3/1	1,08	1,09	0,99
6W 17/1	1,29	1,29	1,00
7W 3/1	1,30	1,42	0,92
7W 3/2	1,63	1,81	0,90
7W 3/3	1,41	1,32	1,07
7W 15/1	1,15	1,15	1,01
7W 19/1	1,28	1,21	1,06
7W 19/2	1,22	1,26	0,97
54E 9/A	1,31	1,33	0,99
54E 30/B	1,52	1,44	1,06
54E 30/C			0,85
54E 30/D			0,74
54E 49/A	1,38	1,47	0,94

TABLEAU 11 (suite)

N ^o	$C_{E.A.}$	$C_{S.K.}$	$C_{E.A.}$
	$C_{W.B.}$	$C_{W.B.}$	$C_{S.K.}$
54E 49/B	1,28	1,31	0,97
127E 26/1	2,61	1,98	1,32
127E 14/1	1,42	1,33	1,07
127W 5/1	1,36	1,39	0,98
127W 8/1	1,19	1,20	0,99
127W 48/1	1,31	1,30	1,01
114E 4/1	1,29	1,32	1,04
70E 1/1	1,02	1,31	0,78
70E 4/1	1,06	1,32	0,81
70E 5/1	1,56	1,38	0,84
147E 38/2	1,45	1,43	1,02
147E 38/3	1,39	1,20	1,16
7W 30/1	1,02	1,02	1,00
7W 37/4	1,09	1,20	0,91
7W 41/2	1,38	1,47	0,94
38E 8/A	1,12	1,35	0,83
54E 8/A	1,37	1,32	1,04
7W 19/3			0,95
7W 19/4	1,17	1,19	0,98
7W 23/1	1,57	1,62	0,97
7W 23/2	1,36	1,70	0,80
7W 23/4	—	—	0,85
7W 41/3	1,38	1,49	0,93
54E 11/A	1,23	1,27	0,97
54E 33/A	1,26	1,34	0,94
38E 17/A	1,63	2,12	0,77
38E 28/A	0,51	0,52	0,99
38E 44/A	1,29	1,28	1,01
70E 1/2	0,98	1,21	0,81
70E 2/1	0,98	1,21	0,81
70E 2/2	1,19	1,28	0,93
70E 4/2	1,06	1,52	0,70
70E 5/2	0,83	1,29	0,64
Moyenne	1,29	1,34	0,96
Ecart type	0,21	0,27	0,11

poldérienne. Les fig. 7 et 8 donnent une représentation graphique pour 325 résultats; ces deux figures sont le prolongement l'une de l'autre; la ligne de régression qu'elles représentent s'exprime par la formule du second degré :

$$y = 0,858x - 0,013x^2 + 0,02$$

dans laquelle $x = C_{S.K.}$ et $y = C_{W.B.}$

Cette courbe a été obtenue avec les résultats de :

182 échantillons renfermant	0 à 2 %	$C_{S.K.}$
46 » »	2 à 5 %	$C_{S.K.}$
46 » »	5-10 %	$C_{S.K.}$
51 » »	> 10 %	$C_{S.K.}$

L'allure de la courbe est analogue à celle qui représente le rapport entre les résultats $C_{Istsch.}$ et $C_{W.B.}$, et qui est représentée par la fig. 3.

Ainsi il est bien mis en évidence que la méthode Walkley et Black perd tout intérêt pour des teneurs en C supérieures à 10 % ($C_{S.K.}$ ou $C_{A.E.}$). Pour les sols ayant une teneur C inférieure à 10 %

nous pouvons calculer le rapport moyen $\frac{C_{S.K.}}{C_{W.B.}}$ et nous trouvons 1,33 avec un écart type égal à 0,19.

Ce rapport $\frac{C_{S.K.}}{C_{W.B.}}$ n'est pas rigoureusement constant, mais varie avec la richesse en carbone, comme le montrent le graphique de la fig. 9 et le tableau 12.

TABLEAU 12
RAPPORT DES VALEURS $C_{S.K.}$ et $C_{W.B.}$ EN FONCTION DE LA
TENEUR EN CARBONE

Nombre d'échantillons	Teneur en carbone $C_{S.K.}$	Rapport moyen $C_{S.K.}/C_{W.B.}$	Ecart type	Ecart type de la moyenne
121	0-1,49	1,35	0,22	0,017
97	1,50-2,99	1,28	0,18	0,024
74	3,00-10,00	1,31	0,13	0,016

Au moyen du « t-test » nous avons trouvé que la différence entre les rapports moyens 1,35 et 1,28 est significative pour 96 %, alors que les différences entre les rapports 1,35 et 1,31 et entre 1,31 et 1,28 ne sont plus significatives (probabilité de 70 et 86 % respectivement).

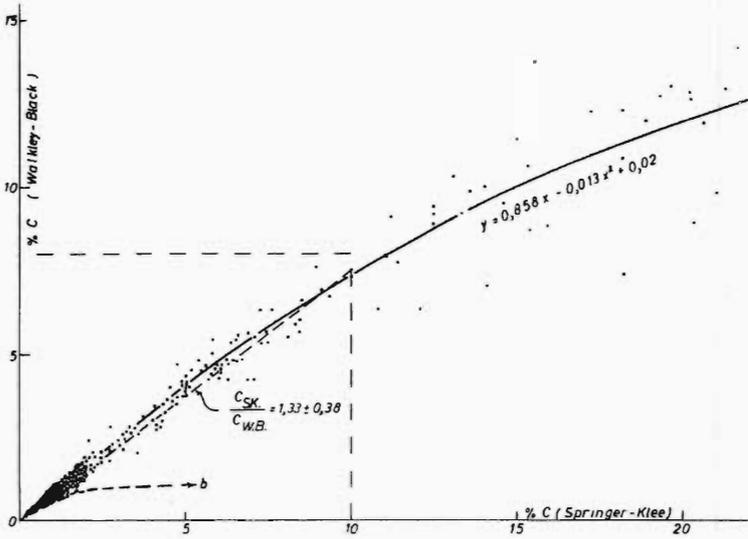


Fig. 7.

La méthode Springer et Klee vaut l'analyse élémentaire. La méthode Walkley et Black perd toute valeur pour des sols dosant plus de 20% C; ses résultats méritent peu de confiance pour des sols dosant 10-20% C. Ligne de régression avec 325 échantillons.

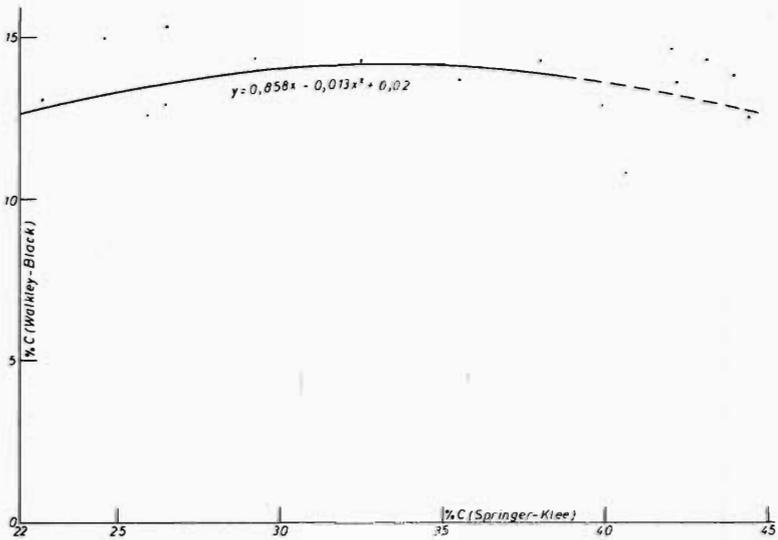


Fig. 8.

Cette courbe est la continuation de la courbe fig. 7, pour des sols franchement tourbeux dosant plus de 22% C.

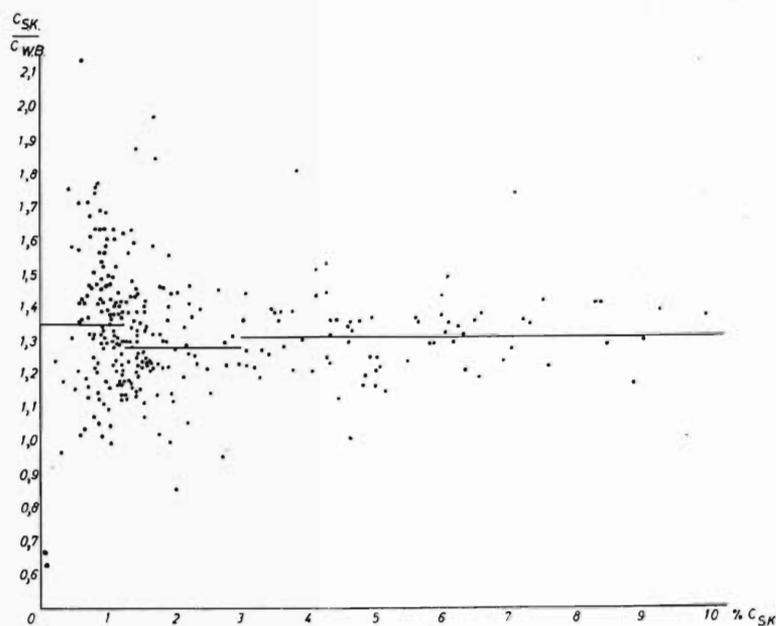


Fig. 9.

Connaissant la valeur $C_{W.B.}$ (carbone obtenu par la méthode Walkley et Black) il est possible de calculer la teneur totale en C (C total ou $C_{S.K.}$) quand on connaît le rapport $C_{S.K.}/W.B.$ avec son écart type. Ce rapport semble varier légèrement avec la richesse en carbone.

En général on peut accepter le rapport général $\frac{C_{S.K.}}{C_{W.B.}} = 1,33$ pour

tous les échantillons avec une richesse en carbone organique inférieure à 10 %. Ceci veut dire qu'on peut admettre que chaque ml de $K_2Cr_2O_7$ utilisé dans la méthode Walkley et Black correspond à 4 mg au lieu de 3 mg C. De cette façon on redresse automatiquement les résultats obtenus, au même niveau que ceux obtenus par l'analyse élémentaire ou l'analyse Springer et Klee.

Influence d'un broyage de l'échantillon

La teneur en carbone trouvée par la méthode Walkley et Black peut être augmentée lorsque l'échantillon qui a été normalement pulvérisé est soumis à un broyage supplémentaire au mortier d'agate avant son analyse[26].

Nous avons voulu vérifier si la même observation peut être faite pour la méthode Springer et Klee. Pour les échantillons choisis à cet effet, l'analyse Walkley et Black a été refaite simultanément.

TABLEAU 13

INFLUENCE D'UN BROYAGE SUPPLÉMENTAIRE DES ÉCHANTILLONS

	échantillon pulvérisé normalement (*)	%C _{S.K.}			Différence	%C _{W.B.}		
		après broyage supplémentaire				pulvérisé normalement	après broyage supplémentaire	Différence
		1×	2×	moyenne				
M 22/A	13,05	13,11	15,06	14,60	+1,55	7,79	8,70	+0,91
M 22/B	14,14	14,65	14,64	14,65	+0,51	7,03	8,55	+1,52
M 22/C	26,41	26,72	26,60	26,66	+0,25	12,94	19,50	+6,56
M 65/F	39,89	42,32	41,90	42,11	+2,22	12,89	14,25	+1,31
M 83/A	10,81	10,01	9,84	9,93	-0,88	6,25	7,88	+1,63
M 70/E	41,96	41,57	42,27	41,92	-0,04	14,59	22,65	+8,06
M 62/A	10,64	10,54	10,57	10,56	-0,08	7,18	8,40	+1,22
M 13/A	1,92	1,85	1,76	1,81	-0,11	1,24	1,23	-0,01
M 12/A	4,36	4,46	4,45	4,46	+0,10	3,31	3,72	+0,41
M 68/A	4,96	5,00	5,04	5,02	+0,06	2,68	3,60	+0,92
M 16/A	1,38	1,42	1,42	1,42	+0,04	1,06	1,04	-0,02
M 36/F	43,88	44,34	46,76	45,55	+1,67	13,78	19,65	+5,87
M 62/E	44,41	46,30	45,55	45,93	+1,52	12,53	20,40	+7,87
59E 1/4	0,73	0,71	0,70	0,71	-0,02	0,50	0,51	+0,01
59E 1/6	0,07	0,13	0,08	0,10	+0,03	0,08	0,08	+0,00
59E 1/2	1,55	1,40	1,47	1,44	-0,11	1,40	1,05	-0,35
59E 2/3	12,45	12,07	12,24	12,16	-0,29	8,86	9,98	+1,12
59E 2/4	13,27	13,83	13,12	13,48	+0,21	9,24	8,48	-0,73
59E 3/1	1,20	1,15	1,17	1,16	-0,04	1,03	0,86	-0,17
59E 4/1	1,27	1,24	1,21	1,23	-0,04	1,08	1,04	-0,04
59E 5/2	6,26	6,53	6,37	6,45	+0,19	4,21	4,59	+0,38
59E 5/4	21,23	23,54	22,98	23,26	+2,03	12,85	15,75	+2,90
59E 5/5	11,55	11,97	12,51	12,24	+0,69	7,88	8,70	+0,82
59E 7/3	1,22	1,19	1,09	1,14	-0,08	0,89	0,87	+0,02
59E 7/5	0,47	0,51	0,40	0,46	-0,01	0,36	0,63	+0,27
59E 8/6	22,71	22,00	24,44	23,22	+0,51	13,14	14,10	+0,96
59E 9/2	4,27	4,26	4,29	4,28	+0,01	2,79	2,97	+0,18
59E 9/5	1,23	1,30	1,29	1,30	+0,07	1,10	0,32	-0,78
59E 10/1	6,05	6,59	6,41	6,50	+0,45	4,42	4,89	+0,47
59E 10/3	1,03	0,97	0,96	0,97	-0,06	0,75	0,65	-0,10
59E 14/1	1,78	2,35	2,43	2,39	+0,61	1,76	1,79	+0,03
29W 8/3	12,51	15,21	14,15	14,68	+2,17	8,93	11,40	+2,47
97W 1/4	11,19	11,07	12,02	11,55	+0,36	9,08	9,30	-0,22
7W 1/1	12,50	12,60	12,33	12,47	-0,03	9,19	13,05	+3,86
7W 3/2	1,09	1,05	1,11	1,08	-0,01	0,62	0,82	+0,20
7W 19/3	13,98	14,72	14,13	14,43	+0,45	9,96	9,98	+0,02
7W 33/3	15,50	17,30	17,37	17,34	+1,84	13,65	14,25	+0,60
41W 41/2	13,60	13,43	13,65	13,55	-0,05	9,86	9,75	-0,11
41W 46/2	19,66	23,82	22,35	23,09	+3,43	14,70	15,00	+0,30
54E 30/C	15,28	18,02	17,76	17,39	+2,11	11,18	13,05	+1,13

(*) Moyenne de 2, 3 ou 4 déterminations (cf. tableau 10).

Les résultats sont représentés en partie au tableau 13. En moyenne, et pour les 54 échantillons étudiés à cet effet, un broyage supplémentaire a permis de trouver un résultat faiblement supérieur (+ 0,426) quand on emploie la méthode Springer et Klee, et plus nettement supérieur (+ 1,19) quand on applique la méthode Walkley et Black. On pouvait d'ailleurs s'y attendre, le pouvoir d'oxydation de cette dernière étant moins intense.

Ce sont surtout les échantillons riches en matière organique, dont le broyage supplémentaire permet de trouver un peu plus de carbone.

Il est donc à retenir que pour ces derniers échantillons, surtout si l'on ne pèse que 0,2 g pour l'analyse, un broyage supplémentaire s'indique, ce qui assure une homogénéité meilleure de l'échantillon et une oxydation plus complète.

Reproductibilité de la méthode Springer et Klee

Le calcul de la reproductibilité ne peut se faire en partant du résultat analytique exprimé en pourcent. En effet lors de la détermination, on a pesé des quantités différentes de terre, de telle façon que celles-ci contiennent environ 80 mg C. La teneur C trouvée est alors calculée pour 100 g de terre. On peut donc s'attendre au fait que les écarts entre les déterminations faites en double et exprimées en % C seront d'autant plus grandes que la quantité de terre pesée sera plus petite.

Pour cette raison l'écart type a été calculé sur le nombre de mg C, trouvé dans la quantité de terre pesée pour l'analyse. Nous avons trouvé un écart type nettement différent suivant les circonstances dans lesquelles les analyses ont été faites :

- 68 échantillons (partiellement représentés au tableau 10) analysés au début de l'emploi de la technique Springer et Klee, les échantillons doubles n'étant pas analysés dans la même série de déterminations : écart type 3,2 mg;
- 54 échantillons (partiellement représentés au tableau 13) analysés après plusieurs mois d'entraînement pour cette méthode, les échantillons étant soumis au préalable à un broyage supplémentaire et les échantillons doubles étant mis en route simultanément dans la même série d'analyses : écart type 1,3 mg.

Nous basant sur ces données, nous connaissons l'écart maximum qu'une seule détermination peut présenter dans 95 % des cas, par rapport à la moyenne, notamment respectivement 6,4 et 2,6 mg. Calculées pour 100 g de terre, nous trouvons les valeurs représentées au tableau 14.

TABLEAU 14

ÉCART MAXIMUM DE LA MÉTHODE SPRINGER ET KLEE EXPRIMÉ EN %
(POUR 95 CAS SUR 100), EN FONCTION DE LA QUANTITÉ DE TERRE
PESÉE POUR L'ANALYSE

Grammes de terre pesée pour l'analyse	Écart maximum	
	circonstance d'analyse moins favorables	personnel entraîné; duplos dans la même série
5	± 0,13%	± 0,052%
4,5	± 0,14%	± 0,058%
4	± 0,16%	± 0,065%
3,5	± 0,18%	± 0,074%
3	± 0,21%	± 0,087%
2,5	± 0,26%	± 0,104%
2	± 0,32%	± 0,130%
1,5	± 0,43%	± 0,173%
1	± 0,64%	± 0,260%
0,75	± 0,85%	± 0,347%
0,50	± 1,28%	± 0,520%
0,25	± 2,56%	± 1,040%
0,2	± 3,20%	± 1,300%

CONCLUSIONS

1. Au moyen des données de la fig. 4 et de la courbe de la fig. 7 nous pouvons dresser un tableau qui nous donne :

- d'une part les résultats auxquels on peut s'attendre en appliquant la méthode Istscherekow, et cela pour 2 modes opératoires, qui en réalité ne sont que légèrement différents;
- d'autre part les résultats que donnera la méthode Walkley et Black, chaque fois par rapport à la teneur absolue en carbone, et pour des richesses croissantes en matière organique (tableau 15).

2. La méthode Istscherekow s'est avérée être extrêmement sensible aux circonstances de l'analyse — tout en étant à l'origine une méthode avec un mode opératoire insuffisamment précisé. Fig. 4 donne une idée des différences importantes entre les résultats de quatre études, dont trois faites d'après un même mode opératoire.

Le mode opératoire Walkley et Black est bien précis, excluant ainsi toute confusion. Les tableaux 5 et 7 donnent une idée des résultats qu'on obtient en modifiant le mode opératoire, soit en variant les quantités de réactifs, soit en augmentant la température.

TABLEAU 15

RÉSULTAT PROBABLE DES MÉTHODES ISTSCHEREKOW ET WALKLEY-BLACK
EN FONCTION DE LA RICHESSE EN CARBONE ORGANIQUE

Teneur réelle ou C_{total}	Teneur en carbone trouvée par		
	Méthode Istscherkow		Méthode Walkley-Black
	Mode opér. néerlandais. Maton c.a.	Mode opér. franco-belge De Leenheer c.a.	
0,6	0,88 ou 146%	0,34 ou 57%	0,45 ou 75%
1,0	0,91 ou 91%	0,53 ou 53%	0,75 ou 75%
1,6	1,05 ou 65%	0,76 ou 47%	1,20 ou 75%
2,0	1,35 ou 67%	0,87 ou 43%	1,50 ou 75%
2,6	1,48 ou 57%	0,99 ou 38%	1,95 ou 75%
3,0	1,48 ou 49%	1,04 ou 35%	2,25 ou 75%
4,0			3,00 ou 75%
5,0			3,74 ou 74,8%
8,0			5,90 ou 73,7%
10,0			7,30 ou 73%
15,0			10,00 ou 66,7%
20,0			12,00 ou 60,0%
30,0			14,00 ou 46,7%
40,0			13,60 ou 34,0%

3. La reproductibilité de l'oxydation au bichromate semble supérieure (écart type = 0,047) à celle de l'oxydation au permanganate, avec son mode opératoire franco-belge; en suivant le mode opératoire néerlandais[11] pour la méthode Istscherkow on trouve l'inverse.

La reproductibilité de la méthode Walkley et Black semble augmenter (écart type décroissant) pour les sols non calcaires avec la teneur en argile (tableau 3), mais diminue sans aucun doute (écart type croissant) avec la teneur en matière organique (tableau 4).

4. La méthode Istscherkow, quel que soit le mode opératoire suivi, n'a plus aucune signification (en tant que méthode quantitative pour la détermination du carbone organique) pour des sols dosant plus de 3 % de matière organique (ou 1,5 % C total par analyse élémentaire).

Avec la méthode Istscherkow (mode opératoire franco-belge) on ne trouve qu'une partie du carbone trouvé avec la méthode Walkley et Black, surtout pour les sols humifères (fig. 3).

La méthode Walkley et Black permet de retrouver 75 % du carbone total pour des échantillons dosant moins de 15 % à 20 % de matière organique (ou moins de 7,5 % à 10 % C total). Pour des échantillons pareils chaque ml $K_2Cr_2O_7$, solution normale,

utilisé pour l'oxydation humide, correspond en réalité à 4 mg au lieu de 3 mg C (fig. 7 et tableau 15).

A partir de 10 % C, la méthode Walkley et Black perd tout intérêt.

5. Une concordance très satisfaisante avec les résultats de l'analyse élémentaire, même pour des échantillons franchement tourbeux (% C jusque 45) est obtenue par oxydation humide au bichromate en milieu sulfurique et à une température de 160°C. Pour les échantillons dosant moins de 10 % C, nous trouvons la relation suivante entre le % C trouvé par la méthode Springer et Klee et le % C trouvé par analyse élémentaire :

$$C_{S.K.} = 1,027 C_{A.E.} + 0,035.$$

Tenant compte de tous les résultats, y compris ceux avec plus de 10 % C, on trouve

$$C_{S.K.} = 1,11 C_{A.E.} - 0,15.$$

Le rapport entre les résultats avec la méthode Springer et Klee et ceux avec la méthode Walkley et Black s'exprime par la formule (obtenue avec 325 échantillons, dont 51 avec plus de 10 % C)

$$C_{W.B.} = 0,858 C_{S.K.} - 0,013 (C_{S.K.})^2 + 0,02.$$

Les résultats trouvés par la méthode Walkley et Black peuvent être transposés directement en carbone total en multipliant le résultat trouvé par 1,33 (c.-à-d. en comptant 4 mg C au lieu de 3 pour chaque ml $K_2Cr_2O_7$ utilisé dans la réaction). Le tableau 12 et le graphique fig. 9 donnent les détails du rapport $C_{S.K.}/C_{W.B.}$. La reproductibilité et les erreurs possibles avec la méthode S.K. sont données au tableau 14.

6. Dans toute étude du rapport C/N ou du rapport mat. org./C, la teneur en C
- peut être déterminée par la méthode Walkley et Black, à condition qu'on compte 4 mg C pour chaque ml $K_2Cr_2O_7$ (au lieu de 3) et à condition que la teneur en C soit inférieure à 10 %;
 - doit être faite par analyse élémentaire ou par oxydation au bichromate en milieu sulfurique à une température de 160°C (de préférence par la méthode Springer et Klee) pour tous les échantillons dosant plus de 10 % C.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] PREGL, F. — Die quantitative organische Mikroanalyse. Neubearbeitung H. Roth. Verlag J. Springer, Berlin, 1935.
- [2] SPITHOST, C. — De methodiek van de humusbepaling. Bodemkundig Institut. Groningen. *Verlagen van Landbouwk. Onderzoekingen*, nr. 38, B, 1932.
- [3] KNOP, W. F., d'après J. König. — Untersuch landw. und landw.-gewerblich wichtiger Stoffe. P. Parey, Berlin, Vol. I, 1923.
- [4] SPRINGER, U. — *Zeitschr. Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde*, A, 11, 315, 1928.
- [5] SCHOLLENBERGER, C. J. — *Soil Science*, 31, 483, 1931.
- [6] GRAHAM, E. R. — *Soil Science*, 65, 181, 1945.
- [7] RIEHM, H. & ULRICH, B. — *Landwirtschaftl. Forschung*, 6, 173, 1954.
- [8] WESTERHOF, H. — *Zeitschr. Pflanzenern. Düng. und Bodenk.*, 56, 49, 1952.
- [9] CAROLAN, R. — *Soil Science*, 66, 241, 1948.
- [10] VAN WESEMAEL, J. Ch. & LEHR, J. J. — *Sixième Congrès Internat. Science du Sol*, Paris, vol. 2, 593, 1956.
- [11] MATON, A., COTTENIE, A. & VAN DEN HENDE, A. — *Mededelingen Landbouwhogeschool*, Gent, 21, 175, 1956.
- [12] WALKLEY, A. & BLACK, I. A. — *Soil Science*, 37, 29, 1934.
- [13] WALKLEY, A. — *Journ. Agricult. Sci.*, 25, 598, 1935.
- [14] ISTSCHERKOW, W. *Journ. f. exper. Landwirtschaft*, 5, 55, 1904.
- [15] SPRINGER, U. & KLEE, J. — *Zeitschr. Pflanzenern. Düng. und Bodenk.*, 64, (109), 1, 1954.
- [16] MIECZYNSKI, T. — *Mémoires Inst. Nat. Polonais d'économie rurale à Pulaury*, 4 A, 1923.
- [17] MATON, A., ROTTI, A. & COTTENIE, A. — *Mededelingen Landbouwhogeschool*, Gent, 19, 256, 1954.
- [18] DE LEENHEER, L., VAN HOVE, J. & VAN RUYMBEKE, M. — *Pédologie*, VII, 324, 1957.
- [19] CHAMINADE, R. — *Annales agronom. (France)*, 2, 119, 1946.
- [20] SCHEFFER, F., WELTE, E. & HEMPLER, G. — *Zeitschr. Pflanzenern. Düng. und Bodenk.*, 58 (103), 68, 1952.
- [21] LAUDELOUT, H. & D'HOORE, J. — *Publications de l'INEAC (Bruxelles)*, Série Scientif., n° 44, 1949.
- [22] DEROLEZ, J. — Rapport non publié du « Comité pour l'étude de la structure et de la matière organique des sols Belges », Section de Pédologie, Institut Agronomique, Gand, Exercice 1955-1956.
- [23] TIURIN, I. V. — *Trans. Docuchajev Soil Inst.*, 10, 1934. (D'après [11]).
- [23 bis] ANNE, P. — *Annales agronomiques*, 15, 161, 1945.
- [24] RAUTERBERG, E. & KREMKUS, F. — *Zeitschr. Pflanzenern. Düng. und Bodenk.*, 54 (95), 240, 1951.
- [25] DEGTJAREFF, W. Th. — *Soil Science*, 29, 239, 1930.
- [26] DE LEENHEER, L. & VAN RUYMBEKE, M. — *Transact. 5th Intern. Congr. of Soil Sci.*, Léopoldville, 2, 390, 1954.

BEPALING VAN HET GEHALTE AAN ORGANISCHE KOOLSTOF IN GRONDEN

Samenvatting

1. In deze kritische studie wordt bewezen dat de methode van Istscherekow uiterst gevoelig is aan de omstandigheden, waaronder de analyse geschiedt. Fig. 4 geeft de resultaten weer van 4 studies, waarvan er 3 gemaakt werden met een absoluut identische modus operandi. De originele werkwijze van Istscherekow zelf is vrij vaag opgesteld.
2. De modus operandi, door Walkley en Black opgesteld, is nauwkeurig en gedetailleerd. Tabellen 5 en 7 geven een idee van de verschillen in de resultaten, wanneer men de hoeveelheid reagentia of de temperatuur van de natte oxydatie wijzigt.
3. De reproduceerbaarheid van de oxydatie naar Walkley en Black is beter dan deze der Istscherekow-methode, wanneer men de Frans-Belgische modus operandi volgt; volgt men echter de Nederlandse werkwijze, dan stelt men het omgekeerde vast.
Voor de Walkley en Black-methode schijnen de standaardafwijkingen der resultaten af te nemen met het kleigehalte in niet kalkhoudende gronden (tabel 3); de standaardafwijking stijgt echter met zekerheid met het gehalte aan organisch materiaal (tabel 4).
4. Wat ook de gevolgde modus operandi moge zijn, is de Istscherekow-methode waardeloos voor gronden met meer dan 3 % organisch materiaal (of 1,5 % C — elementairanalyse) (fig. 3 en 4). De gevonden resultaten zijn vaak hoger dan deze der Walkley en Black-methode voor gronden met min dan 1 % C_{W.B.}, doch bijna steeds lager voor gronden met meer dan 1 % C_{W.B.}.
5. Het gehalte aan organische koolstof gevonden met de Walkley en Black-methode bedraagt 75 % van het koolstofgehalte, dat werkelijk in de grond aanwezig is, doch slechts wanneer het gehalte aan organisch materiaal kleiner is dan 15 tot 20 % (7,5 tot 10 % organische koolstof). Voor dergelijke monsters betekent iedere ml van een normale oplossing K₂Cr₂O₇, die voor de natte oxydatie verbruikt werd, 4 mg C in plaats van de 3 mg, die uit de stoichiometrische verhoudingen der scheikundige reactie afgeleid worden.
Voor gronden met meer dan 10 % organische koolstof is de Walkley en Black-methode waardeloos.
6. Men bekomt zeer goede uitslagen in vergelijking met deze, die met de droge verbrandingsmethode (elementairanalyse) bekomen worden, wanneer de natte oxydatie met K₂CrO₇ + H₂SO₄ plaats grijpt bij een temperatuur van 160°C.

De modus operandi van Springer en Klee wordt hiervoor aanbevolen; met 59 gronden met een C-gehalte tussen 0 en 10 % werd tussen de gegevens der Springer-Klee-methode en deze der elementairanalyse volgende regressielijn gevonden :

$$\% C_{S.K.} = 1,027 (\% C_{E.A.}) + 0,035;$$

voor 68 gronden, inbegrepen 9 monsters met een koolstofgehalte tussen 12 en 42 %, werd gevonden dat :

$$\% C_{S.K.} = 1,11 (\% C_{E.A.}) - 0,015.$$

De correlatie tussen de resultaten der Springer-Klee-methode en der Walkley-Black-methode, berekend voor 325 monsters (waarvan 51 met

een C-gehalte tussen 10 en 45 %) wordt gegeven door de formule (zie fig. 7 en 8) :

$$C_{W.B.} = 0,858 C_{S.K.} - 0,13 (C_{S.K.})^2 + 0,02.$$

7. Tabel 12 en fig. 9 geven de verhouding weer tussen $C_{W.B.}$ en $C_{S.K.}$ voor 3 groepen van monsters met stijgend C %. Voor alle gronden met min dan 10 % C is de verhouding $C_{S.K.}/C_{W.B.} = 1,33$ met een standaardafwijking = 0,19. Door deze verhouding is het mogelijk uit de gegevens der Walkley en Black-methode het absoluut C-gehalte te kennen.
8. De bepaling der C/N-verhouding en der verhouding organisch materiaal/C is derhalve
 - a) mogelijk met de gegevens der Walkley en Black-methode wanneer men 4 mg C rekent in plaats van 3 voor ieder ml $N. K_2Cr_2O_7$, die verbruikt is bij de natte oxydatie, doch alleen voor gronden met min dan 10 % C;
 - b) slechts mogelijk met de resultaten der elementairanalyse of met de gegevens ener natte verbranding, waarbij de oxydatie met $K_2Cr_2O_7$ en H_2SO_4 bij 160°C verloopt, wanneer de grondmonsters meer dan 10 % C bevatten. Voor dergelijke gronden wordt de Springer en Klee-methode aanbevolen.

DETERMINATION OF THE ORGANIC CARBON CONTENT IN SOILS

Summary

1. In this critical study it is proved that the method of Istscherekow is extremely sensitive to the circumstances under which the analysis is made. Fig. 4 gives the results obtained in 4 studies, 3 of them being made following exactly the same modus operandi. The original modus operandi of Istscherekow itself was not a very detailed one.
2. The modus operandi of Walkley and Black on the other hand is precise in its details. Tables 5 and 7 give an idea of the differences of the results by changing either the amount of reagents or the temperature of the wet oxidation.
3. The reproductibility of the oxidation after Walkley and Black is better than the reproductibility obtained with the Istscherekow method, following the Franco-Belgian modus operandi; following however the Dutch modus operandi for the last method the contrary is observed. Using the method of Walkley and Black the standard deviation of the results seem to decrease for non-calcareous soils with the clay content (table 3) and is certainly increasing with the organic matter content (table 4).
4. The Istscherekow method, whatever the modus operandi may be, is worthless for soils which contain more than 3 % organic matter (or 1,5 % C — Elementary Analysis) (fig. 3 and 4). The results found are often superior to the results of the Walkley and Black method for soils containing less than 1 % $C_{W.B.}$ but nearly always inferior for soils with more than 1 % $C_{W.B.}$ (fig. 4).
5. The amount of organic carbon found with the Walkley and Black method reaches 75 % of the carbon content really present in the soils, but only if the organic matter content is less than 15 to 20 % (7,5 to 10 % organic carbon). For such soil samples each ml of a normal solution of $K_2Cr_2O_7$, used for the wet oxidation, represents 4 mg C instead of the 3 mg deduced from the stoichiometric relations of the chemical reaction. For soils having more than 10 % organic carbon, the Walkley and Black method is worthless.

6. Very satisfactory results, in comparison with those obtained by a dry combustion method (Elementary Analysis), are obtained by wet oxidation with $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$ at a temperature of $160^\circ C$.

The method of Springer and Klee is recommended; for 59 soils with a carbon-content between 0 and 10 % the following regression line between the results after Springer and Klee and Elementary Analysis is found:

$$\% C_{S.K.} = 1,027 (\% C_{E.A.}) + 0,035;$$

for 68 soils, including 9 soils with a carbon content between 12 and 42 %, the regression line is given by the formula:

$$\% C_{S.K.} = 1,11 (\% C_{E.A.}) - 0,15.$$

The correlation between the results of the Springer and Klee method and the Walkley and Black method, calculated for 325 soil samples (51 of them having a C content between 10 and 45 %) is given by the formula:

$$C_{W.B.} = 0,858 C_{S.K.} - 0,13 (C_{S.K.})^2 + 0,02 \text{ (fig. 7 and 8).}$$

7. Table 12 and fig. 9 give the ratio between $C_{W.B.}$ and $C_{S.K.}$ for 3 groups of soils with increasing carbon content.

For all soils containing less than 10 % C the ratio $C_{S.K.}/C_{W.B.} = 1,33$, the standard deviation being 0,19. Knowing this ratio, it is possible to calculate the exact carbon content with the results of the Walkley and Black method.

8. The determination of the C/N ratio, or of the Organic Matter/C ratio is therefore
- possible with the data of the Walkley and Black method, taking 4 mg C instead of 3 for every ml of N $K_2Cr_2O_7$ used in the wet combustion, but only for soils with less than 10 % C;
 - only possible with the data of the dry combustion method (Elementary Analysis) or of a wet combustion method, using $K_2Cr_2O_7$ and H_2SO_4 at 160° , for soils containing more than 10 % C. For such samples the Springer and Klee method is recommended.

BESTIMMUNG DES GEHALTES AN ORGANISCHEM KOHLENSTOFF IM BODEN

Zusammenfassung

1. In dieser kritischen Untersuchung wird der Beweis gebracht dass die Itscherekow-Methode den Umständen bei der Analyse äusserst empfindlich ist.

Fig. 4 bringt die Ergebnisse von 4 Studien, wovon 3 mit genau demselben Modus Operandi bekommen wurden. Der ursprüngliche Arbeitsvorgang Itscherekows aber ist nicht genau in allen Einzelheiten angegeben.

2. Der Modus Operandi zur Walkley und Black-Methode ist durch diese Autoren genau angegeben. Tabellen 5 und 7 zeigen die Unterschiede welche gefunden werden, wenn die Menge der zugefügten Reagenzien oder die Oxydationstemperatur geändert wird.
3. Die Reproduzierbarkeit der Oxydation nach Walkley und Black ist besser als diese nach Itscherekow, wenn man den franco-belgischen Arbeitsvorgang folgt; mit der niederländischen Arbeitsvorschrift wird aber das Gegenteil gefunden.

Für die Ergebnisse der Walkley und Black-Methode stellt man mit Sicherheit fest dass die Standarddeviation steigt, dass also die Reproduzier-

barkeit abnimmt, mit steigender Menge an organischem Material (Tabelle 4), weil die Reproduzierbarkeit im Gegenteil anscheinend zunimmt mit dem Tongehalt in nicht kalkhaltigen Böden (Tabelle 3).

4. Die Itscherkow-Methode, welcher auch der Modus Operandi sein mag, ist wertlos für Böden mit mehr als 3 % organischem Material (oder 1,5 % C Elementaranalyse) (fig. 3 und 4). Die Ergebnisse liegen öfter höher als diese der Walkley und Black-Methode für Böden mit weniger als 1 % $C_{W.B.}$, aber fast immer niedriger für Böden mit mehr als 1% $C_{W.B.}$ (fig. 4).
5. Die Menge des gefundenen organischen Kohlenstoffes nach der Walkley und Black-Methode erreicht 75 % der wirklich im Boden anwesenden Menge, aber nur wenn der Gehalt an organischem Material geringer ist als 15 bis 20 % (7.5 bis 10 % org. C). Für solche Bodenproben stimmt jeder ml einer normalen $K_2Cr_2O_7$ -Lösung, der für die nasse Oxydation verbraucht wurde, mit 4 mg C überein, und nicht mit 3 mg C, wie man aus den stöchiometrischen Verhältnissen der chemischen Reaktion ableiten würde. Für Böden mit mehr als 10 % organischem C ist die Walkley und Black-Methode wertlos.
6. Verglichen mit den Werten des trocknen Verbrennungsverfahrens (Elementaranalyse) sind die Ergebnisse der nassen Oxydation mit $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$ bei einer Temperatur von 160°C sehr befriedigend. Die Methode nach Springer und Klee wird hierzu empfohlen. Für 59 Proben, mit einem C-Gehalt zwischen 0 und 10 %, wurde folgende Regression zwischen den Werten nach Springer und Klee und nach der Elementaranalyse gefunden :

$$\% C_{S.K.} = 1,027 (\% C_{E.A.}) + 0,035;$$

Für 68 Proben, einschl. 9 Böden mit einem % C zwischen 12 und 42 %, wurde gefunden :

$$\% C_{S.K.} = 1,11 (\% C_{E.A.}) - 0,15.$$

Die Korrelation zwischen die Springer und Klee-Methode und die Walkley und Black-Methode, berechnet für 325 Proben, wozu 51 Proben mit einem Kohlenstoffgehalt zwischen 10 und 45 %, wird durch folgende Formel zum Ausdruck gebracht (Fig. 7 und 8) :

$$C_{W.B.} = 0,858 C_{S.K.} - 0,13 (C_{S.K.})^2 + 0,02.$$

7. Tabelle 12 und Fig. 9 zeigen das Verhältnis zwischen $C_{W.B.}$ und $C_{S.K.}$ für 3 Gruppen von Proben mit steigendem C-Gehalt. Für alle Böden mit weniger als 10 % C ist das Verhältnis $C_{S.K.}/C_{W.B.} = 1,33$, mit einer Standarddeviation = 0,19. Mit diesem Verhältnis ist es möglich aus den Ergebnissen der Walkley und Black-Methode den genauen C-Gehalt im Boden zu berechnen.
8. Die Bestimmung des C/N Verhältnisses oder des Verhältnisses organ. Mater./C ist deswegen
 - a) möglich mit den Resultaten der Walkley und Black-Methode, wenn man für jeden ml einer bei der nassen Oxydation verbrauchten N. $K_2Cr_2O_7$ -Lösung 4 und nicht 3 mg C rechnet; das ist aber nur für Proben mit weniger als 10 % C gestattet;
 - b) nur möglich für Böden mit mehr als 10 % C mit den Ergebnissen der Elementaranalyse oder einer nassen Verbrennung mit $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$ bei einer Temperatur von 160°C; im letzten Fall wird die Methode nach Springer und Klee empfohlen.

TROISIEME SEANCE ORDINAIRE

tenue le 24 avril 1958

dans les locaux de la Fondation Universitaire à Bruxelles

La séance a lieu sous la présidence de Monsieur G. MANIL, président de la Société. Elle est ouverte à 15.30 h.

Communications

1. *Ionenevenwicht in het systeem wortel-grond* par A. SCHUFFELEN (Wageningen).
2. *Micromorphologie des sols de la Belgique* par J. LARUELLE. Texte ci-après.

DERDE GEWONE ZITTING

gehouden op 24 april 1958

in de lokalen van de Universitaire Stichting te Brussel

De zitting heeft plaats onder voorzitterschap van de Heer G. MANIL, voorzitter van de Vereniging. Zij wordt geopend te 15.30 h.

Mededelingen

1. *Ionenevenwicht in het systeem wortel-grond* door A. SCHUFFELEN (Wageningen).
2. *Micromorphologie des sols de la Belgique* door J. LARUELLE. Tekst hierna.

MICROMORPHOLOGIE DES SOLS DE LA BELGIQUE

par Jac. LARUELLE (1)

Le but de cette communication consiste à donner un bref aperçu de la micromorphologie des sols de la Belgique, telle qu'elle a été étudiée au Laboratoire de l'Institut Géologique de l'Université de Gand(2).

INTRODUCTION

Les échantillons pédologiques orientés ont été examinés, tant au microscope stéréoscopique (en lumière réfléchie) que par des lames minces au microscope polarisant (en lumière transmise).

Pour le choix des échantillons à étudier, nous nous sommes référés aux données de la Carte des Sols de la Belgique, afin d'utiliser des profils représentatifs de grandes régions.

Il est bon de rappeler que l'étude micromorphologique des sols relève d'une technique relativement récente, qui a été adoptée pour la première fois de façon systématique par W. L. KUBIENA [15]. Cet auteur a introduit la différenciation du matériel constitutif en « squelette » et en « plasma »(3).

Le *squelette* comprend principalement les grains minéraux peu ou pas altérés et les restes organiques non digérés.

Le *plasma*, qui forme l'élément essentiel de la dynamique du sol, comprend surtout les composants suivants :

- les minéraux argileux,
- les matières humiques,
- la silice,

(1) Docteur en Sciences, assistant à l'Institut Géologique de l'Université de Gand.

(2) Ces recherches ont pu être réalisées grâce à l'octroi d'une bourse de spécialisation par l'IRSIA (Institut pour l'encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture, Bruxelles) et grâce à l'abondante documentation mise à ma disposition par le Centre de Cartographie des Sols à Gand (dirigé par le prof. R. TAVERNIER).

(3) Voir à ce propos plus de détails dans une communication de l'auteur, précédemment parue [19].

— les sesquioxides, dont l'oxyde de fer hydraté ou non est de première importance en recherche micromorphologique.

Ces composants peuvent former mutuellement divers complexes colloïdaux : complexes argilo-ferriques, complexes argilo-humiques, etc.

D'après l'état *mobile* ou *immobile* du plasma, Kubiena reconnaît un plasma peptisé ou floclulé; au plasma peptisé il associe l'assemblage à « *Lehm* », au plasma floclulé il associe l'assemblage à « *Erde* ».

Dans les conceptions de Kubiena la présence de « *Lehmgefüge* » dans les sols bruns récents serait un indice de pédogénèse sous climat (sub)tropical, soit que le sol se soit formé directement en pareilles conditions, soit que le matériel parental ait été soumis à l'altération (sub)tropicale lors d'un cycle précédent.

Certains sols récents de la Belgique présentent précisément les assemblages à « *Lehm* » et à « *Erde* » de façon juxtaposée, d'où leur intérêt particulier. C'est la raison pour laquelle les recherches ont surtout été axées sur les sols développés dans le lœss. D'autre part, notre attention a été spécialement attirée par les sols fossiles à rubéfaction intense.

*
**

Dans cette communication nous ne traiterons que peu ou pas des observations faites à l'aide du microscope stéréoscopique (lumière réfléchie). Seules les *lames minces*, dont de nombreuses microphotos en couleurs (diapositives Gevacolor) ont été présentées, seront commentées et interprêtées(4).

I. LES SOLS SUR LŒSS

A. DESCRIPTION ET DISCUSSION

1. La Région limoneuse

Cette grande et riche région naturelle correspond, en grands traits, à la délimitation géographique de la Moyenne Belgique. Sa morphologie de plateaux ondulants est déterminée par la présence d'un épais manteau de lœss continu. L'influence du substrat paléozoïque, crétacique ou tertiaire sur les sols récents est assez limitée.

Deux secteurs caractéristiques ont été étudiés quant à la micromorphologie des sols. Il s'agit de la zone de bordure septentrionale

(4) Le caractère de cet exposé est volontairement succinct. La même étude paraîtra sous peu, *in extenso* et accompagnée de microphotos, dans le *Natuurwetenschappelijk Tijdschrift* (Gand).

de la Région limoneuse, là où celle-ci passe graduellement à la Région sablonneuse (secteur de Louvain). De ce fait le manteau de lœss y est généralement moins épais, sa texture moins fine et plus hétérogène (souvent associée à une certaine stratification texturale) qu'en Hesbaye (R. DUDAL [12]).

L'autre secteur se rapporte à la vaste zone centrale, caractérisée par les grandes exploitations agricoles. Les endroits choisis se trouvent dans le Brabant wallon (secteur de Waterloo). Il s'agit d'anciennes terres de culture. Ce facteur aurait intensément contribué à la formation de la « terre-à-briques », suite à l'altération intense de l'« ergeron supérieur » (R. TAVERNIER [27]).

Les sols des deux secteurs étudiés se rapportent à l'association de la région limoneuse du Brabant méridional⁽⁵⁾.

a) Sols sous forêt (secteur de Louvain)

Dans ce secteur le déboisement n'est pas total. Plusieurs bois étendus subsistent, tels le bois de Bertem et la forêt de Meerdaal. Dans le premier une importante caténa a été étudiée.

La *caténa du bois de Bertem* comporte trois profils : un sol « normal » sur plateau, un sol « sous-développé » sur mi-pente et un sol intermédiaire « paranormal » sur haut de pente.

Sol « sous-développé » sur mi-pente

Ce profil, classé comme « sol brun forestier » (Brown Forest soil), est situé sur une forte pente (18 %). Il porte une association végétale du type *Querceto-Carpinetum typicum*. La macromorphologie du profil est caractérisée par la quasi-absence d'horizon B textural et par la non-décalcification d'un solum peu profond.

Micromorphologie. — L'horizon A₁₁ présente une structure du type Mull caractéristique. Dans l'horizon A₁₂ on observe une structure caractérisée par la présence intergranulaire généralisée de complexes argilo-ferriques immobiles (assemblage du type intertextique) et par la présence de nombreux points de floculation ferrique irréversible : c'est déjà l'assemblage du type Braunerde, tel qu'il a été décrit par Kubiena. Dans l'horizon (B) cette structure s'accroît encore nettement dans le sens de l'augmentation du nombre de points de floculation ferrique irréversible. Un autre élément s'y ajoute, notamment la présence de nombreuses (parfois minuscules) plages mobiles (biréfringence !) au sein du plasma intergranulaire immobile. C'est ce que Kubiena a appelé le Braun-

(5) D'après la *Carte des associations de sols de la Belgique*, dressée par R. TAVERNIER & R. MARECHAL.

lehm-Teilplasma. Ce phénomène est lié au « Lehmgefüge ». Il faut nettement le différencier des phénomènes de migration colloïdale le long des pores, qui eux aussi sont liés au « Lehmgefüge » et se rapportent également au Braunlehm-Teilplasma. L'horizon C ne présente aucune trace de Braunlehm-Teilplasma.

La micromorphologie du « sol brun forestier » est donc nettement en accord avec la macromorphologie du profil, en fonction de sa position topographique. L'absence de migration colloïdale à l'intérieur des agrégats de l'horizon (B) se confirme. La présence de *Braunlehm*-Teilplasma mobile intergranulaire est néanmoins un indice d'altérabilité important. Il s'agit d'argile formée *in situ*, au sein du plasma intergranulaire dont la mobilité n'est pas le résultat de l'intervention d'une migration verticale (R. BREWER [8])(6).

L'abondance des points de floculation ferrique (créant l'assemblage du type *Braunerde*) s'explique par la précipitation (massive) du fer due à l'action des microorganismes dans un milieu biologique favorable, où la matière organique est capable de solubiliser une grande quantité de fer (B. C. DEB [10]; P. DUCHAUFOUR [11]).

Sol « normal » sur plateau

Ce profil, classé comme « sol brun lessivé » (Gray-Brown Podzolic soil), se trouve au sommet du plateau à surface très légèrement ondulante (1-2 %). Il porte une association du type *Querceto-Carpinetum stachyetosum*. Le couvert végétal est récent, puisqu'il s'agit d'une parcelle mise sous culture durant les années 1940-1945. La macromorphologie du profil est caractérisée par un horizon B textural bien défini, par la décalcification du solum et par un profond horizon B₂₃ s'étendant en bandes plus ou moins lehmifiées (en relation avec la stratification texturale du loess local).

Micromorphologie. — L'horizon A₁ possède une structure du type (« feiner ») Moder, qui — vers le bas — évolue rapidement vers une structure du type Mull (« moderartiger Mull »). Le même horizon dénote la présence assez nette d'oxyde de fer sous la forme de quelques « concrétions amygdaliformes » (voir plus loin). Dans l'horizon A₂ le lessivage a déjà atteint un degré tel, que l'assemblage annonce le type « bleached sand ». Le B₁ semble être caractérisé partiellement par la présence d'un fin remplissage intergranulaire de nature organo-ferrique, dont au moins une partie est à l'état mobile. Dans l'horizon B₂ l'assemblage du type *Braunerde* s'équi-

(6) Voir aussi H. PALLMANN *et al.* [24], ainsi que E. FREI & M. G. CLINE [13] et H.-J. ALTEMULLER [1].

libre quantitativement avec la présence de Braunlehm-Teilplasma intergranulaire. Il s'agit donc de la même structure que celle rencontrée dans l'horizon (B) du sol « sous-développé », avec cependant abondance beaucoup plus marquée du Braunlehm formé *in situ*. A côté de cet aspect du Braunlehm, on observe des « coatings » sur la paroi de certains pores. « Erdegefüge » et « Lehmgefüge » se présentent donc de façon nettement juxtaposée : l'assemblage du type Braunerde se maintient, le Braunlehm formé *in situ* en forme le pendant mobile, le Braunlehm en tant que « coatings » n'apparaît que localement. Dans les bandes bien lehmifiées de l'horizon B₂₃ on observe encore les mêmes phénomènes. Même dans le matériel parental décalcifié (C₁) on rencontre encore le Braunlehm formé *in situ*.

La micromorphologie de l'horizon B du « sol brun lessivé » dénote donc une très importante mobilité du plasma intergranulaire, formé *in situ*, et un début de *migration* colloïdale le long des pores à l'intérieur des agrégats. L'observation au microscope stéréoscopique nous apprend que la surface des agrégats du même horizon est généralement recouverte d'importantes coulées plasmatiques. Ce dernier aspect n'est pas un indice aussi important, en ce qui concerne le degré de « lessivage » atteint, que ne le sont la différenciation et la gradation qui se présentent entre le *Braunlehm* formé *in situ* et le *Braunlehm* sous forme de « coatings ». Les recherches de R. BREWER [7, 8, 9] et H.-J. ALTEMÜLLER [1, 2] ont abouti aux mêmes conclusions.

Sol « paranormal » sur haut de pente

Ce profil, classé comme intermédiaire entre le groupe « sol brun lessivé » et le groupe « sol lessivé » (Gray-Brown Podzolic soil intergrade to Brown Podzolic soil), est situé entre les deux autres profils, sur pente déjà fort accentuée (12 %). Il porte une association *Querceto-Carpinetum betuletum* peu typique. La macromorphologie du profil est caractérisée par un horizon lessivé déjà marqué, par un horizon B textural bien défini présentant vers le bas une zone à structure squameuse (sorte de « fragipan ») et par la décalcification du solum, celui-ci ne dépassant pas en profondeur celui du sol « sous-développé ». Ce profil présente donc des caractéristiques qui relèvent à la fois du sol « normal » et du sol « sous-développé »; certaines sont même plus accentuées que dans le cas du sol « normal ».

Micromorphologie. — L'horizon A₁ présente une structure du type Moder, qui, de haut en bas, évolue graduellement du

« feiner Moder » (7) au « mullartiger Moder » (7). Le même horizon dénote la présence très nette d'oxyde de fer floclé sous forme de « concrétions amygdaliformes ». Dans l'horizon A₂ le lessivage donne un assemblage qui se rapproche du type « bleached sand ». Le B₁ semble encore être caractérisé en partie par la présence d'un fin remplissage intergranulaire organo-ferrique, dont une partie se présente à l'état mobile. Dans l'horizon B₂ l'assemblage du type Braunerde fait défaut. Celui-ci se résume à l'assemblage du type intertextique, essentiellement constitué de remplissage intergranulaire argilo-ferrique floclé. Il est à la fois lié à du Braunlehm-Teilplasma *in situ* et en migration (« coatings »). C'est surtout l'aspect Braunlehm en migration qui domine. L'aspect Braunlehm formé *in situ* semble même en régression par rapport à l'horizon analogue du sol « normal ». Cette situation semble intimement liée à la constatation qu'une partie du « Lehmgefüge » s'est manifestement altérée en « Erde » : la décomplexation colloïdale progressive y a notamment substitué une partie des petites plages mobiles à des plages floclées. Vers le bas du B₂₂ apparaît un assemblage particulier, qui est localisé à l'endroit de la zone à « fragipan ». Il s'agit de nombreuses bandes parallèles floclées dont la formation semble être due à des phénomènes de diffusion périodiques (dans le sens des anneaux de Liesegang). Cette structure se superpose donc à l'assemblage de base du type intertextique. Dans le B₂₃ la situation, existant au-dessus de la zone à « fragipan », se rétablit : les « coatings » de Braunlehm dominant sur le Teilplasma formé *in situ*. L'horizon C est dépourvu de tout phénomène lié au Braunlehm-Teilplasma.

La micromorphologie du profil intermédiaire présente, en résumé, trois caractéristiques qui le différencient nettement du profil « normal » : la structure du type *Moder* assez prononcée dans l'horizon A₁, l'importance de la *migration colloïdale* le long des pores dans le B₂₂, la présence de *floculats orientés* au bas du B₂₂. Les deux dernières caractéristiques soulignent le haut degré d'altération atteint par le solum; elles indiquent en même temps le rôle que peut avoir joué l'alternance périodique de conditions humides et sèches, tel qu'il ressort aussi de la présence des *concrétions amygdaliformes* (voir plus loin : Sols de l'Ardenne condruisienne). De récentes expériences faites aux E. U. A. sur la migration des argiles auraient d'ailleurs fait ressortir l'importance qu'il convient d'attribuer à ces alternances pédoclimatiques(8). Vu sa position topographique (haut de pente), le profil intermédiaire est

(7) Voir à ce propos W. L. KUBIENA [17].

(8) D'après une communication verbale du professeur Tavernier.

beaucoup plus influencé par ces alternances périodiques que ne l'est le profil « normal ». Il en résulte que ce dernier est moins « lessivé », de sorte que l'on peut considérer le sol « paranormal » comme un « sol lessivé », celui-ci ayant atteint le stade d'évolution le plus avancé dans la caténa. En effet, la migration des complexes argileux minéraux s'y constate non seulement en coulées autour des agrégats (observation macromorphologique), mais également à l'intérieur des agrégats, le long des pores (observation micromorphologique).

En conclusion, il apparaît que les profils de la caténa du bois de Bertem indiquent clairement la gradation : « sol brun forestier » — « sol brun lessivé » — « sol lessivé ». C'est grâce à l'étude de la micromorphologie que l'on se rend compte qu'il existe un lien étroit entre la gradation précitée d'une part et la façon dont les aspects de la mobilité du plasma se présentent.

Les phénomènes commentés ici sont ceux que l'on observe sous couvert végétal naturel. La situation change sous culture. La micromorphologie des sols du secteur suivant nous l'apprendra.

b) Sols sous culture (secteur de Waterloo)

Dans ce secteur la formation de la « terre-à-briques » n'atteint généralement pas tout à fait le faciès typique qu'on lui connaît en Hesbaye. L'intensité, avec laquelle les phénomènes se présentent dans les profils étudiés, rapproche néanmoins ces derniers des profils typiques. Deux profils en rapport caténaire et un profil isolé ont été examinés.

La *caténa*, située sur le territoire de la commune d'*Ohain*, comporte un sol « normal » sur légère pente et un sol « sous-développé » sur mi-pente. Le *profil isolé* a été échantillonné sur territoire de *Braine l'Alleud* : c'est un sol « normal » sur pente légère.

Sol « normal » sur haut de pente (Braine l'Alleud)

Ce profil, classé comme « sol brun lessivé » (Gray-Brown Podzolic soil), se trouve vers le haut d'une pente faible (3-4 %), appartenant au versant principal d'une vallée asymétrique. La macromorphologie reflète une activité biologique favorable; elle ne dénote aucun signe de dégradation substantielle. L'horizon B atteint une épaisseur considérable; les « coatings » enrobant les agrégats dominant particulièrement dans le B₂₂ et le B₂₃. Le profil apparaît comme une « terre-à-briques » non dégradée.

Micromorphologie. — L'horizon Ap présente une belle structure caractérisée par des complexes argilo-ferriques immo-

biles, auxquels la présence de colloïdes humiques peut imprimer localement une certaine labilisation. L'absence de (nombreux) points de floculation ferrique irréversible empêche la formation de l'assemblage du type Braunerde : elle ne permet que celle de l'assemblage du type intertextique. Dans tout l'horizon B (B_{21} , B_{22} , B_{23}) cet assemblage subsiste. Il y est toujours accompagné des deux expressions du « Lehmgefüge », notamment le Braunlehm-Teilplasma en tant que plasma mobile intergranulaire (argile formée *in situ*) et sous forme de « coatings » tapissant la paroi des pores et fissures à l'intérieur des agrégats (argile en migration). A partir du B_{31} l'assemblage du type intertextique s'amenuise, tandis que le Braunlehm-Teilplasma formé *in situ* a tendance à disparaître. Au voisinage de l'horizon C, seuls les « coatings » de Braunlehm en migration subsistent.

Comparé au « sol brun lessivé » de la caténa du bois de Bertem, le caractère « lessivé » du sol sous culture apparaît très accentué. Ce caractère s'exprime, comme on sait, par la grande importance qu'acquiert le *Braunlehm en migration*, de telle sorte que le sol qui nous occupe ici devrait plutôt être classé comme « sol lessivé ». En se référant à ce qui a été observé dans le sol « paranormal » de la caténa du bois de Bertem, il est possible d'interpréter l'accentuation du caractère « lessivé » comme étant également le résultat de l'alternance périodique de conditions pédoclimatiques humides et sèches. L'affectation à la culture prolongée et la formation subséquente de « terre-à-briques » doivent y être étroitement liées.

Sol « sous-développé » sur mi-pente (Ohain)

Ce profil, classé comme « sol brun lessivé tronqué », est situé à mi-pente; sa déclivité n'est pas très accentuée (8-9 %). La macromorphologie reflète une activité biologique assez favorable, tout en dénotant déjà des signes de dégradation. En fonction de la position topographique du profil, on constate que l'épaisseur des horizons A_p et B est moins importante, d'autant plus que le solum semble avoir été tronqué. On observe néanmoins de notables « coatings » enrobant les agrégats de l'horizon B_2 . Le profil se présente comme une « terre-à-briques » très légèrement dégradée.

Micromorphologie. — L'horizon A_p possède une belle structure caractérisée par l'assemblage du type intertextique (remplissage intergranulaire par des complexes argilo-ferriques immobiles, qui localement peuvent être labilisés par la présence de colloïdes humiques). Dans le B_2 et le B_{31} l'assemblage intertextique se maintient (la labilisation colloïdale a disparu) et est accompagné de Braunlehm-Teilplasma formé *in situ*. Dans le B_{32} l'assemblage

intertextuelle et le Braunlehm-Teilplasma *in situ* s'amenuisent progressivement. Dans l'horizon C ils disparaissent : les quelques phénomènes de mobilité plasmatisque, qui s'y rencontrent encore, se rapportent à du Braunlehm en migration.

Des phénomènes de décomplexation colloïdale ne s'observent que très sporadiquement au dépens du Braunlehm-Teilplasma *in situ* de l'horizon B (B_2 , B_{31} , B_{32}).

Comparé au « sol brun lessivé » de la caténa du bois de Bertem, on constate une très grande analogie dans les aspects du plasma et l'absence de toute caractéristique qui indiquerait une accentuation du caractère « lessivé ». Micromorphologiquement, le sol en question est donc aussi un « sol brun lessivé ». La position topographique est certainement un facteur qui aide à freiner l'évolution du profil vers le stade « lessivé ». Que cette « terre-à-briques » soit très légèrement dégradée, on le remarque en observant les sporadiques phénomènes de décomplexation colloïdale. L'étude du profil normal de cette même caténa nous éclairera davantage à ce sujet.

Sol « normal » sur légère pente (Ohain)

Ce profil, classé comme « sol lessivé », se trouve sur un sommet de plateau légèrement ondulant (2-3 %). La macromorphologie dénote une activité biologique peu favorable ainsi que des signes évidents de dégradation. L'épaisseur des horizons A_p et B apparaît comme normale, le lessivage semble assez prononcé. Les « coatings » enrobant les agrégats apparaissent localement sous un aspect dégradé. Ceci est sensible dans le B_{22} et le B_{23} . Il en résulte un profil de « terre-à-briques » légèrement dégradée.

Micromorphologie. — L'horizon A_p présente une structure caractérisée par la labilisation localement accentuée (matière organique !) des complexes argilo-ferriques immobiles de l'assemblage du type intertextuelle. Dans l'horizon de transition A_3B_1 , la même structure prévaut, tandis que l'assemblage intertextuelle (la labilisation colloïdale a disparu) se précise avec adjonction de nombreux points de floculation ferrique irréversible (assemblage du type Braunerde). Dans l'horizon B_2 (B_{21} , B_{22} , B_{23}) cet assemblage caractéristique se maintient plus ou moins bien. Il est cependant toujours accompagné de Braunlehm : celui-ci se présente essentiellement sous sa forme mobile intergranulaire (argile formée *in situ*). En de nombreux endroits du B_{22} et du B_{23} , on constate que ce Braunlehm formé *in situ* est accompagné d'importants phénomènes de floculation ferrique par décomplexation. Il est intéressant d'observer le fait que ces phénomènes se présentent généralement dans le voisinage des pores. Cette localisation laisse supposer que des

phénomènes d'oxydo-réduction peuvent être intervenus sous l'influence de matières organiques en suspension aqueuse. Dans le B₃, le Braunlehm formé *in situ* disparaît. Les intenses phénomènes de floculation ferrique par décomplexation disparaissent également. Par contre, on y observe du Braunlehm en migration (« coatings »).

On remarque donc que les *phénomènes de décomplexation colloïdale* au dépens du Braunlehm-Teilplasma se présentent abondamment et finissent par caractériser une partie de l'horizon B₂ (B₂₂, B₂₃). Il y a là un véritable phénomène de « Vererdung » (« *vererdeter Braunlehm* », W. L. KUBIENA [17, 18]).

Ces phénomènes de décomplexation colloïdale apparaissent ainsi comme les plus sûres indications de la dégradation qu'à subie le profil. Cette dégradation inclut, dans ce cas, le freinage de la mobilité naturelle des plages à Braunlehm-Teilplasma. Microscopiquement, le caractère « lessivé » du profil sur le terrain ne se reflète donc pas par une intense migration du Braunlehm à l'intérieur des agrégats.

Par contre, ce caractère est souligné par les phénomènes de labilisation que subissent les complexes argilo-ferriques immobiles dans les horizons Ap et A₃B₁. En supposant l'intervention de matières organiques en circulation dans la décomplexation des complexes ferri-siliciques argileux de l'horizon B₂ (B₂₂, B₂₃), on se trouve en présence de phénomènes qui indiquent un *lessivage* accentué en profondeur. La dégradation des « coatings » qui enrobent les agrégats du même horizon en est un autre aspect.

En conclusion, il apparaît clairement que les profils étudiés à formation de « terre-à-briques » dénotent la succession : « non dégradé », « très légèrement dégradé », « légèrement dégradé ». En résumé, on peut dire que la gradation précitée se confirme en fonction de l'intensité avec laquelle les phénomènes de décomplexation colloïdale s'affirment au dépens du Braunlehm intergranulaire formé *in situ*.

De la présente étude comparative, il ressort que la micromorphologie des sols de la Région limoneuse dénote de sensibles différences selon le cas que l'on considère les profils sous couvert végétal naturel ou sous culture.

2. L'Ardenne condrusienne

La région bien individualisée qu'est l'Ardenne condrusienne doit son vocable à l'analogie prononcée qu'elle présente avec la région des hauts plateaux de l'Ardenne. Cette analogie s'appuie avant tout sur la présence, comme substrat, des mêmes roches éodevoniennes. Ces roches, généralement peu perméables, correspondent à la zone

de bordure septentrionale du Bassin de Dinant et donnent naissance à une longue bande densément boisée, au relief légèrement ondulant ou franchement aplati. En Entre-Sambre-et-Meuse, cette région s'appelle Marlagne; à l'est de la Meuse (jusqu'au Massif de la Vesdre) elle s'identifie sous son vocable propre d'Ardenne condrusienne.

Grâce au levé systématique de la Carte des Sols, nous savons que le substrat paléozoïque est recouvert, de façon assez continue, par un manteau de lœss. Celui-ci, d'origine périglaciaire comme le lœss de la Région limoneuse, n'atteint jamais une épaisseur considérable. Dans le secteur (étudié ici) de Seraing — Neuville-en-Condroy — Plainevaux la couverture lœssique est généralement continue. Dans les petites dépressions les profils présentent souvent le matériel d'altération (*in situ* ou soliflué) du substrat paléozoïque (R. MARÉCHAL [21]).

Il nous a été possible d'étudier une *caténa hydromorphe* dans le bois de la Vecquée à Seraing. Celle-ci comporte cinq profils (nous en étudierons trois), allant du type le moins bien drainé au type le mieux drainé de la région. Ce sont ces conditions particulières de drainage qui impriment une morphologie propre à chacun des profils sur le terrain. Nous verrons que l'étude micromorphologique souligne certains aspects de façon saisissante.

Sol particulièrement humide

Ce profil, classé comme « Low-Humic Gley soil », est situé dans une petite dépression. Il porte une association *Quercetum betule-tum* assez typique. Le sol s'est développé dans du limon hétérogène (lœss + limon d'altération du substrat paléozoïque) avec une zone de solifluxion au-dessous de 50 cm. La macromorphologie du profil est caractérisée par la présence de taches de rouille prononcées dans l'horizon A₂.

Micromorphologie. — L'horizon A₁ présente une structure du type Moder. Les « taches de rouille » sont particulièrement prononcées dans l'horizon A₂G. A partir de l'horizon BG elles diminuent fortement en nombre et restent plutôt confinées au voisinage des pores. Cette diminution des taches de rouille va de pair avec l'augmentation en profondeur des phénomènes de mobilité colloïdale : Braunlehm en tant que Teilplasma essentiellement formé *in situ* au-dessus et au contact de la zone de solifluxion (BG), Braunlehm formant tout le plasma dans la zone de solifluxion (BdG) et surtout au contact de celle-ci avec le substrat peu altéré (horizon DG). Remarquons néanmoins la persistance des phénomènes de gleyification sur toute l'épaisseur du profil.

La concentration en taches de rouille dans l'horizon A₂G est en rapport direct avec le manque périodique en fer trivalent qui y règne (C. I. RICH et S. S. OBENSHAIN [26]), leur diminution dans les horizons inférieurs du profil semble être en relation avec les meilleures conditions de drainage interne qui caractérisent la zone de solifluxion. La biréfringence, que produit le plasma, souligne très bien l'importance qu'acquiert la mobilité *in situ* de l'argile dans l'horizon BG. Cette dense répartition est en accord avec les données expérimentales de C. BLOOMFIELD [4, 5, 6]. N'oublions pas non plus que la mobilité du fer s'accroît fortement dans des conditions anaérobies (R. BÉTRÉMIEUX [3]).

Sol humide

Ce profil, classé comme « Gray-Brown Podzolic soil intergrade to Low-Humic Gley soil », est situé sur pente très légère. Il porte une association *Querceto-Betuletum* assez typique et s'est développé dans le lœss. La macromorphologie du profil est caractérisée par l'absence totale de taches de rouille dans l'horizon A et par leur présence prononcée dans l'horizon B. Les horizons A et B sont nettement différenciés.

Micromorphologie. — L'horizon A₁ présente une structure du type Moder, montrant néanmoins quelques affinités avec le type Mull (« mullartiger Moder »). L'élément « Gray-Brown Podzolic » du sol s'affirme dans le type « bleached sand » de la structure de l'horizon A₂ et dans la présence d'un stade initial de structure intertextique (complexes argilo-ferriques floclés) à l'horizon B. Dans tout l'horizon (Bg) s'ajoutent cependant de nombreuses « taches de rouille ». Contrairement à ce qui a été observé dans le profil particulièrement humide, les phénomènes de mobilité colloïdale se rapportent davantage au Braunlehm-Teilplasma en migration, le long des pores et fentes de dessiccation, qu'au Braunlehm-Teilplasma formé *in situ*. Les « fentes de dessiccation » jouent un rôle très important dans un sol de ce genre, non seulement du point de vue de leur quantité, mais surtout parce que leur présence souligne particulièrement les phénomènes de mobilité colloïdale sous forme de translocation, amorçage de la migration proprement dite.

La micromorphologie de ce profil est donc avant tout définie par l'absence de taches de rouille dans l'A₂ et par la nette importance qui découle de la migration colloïdale au sein des *fentes de dessiccation*. La micromorphologie confirme ainsi la classification du sol, faite sur le terrain, et apporte en plus un élément nouveau, susceptible d'expliquer certaines conditions sous lesquelles peut s'opérer la migration colloïdale.

Sol sec

Ce profil, classé comme « Gray-Brown Podzolic soil » (sol brun lessivé), est situé au haut d'une légère pente. Il porte une association *Fagetum (Betuletum)* et s'est développé dans le loëss. La macromorphologie du profil est caractérisée par l'absence totale de taches de rouille dans l'horizon A et par leur présence très sporadique dans l'horizon B. Des indices sûrs de gleyification manquent dans tout le profil. Les horizons A et B sont très bien différenciés.

Micromorphologie. — L'horizon A₁ possède une structure du type Moder; celui-ci présente cependant beaucoup d'affinités avec le type Mull (« mullartiger Moder »). Dans l'horizon A₂ la structure s'apparente à celle du type « bleached sand » et s'ajoute de nombreuses fines « concrétions amygdaliformes ». Dans l'horizon B, la structure du type intertextique est nettement présente et a, de ce fait, bien dépassé le stade initial signalé dans le « sol humide ». On constate cependant que nulle part la trame intertextique (remplissage intergranulaire par des colloïdes floculés) n'est accompagnée de microfloculations ferriques, comme c'était le cas dans le « sol brun lessivé » de la caténa de Bertem : l'assemblage du type Braunerde ne se présente donc pas dans la caténa du bois de la Vecquée. Il y a dans ce cas un sérieux indice de drainage. Que celui-ci ne soit pas encore très favorable dans le « sol brun lessivé » qui nous occupe ici, apparaît clairement en constatant la présence de quelques petites « taches de rouille » dans l'horizon B. Le Braunlehm s'y partage entre l'argile formée *in situ* et l'argile en migration. Ce dernier aspect de la mobilité colloïdale se manifeste de façon particulière le long des innombrables fentes de dessiccation et va en augmentant vers le bas du solum.

La micromorphologie de ce profil nous apprend la présence de trois phénomènes, dont chaque est une indication du fait que le « sol brun lessivé » se trouve encore (fortement) influencé par les conditions de drainage qui règnent dans la caténa. Ces phénomènes sont : la présence de concrétions amygdaliformes, celle de quelques taches de rouille et l'absence de l'assemblage du type *Braunerde*. Les *concrétions amygdaliformes* ont été reconnues et définies comme telles par W. L. KUBIENA [15]. Il est utile de rappeler que la présence de ces formes microscopiques dénote un pédoclimat lié à des alternances périodiques de conditions humides et sèches. Cette conception a été confirmée dans une étude micromorphologique concernant les sols sur loëss en Iowa (J. B. PETERSON [25]) et dans la présente étude réalisée en Belgique. La persistance des *fentes de dessiccation* dans l'horizon B (et des phénomènes de mobilité col-

loïdale qui y sont associés) est une précieuse indication dans le même sens.

En conclusion, il apparaît que l'étude micromorphologique comparative des profils de la caténa hydromorphe du bois de la Vecquée fait admirablement ressortir l'influence que l'épaisseur du manteau de loëss exerce sur les conditions du drainage interne. La micromorphologie confirme ainsi les observations faites sur le terrain; elle fait, en outre, ressortir ou découvrir certains détails de la plus haute importance. Citons, parmi ces détails, la distribution exacte et l'ampleur des *taches de rouille*, le rôle éminent que jouent les *fentes de dessiccation* dans la localisation originelle des phénomènes de migration colloïdale ainsi que la présence des *concrétions amygdaliformes* dans l'horizon A₂.

On ne saurait assez insister sur l'importance des *fentes de dessiccation*, car elles sont le résultat d'alternances périodiques d'humidité excessive et de sécheresse accentuée au sein du solum. De préférence, elles sont localisées dans les plages plasmatisques peptisées (*Braunlehm-Teilplasma* formé *in situ*). Le tapissage de leurs parois par des « coatings » ou leur remplissage pur et simple (vu l'étroitesse des fentes) de complexes colloïdaux mobiles indiquent clairement qu'elles servent efficacement la « translocation » du *Braunlehm-Teilplasma* formé *in situ*. En fait, cette translocation s'identifie à la « migration ». Néanmoins, la distance parcourue par le plasma mobile différencie les deux phénomènes. Il est à noter que la présence de nombreuses fentes de dessiccation ne va pas nécessairement de pair avec d'importants phénomènes de migration le long des pores. Cette dernière forme de mobilité plasmatisque (*Braunlehm-Teilplasma en migration*) semble essentiellement liée à l'aspect « lessivé » que l'on rencontre dans les sols sur épais manteau de loëss (voir plus haut : Sols sous forêt de la Région limoneuse).

B. LE PROBLEME DU BRAUNLEHM

Dans la description des sols étudiés on aura remarqué que le *Braunlehm-Teilplasma* de la succession « sol brun » → « sol brun lessivé » → « sol lessivé » peut se présenter aussi bien comme argile formée *in situ* qu'en tant qu'argile *en migration* (« coatings »). Nous avons vu que la proportion respective des deux aspects du *Teilplasma* détermine le *degré de lessivage* atteint dans le profil. Notre constatation n'est pas en accord avec celles de W. L. KUBIENA [18], car d'après cet auteur la transition « Parabraunerde → « gebleichte Parabraunerde » (que nous mettrons, sous quelque réserve, sur pied égal avec la transition « sol brun les-

sivé » → « sol lessivé ») serait marquée simplement par l'augmentation du nombre des « Leitbahnen »(9) et par l'accroissement du Braunlehm-Teilplasma en migration (« coatings »). Kubierna ne cite ni l'existence ni le rôle que pourrait jouer le Braunlehm-Teilplasma formé *in situ*, au sein de l'assemblage de base du type Braunerde. Cependant, nos observations ont conclu à l'importance qu'il fallait attribuer à ce dernier aspect du Braunlehm dans la transition « sol brun » → « sol brun lessivé ». Nous avons vu, il est vrai, que le Braunlehm formé *in situ* avait tendance à disparaître (par décomplexation colloïdale) dans le stade du « sol lessivé ».

En ce qui concerne les sols de la « caténa » hydromorphe, nos observations sont analogues : à savoir, la part importante qu'il convient d'attribuer au Braunlehm-Teilplasma formé *in situ* dans le profil le plus mal drainé (« Low-Humic Gley soil »). Dans pareil sol, assimilable à un « Pseudogley », Kubierna est plus explicite, ajoutant que le « Braunlehmplasma ist jedoch, besonders im g/(B)-Horizont, nur zum Teil in Leitbahnen gesammelt und konzentriert, es ist vielmehr vorwiegend in unregelmässigen Flecken im Grundgefüge enthalten ». Nous savons, à présent, que ces plages de Braunlehm formé *in situ* sont plus étendues que dans le cas du « sol brun lessivé » normalement drainé. Elles indiquent néanmoins, dans les deux cas, la présence d'une mobilité plus ou moins intense au sein du plasma, ce dernier s'avérant encore immobile dans son ensemble (grâce à l'existence de l'assemblage de base du type Braunerde). Nous avons également observé que ces importantes plages de Braunlehm possèdent souvent de nombreuses fines fentes de dessiccation, le long desquelles se remarque aisément une *translocation* de matière colloïdale qui semble nettement amorcer la *migration* proprement dite. Nous ne sommes pas loin de penser que c'est dans ces phénomènes qu'il faut véritablement chercher l'origine, dans l'horizon B, de toute mobilité colloïdale sous climat tempéré humide, l'altération du solum, la translocation initiale des colloïdes mobiles et l'amorçage de la migration se faisant dans des conditions pédoclimatiques à fluctuations périodiques d'humidité et de sécheresse.

En tenant compte de la répartition du Braunlehm-Teilplasma formé *in situ* dans les caténas étudiées, on remarquera que sa présence est généralisée dans l'horizon B de tous les profils. On doit néanmoins s'attendre à son absence dans les sols réellement « sous-

(9) A notre connaissance, Kubierna n'a jamais fait de distinction entre les « Leitbahnen » (« conducting channels ») à l'intérieur des agrégats (pores, fentes) et celles qui passent **autour** des agrégats (espace limité entre deux agrégats). Il s'agit vraisemblablement toujours de la première catégorie.

développés ». Cette importante constatation confirme les récentes expériences entreprises aux E.U.A. sur la migration de l'argile. Elle est en contradiction avec la conception de Kubiena, selon laquelle «die mitteleuropäischen Lessivés zeigen immer das Auftreten des Braunerdegrundgefüges und des Braunlehm-Teilplasmas in Leitbahnen, während die tropischen und subtropischen Formen als gebleichte Braunlehme in allen Teilen des B-Horizontes ein Gefügeplasma von Braunlehmcharakter haben, auch in der Grundmasse ». Dans ce sens, tous nos profils avec *Braunlehm* formé *in situ* dans l'horizon B seraient des sols à pédogénèse (sub)tropicale, hypothèse qu'il faut infirmer de façon catégorique.

C. RESUME ET CONSIDERATIONS GENERALES

Rappelons que les sols étudiés sur loess se rapportent à la Région limoneuse (sols sous forêt et sous culture) et à l'Ardenne condrusienne (sols sous forêt). En dehors de ces sols-ci, d'autres ont encore été examinés dans les mêmes régions. Il s'agit également de sols sous forêt (forêt de Meerdaal, au sud de Louvain) et de sols sous culture (secteur de Jodoigne e.a.). Toutes les observations aboutissent à des considérations analogues, dont voici une brève récapitulation des points essentiels.

La nature des sols étudiés a permis leur groupement en trois caténas, dont deux sous forêt. En fait, seules les deux caténas de la Région limoneuse correspondent à la définition que G. Milne donna à « une succession de sols qui peuvent être différenciés en fonction de la topographie », la « caténa » hydromorphe de l'Ardenne condrusienne étant plutôt une « séquence hydrologique » (R. GLENTWORTH & H. G. DION [14]).

Les successions observées sur le terrain doivent se retrouver dans les divers aspects de la micromorphologie. Telles sont en effet nos constatations et ont été celles d'autres chercheurs (W. KUBIENA [15, 16, 17, 18]; E. FREI & M. G. CLINE [13]; H.-J. ALTE-MÜLLER [1, 2]). Il y a tout d'abord le *degré de lessivage* qui se retrouve dans l'intensité avec laquelle le Braunlehm migre, c.-à-d. forme des « coatings » mobiles tapissant la paroi des pores (et fentes de dessiccation). Cette *migration* — qui emprunte les « conducting channels » à l'intérieur des agrégats — ne se développe pas nécessairement en parallèle avec la migration, qui suit le système conducteur naturel qu'est la limite entre deux éléments structuraux et forme ainsi des « *enrobages* » (appelés fréquemment « coatings » ou « clay skins » sur le terrain) *autour des agrégats*. Au « degré de lessivage » il faut associer l'intensité avec laquelle le Braunlehm se forme *in situ*, au sein du plasma

qui intervient dans le remplissage intergranulaire. Cet aspect du Braunlehm représente la part de mobilité acquise par le plasma, resté immobile dans son ensemble. La « mobilité » de ce « Teilplasma » est relative, puisqu'il ne s'agit pas de « migration » dans le sens de translocation de matière colloïdale, mais plus simplement de l'état colloïdal dans lequel se trouve partiellement le plasma. Lorsque le « degré de lessivage » atteint une certaine intensité (comme c'est le cas du « sol lessivé » et de la « terre-à-briques » légèrement dégradée), le Braunlehm formé *in situ* subit une décomplexation colloïdale graduelle. L'observation au microscope révèle que cette *décomplexation* correspond à une accumulation localisée d'oxyde de fer floclulé au dépens du complexe mobile. Il est permis d'admettre que cet oxyde de fer s'est libéré du complexe, qui le liait aux minéraux argileux et à la silice, cette dernière s'étant remise en mouvement et ayant ainsi fait sauter le lien avec l'oxyde de fer au sein de la « Gelhülle » qui protège les minéraux argileux (*sensu* H. PALLMANN *et al.* [24]).

A coté du « degré de lessivage » il y a les aspects de la *gleyification* qui se manifestent d'une part par l'importance graduelle qu'acquiert le plasma mobile (Braunlehm, dont le caractère *T e i l p l a s m a* s'étend jusqu'à envahir tout le *p l a s m a*) et d'autre part par l'extension exacte que présentent les *taches de rouille*. L'aspect typique de celles-ci permet de bien les distinguer des *différentes formes que peut prendre l'oxyde de fer*. Cette constatation est de la plus haute importance, parce que les phénomènes de gleyification ne définissent qu'une partie de la micromorphologie, l'autre partie étant régie, dans une mesure plus ou moins grande; par les phénomènes de lessivage (dégradation de l'assemblage du type Braunerde, décomplexation du Braunlehm formé *in situ*) et les conditions de drainage parfois particulières (présence de *concrétions amygdaliformes*, importance des *fentes de dessiccation*). Toutes ces formes peuvent être rencontrées dans un même profil « gleyifié ».

Il y a enfin le problème de la *dégradation des sols sur loess sous culture* (« terre-à-briques »). Ici, il a été constaté que la dégradation des « enrobages » macroscopiques ne va pas nécessairement de pair avec une évolution spécifique des « coatings » tapissant pores et fentes de dessiccation, mais s'accompagne de la décomplexation graduelle du Braunlehm formé *in situ*. L'évolution des coulées plasmatiques, tant macro- que microscopiques, est néanmoins intimement liée au « degré de lessivage » atteint dans le profil (voir plus haut).

Parmi les phénomènes essentiels qui se dégagent de l'étude micromorphologique des sols étudiés plus haut, il faut encore citer un

point capital. En effet, jamais l'examen microscopique de l'horizon C n'a révélé l'existence d'une association à Braunlehm. Le plasma est d'ailleurs tellement peu représenté, qu'il se confond aisément avec les composants du squelette omnidominant. Tout au plus peut on parfois reconnaître quelques « coatings » tapissant la paroi d'un pore. Il s'agit alors d'un phénomène qui continue localement, en profondeur, ceux qui abondent dans l'horizon B₃. Ainsi l'hypothèse de Kubiena, selon laquelle le loess dénoterait une ancienne pédogénèse subtropicale, se trouve une fois de plus infirmée.

En guise de premières conclusions, il nous est permis d'écrire que :

- la présence d'abondantes coulées plasmatiques autour des agrégats (« enrobages ») dans l'horizon B₂ des sols étudiés ne s'avère pas toujours liée à celle d'un lessivage prononcé empruntant les « conducting channels » à l'intérieur des agrégats (formation de « coatings » sur la paroi des pores);
- sous culture, la dégradation que subissent les « enrobages » de l'horizon B₂ se retrouve dans la décomplexation graduelle des plages de Braunlehm formé *in situ*;
- les fentes de dessiccation sont d'importants facteurs dans la mobilité du plasma, puisqu'elles interviennent dans la translocation primaire des colloïdes mobiles, préfigurant dans de nombreux cas la migration proprement dite;
- en outre, les fentes de dessiccation confirment le cas du sol « paranormal » de la caténa du bois de Bertem, où les fluctuations pédoclimatiques saisonnières prononcées sont encore liées à d'autres phénomènes caractéristiques;
- compte tenu des données et hypothèses de Kubiena, nos observations des sols actuels sur loess permettent une nette détermination du degré de lessivage et des phénomènes de gleyification, sans avoir recours à une pédogénèse (sub)tropicale.

II. LES SOLS FOSSILES

Les sols fossiles (ou « paléosols ») sont des sols dont la pédogénèse n'est pas l'expression des conditions climatiques actuelles. Parmi ces sols nous ne considérerons que les sols « enfouis » (« buried soils »), c.-à-d. des sols anciens qui sont recouverts de sédiments plus récents dans lesquels un ou plusieurs nouveaux profils se sont développés (D. A. OSMOND [22, 23]).

Les sols rouges sont connus depuis longtemps en Belgique. La Carte Géologique du Royaume les renseigne fréquemment comme altération rouge de la roche en place. Ce n'est que beaucoup plus tard (R. TAVERNIER [27]) que ces formations pédologiques rubifiées

s'avèreront souvent liées à certains facteurs topographiques, notamment l'existence d'anciennes formes du relief, telles que les plateaux interfluviaux, les crêtes d'érosion (collines de la Flandre méridionale et du Hageland, tiges du Condroz) et plusieurs replats en Moyenne- et Haute Belgique. Par ailleurs, l'exemple des lèss superposés à lehmification respective est suffisamment connu (G. MANIL & F. DELECOUR [20]).

Généralement les sols rouges ont subi une importante érosion pré-würmienne, de sorte que seule la partie inférieure du solum subsiste e.a.m. le B₃ de l'horizon d'accumulation. Les observations se limitent donc à des *phénomènes localement conservés*.

Aucun sol fossile n'a été étudié sur calcaire. Tous se rapportent à des *substrats siliceux*, dont voici l'énumération :

- schistes psammitiques de l'Emsien à Beausaint (Ardenne);
- poudingue du Couvinien à Vierset (Condroz);
- poudingue et grès du Couvinien à Marchin (Condroz);
- psammites du Famennien à Fraiture et à Haillot (Condroz);
- argile (sableuse) du Panisielien à Semmerzake (Flandre);
- sables et argiles du Chattien résiduaire à Emptinne et Pailhe (Condroz);
- sables recouverts du gravier Onx à Seilles (Hesbaye).

Sans distinction, on peut dire que les plages argileuses de tous les assemblages observés se rapportent à l'aspect *Rotlehm*. Ce dernier contraste singulièrement avec l'assemblage *intertextique* des plages sableuses à colloïdes floculés ainsi qu'avec les infiltrations plasmatiques d'origine plus récente qui suivent fentes ou pores et sont à rapporter à l'aspect *Braunlehm*. Ce dernier aspect est tout à fait analogue à celui que l'on rencontre *en migration* dans les sols récents sur lèss. Dans le cas du *Rotlehm-Teilplasma* on se trouve par contre réellement en présence d'une forme d'assemblage (sub)tropicale.

Tous les sols fossiles étudiés sont donc essentiellement caractérisés par la présence de *Rotlehm* dans les plages argileuses de l'assemblage. Cette constatation est encore un argument en faveur de l'origine récente du *Braunlehm-Teilplasma* dans nos sols lèssiques.

III. SOLS DIVERS

1. Sols d'altération sur calcaire

Le but de cette étude a été d'observer comment l'évolution de la Protorendsina jusqu'à la Terra fusca, traitée par W. L. KUBIENA [16, 17] pour les sols centreuropéens, se retrouve en

Belgique. La micromorphologie d'une intéressante succession, échantillonnée dans une même carrière à Seilles, confirme les observations de Kubiena.

2. Sols bruns

Les « sols bruns » et « sols bruns lessivés », échantillonnés en divers points au sud de la Région limoneuse, dénotent les mêmes assemblages que ceux qui ont été traités en détail dans le premier chapitre.

3. Sols hydromorphes

Les profils étudiés en Ardenne sont caractérisés par d'importants phénomènes de mobilité colloïdale, en tous points analogues à ceux des profils mal drainés de la « caténa » du bois de la Vecquée à Seraing.

CONCLUSIONS GENERALES

1. Dans les régions lœssiques de la Belgique centrale, où le sol normal appartient au type « sol brun lessivé » les horizons B sont caractérisés par la présence d'un net assemblage à *Braunlehm* plus ou moins dominant, à subdiviser en *Braunlehm* formé *in situ* et/ou *Braunlehm* en migration.

2. L'importance quantitative respective de ces deux aspects de l'assemblage à *Braunlehm* est en rapport étroit avec les différentes gradations du caractère « lessivé », allant du « sol brun lessivé » au « sol lessivé ». Pour les sols hydromorphes, c'est toujours le *Braunlehm* formé *in situ* qui domine dans l'horizon B.

3. Le fait que les sols des régions lœssiques se sont formés dans des sédiments du Pléistocène supérieur et se sont ainsi développés dans un climat postglaciaire, est déjà en contradiction avec la conception de Kubiena, qui veut que l'assemblage à *Braunlehm* formé *in situ* soit un indice d'altération (sub)tropicale. La micromorphologie comparée des sols fossiles (caractérisés par le *Rotlehm*) et des sols récents étudiés (caractérisés par le *Braunlehm*) infirme également cette conception.

4. La présence ou l'absence de *Braunlehm*-Teilplasma nous semble moins être la conséquence d'une température absolue que de l'interaction entre la précipitation et la température. Lorsqu'il se présente régulièrement des périodes, durant lesquelles la quantité d'eau de précipitation reste au-dessous de la quantité utilisée par l'évapotranspiration des plantes, le sol s'assèche fortement et est soumis au rétrécissement. Dans ces conditions on réunit des circonstances favorables pour l'amorçage de la migration, telles que la

présence des fentes de dessiccation nous l'apprend au microscope. Pareilles circonstances se rencontrent dans les régions loessiques de la Belgique, où précisément le type « sol brun lessivé » se rapporte au sol « normal ».

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ALTEMULLER, H.-J. — Mikroskopische Untersuchung einiger Löss-Bodentypen mit Hilfe von Dünnschliffen. *Zschr. Pflz. Düng. u. Bodenk.*, LXXII (1956), S. 152-167.
- [2] ALTEMULLER, H.-J. — Morphologische Untersuchungen zur Strukturbildung an einigen Bodentypen aus Löss. *Rapp. VIe Congr. Intern. Sci. du Sol*, B, pp. 257-263. Paris, 1956.
- [3] BETREMIEUX, R. — Etude expérimentale de l'évolution du fer et du manganèse dans les sols. *Ann. Agron.* (1951, n° 3), pp. 193-295. Paris, 1951.
- [4] BLOOMFIELD, C. — Some Observations on Gleying. *Journ. Soil Sci.*, I, pp. 205-211. Oxford, 1950.
- [5] BLOOMFIELD, C. — Experiments on the Mechanism of Gley Formation. *Journ. Soil Sci.*, II, pp. 196-211. Oxford, 1951.
- [6] BLOOMFIELD, C. — The Distribution of Iron and Aluminium Oxides in Gley Soils. *Journ. Soil Sci.*, III, pp. 167-171. Oxford, 1952.
- [7] BREWER, R. — A Petrographic Study of two Soils in relation to their Origin and Classification. *Journ. Soil Sci.*, VII, pp. 268-279. Oxford, 1956.
- [8] BREWER, R. — Optically oriented Clays in Thin-Sections of Soils. *Rapp. VIe Congr. Intern. Sci. du Sol*, B, pp. 21-25. Paris, 1956.
- [9] BREWER, R. — Report of Overseas visit. In : OSMOND, D. A. — Micropedology (*Soils a. Fertil.*, 1958).
- [10] DEB, B. C. — The Movement and Precipitation of Iron Oxides in Podzol Soils. *Journ. Soil Sci.*, I, pp. 112-122. Oxford, 1949.
- [11] DUCHAUFOR, P. — Note sur la solubilisation du fer par la matière organique dans certains sols. Texte stencilé (1952).
- [12] DUDAL, R. — Etude morphologique et génétique d'une séquence de sols sur limon loessique. *Agricultura*, I, 2^e sér., n° 2, pp. 117-163. Louvain, 1953.
- [13] FREI, E. & CLINE, M. G. — Profile Studies of Normal Soils of New-York: II. Micromorphological Studies of the Gray-Brown Podzolic — Brown Podzolic Soil Sequence. *Soil Sci.*, LXVIII, pp. 333-344. Baltimore, 1949.
- [14] GLENTWORTH, R. & DION, H. G. — The Association or Hydrologic Sequence in certain Soils of the Podzolic Zone of North-East Scotland. *Journ. Soil Sci.*, I, pp. 35-49. Oxford, 1949.
- [15] KUBIENA, W. L. — Micropedology. *Ed. Collegiate Press Inc.* Ames, Iowa, 1938.
- [16] KUBIENA, W. L. — Entwicklungslehre des Bodens. *Ausg. Springer Verlag.* Wien, 1948.
- [17] KUBIENA, W. L. — Bestimmungsbuch und Systematik de Böden Europas. C.S.I.C. Madrid, 1953. *Ausg. Ferdinand Enke Verlag.* Stuttgart, 1953.

- [18] KUBIENA, W. L. — Zur Mikromorphologie, Systematik und Entwicklung der rezenten und fossilen Lössböden (1955). *Eiszeitalter und Gegenwart*, VII, S. 102-112. Oehringen, 1956.
- [19] LARUELLE, J. — Quelques aspects de la microstructure des sols du nord-est du Congo belge. *Pédologie*, VI, pp. 38-57. Gand, 1956.
- [20] MANIL, G. & DELECOUR, F. — Identification en Belgique de Löss typiques anté-rissiens, probablement d'âge Mindel. *Bull. Soc. belge Géol.*, LXVI, pp. 203-210. Bruxelles, 1958.
- [21] MARECHAL, R. — Bijdrage tot de Kennis der oppervlakkige Lagen in de Condruzische Ardennen. *Natuurwet. Tijdschr.*, XXXVII, pp. 3-55. Gent, 1955.
- [22] OSMOND, D. A. — Palaeopedology. *Sci. Progr.*, XLIV (1956), pp. 682-687.
- [23] OSMOND, D. A. — Micropedology. *Soils a. Fertil.*, XXI, 1, pp. 1-6. Farnham Royal, 1958.
- [24] PALLMANN, H., FREI, E. & HAMDI, H. — Die Filtrationsverlagerungen hochdisperser Verwitterungsprodukte im Bodenprofil einiger Glieder der schweizerischen Braunerdeserie. *Ber. Schweiz. Bot. Ges.*, LIII (1943), S. 175-191.
- [25] PETERSON, J. B. — The micromorphology of some loess soils of Iowa. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, II (1937), pp. 9-13.
- [26] RICH, C. I. & OBENSHAIN, S. S. — Distribution of free Iron Oxides in four Coastal Plain Soils of Virginia. *Rapp. VIe Congr. Intern. Sci. du Sol*, B, pp. 447-451. Paris, 1956.
- [27] TAVERNIER, R. — Les formations quaternaires de la Belgique en rapport avec l'évolution morphologique du pays. *Bull. Soc. belge Géol.*, LVII, pp. 609-641. Bruxelles, 1948.

MIKROMORFOLOGIE VAN DE BELGISCHE BODEMS

Samenvatting

Inleiding

Bij de studie van de mikromorfologie der bodems van België werd de methode van W. L. KUBIENA toegepast. Deze mededeling behandelt hoofdzakelijk de resultaten van de studie der slijpplaatjes (door middel van het polarisatiemikroskoop). Het mikroskopisch onderzoek met behulp van het stereoskopisch mikroskoop wordt hier slechts toevallig besproken.

Het doel van deze studie is een bijdrage te leveren tot de kennis van de mikromorfologie der Belgische bodems. Hiertoe werden bij de 200 bodemonsters onderzocht. Voor de keuze van de monsters werd gesteund op de gegevens van de Bodemkartering, ten einde profielen voor het onderzoek uit te kiezen die representatief zijn voor grote gebieden van België.

Volgens Kubiena zou het voorkomen van « *Lehmgefüge* » in de grondmassa wijzen op bodemvorming onder (sub)tropische klimaatsomstandigheden, hetzij dat de bodem zelf zich rechtstreeks onder dergelijk klimaat gevormd heeft, hetzij dat het moedermateriaal in een voorafgaandelijke cyclus aan (sub)tropische verwerping onderhevig geweest is. België biedt precies het voordeel *recente bodems* te bezitten waarin « *Lehm-* » en « *Erdegefüge* » naast elkaar optreden.

I. Bodems op löss

In de *Leemstreek* werden bodems onder bos en onder cultuur bestudeerd. Alle behoren tot de associatie van het Zuidbrabants leemgebied. In Bertembos (streek van Leuven) werd een catena met toenemend « lessivé »-karakter (sol brun → sol brun lessivé → sol lessivé) onderzocht. Het is duidelijk uit de studie der preparaten gebleken hoe deze gradatie gepaard gaat met een toename van het beweeglijk plasmagedeelte *in* de aggregaten van de B-horizont: eerst als geleidelijk voorkomen van Braunlehm-Teilplasma *in situ* (overgangsstadium sol brun → sol brun lessivé), daarnaast optreden van migrerend Braunlehm-Teilplasma onder de vorm van *coatings* (stadium van de sol brun lessivé), vervolgens dominantie van het migrerend aspect en zelfs decomplexatie van het voordien *in situ* gevormde Braunlehm-Teilplasma (stadium van de sol lessivé).

In de streek van Waterloo werden een niet, een zeer weinig en een licht gedegradieerd profiel telkens met « terre-à-briques »-vorming onderzocht. De hiermee opvallend geassocieerde kleiaanrijking blijkt mikroskopisch hoofdzakelijk met intense kleivorming (Braunlehm-Teilplasma) *in situ* overeen te komen. Degradatie uit zich niet bepaald door toenemende kleimigratie *in* de aggregaten, doch veeleer door geleidelijke decomplexatie van het intens *in situ* gevormde Braunlehm-Teilplasma. Een toenemend « lessivé »-karakter loopt makroskopisch evenwel parallel met deze verschijnselen.

In de Condrzische Ardennen werd een hydromorfe catena bestudeerd, waarvan de kenmerken in elk profiel duidelijk in functie staan met de dikte van het lössdek. In dit verband laat de mikromorfologische studie toe een nauwkeurig onderscheid tussen de intensiteit van het « lessivé »-karakter en de graad van gleyifikatie te maken. Elk profiel van de catena vertoont een « lessivé »-karakter, terwijl vermindering van de dikte van het lössdek gepaard gaat met geleidelijke toename der *gley*verschijnselen (invloed van het onderdevonisch substraat). De catena van het Bois de la Vecquée te Seraing vertoont alzo alle overgangen van « Gray-Brown Podzolic soil » (sol brun lessivé) naar « Low-Humic Gley soil ». Mikromorfologisch betekent dit dat de enkele amygdalusvormige konkreties van het « Gray-Brown Podzolic »-stadium zich in het « Low-Humic Gley »-stadium tot zeer uitgesproken *voesivlekken* en bijzondere beweeglijkheidsverschijnselen van het ijzer (wegens anaërobe omstandigheden) ontpoppen. In deze bijzondere plasma-area's (Braunlehm-Teilplasma) doen zich typische fijne *droogtescheuren* voor, die blijkbaar als primair medium instaan voor de eerste translokatie en verdere migratie van het kleicomplex.

Rekening houdend met de verbreiding van het *in situ* gevormde Braunlehm-Teilplasma, stelt men vast dat zijn aanwezigheid algemeen is in de B-horizont van alle onderzochte profielen. Slechts in de werkelijke onderontwikkelde bodems is het afwezig. Deze belangrijke vaststelling bevestigt de onlangs in de V.S.A. ondernomen proefnemingen aangaande kleimigratie. Ze is in tegenspraak met de opvatting van Kubiena, als zou het typische optreden van Braunlehm-Teilplasma in de grondmassa slechts bij (sub)tropische bodemvormen voorkomen. Het onderzoek van de Belgische bodems op löss heeft bovendien duidelijk de afwezigheid van Braunlehm-Teilplasma in de C-horizont aangetoond. Hieruit blijkt dat de löss in een voorafgaandelijke vormingscyclus evenmin een (sub)tropische pedogenese ondergaan heeft.

II. Fossiele bodems

Alle bestudeerde fossiele bodems behoren tot de categorie der « buried soils ».

De onderzochte profielen komen voor op zeer verscheidene doch steeds kiezelige substraten :

— psammietische schiefers van het Emsiaan te Beausaint (Ardennen); — basisconglomeraat van het Couviniaan te Vierset (Condroz); — basisconglomeraat en zandsteen van het Couviniaan te Marchin (Condroz); — psammieten van het Famenniaan te Fraiture en te Haillet (Condroz); — (zandige) klei van het Paniseliaan te Semmerzake (Vlaanderen); — zanden en kleien van het residuaire Chattiaan te Emptinne en te Pailhe (Condroz); — zanden door Onxgrint bedekt te Seilles (Haspengouw).

Zonder onderscheid blijken de kleirijke area's van alle onderzochte slijpplaatjes tot het aspekt *Rotlehm* teruggebracht te kunnen worden. Dit aspekt is duidelijk een (sub)tropische « Gefüge »-vorm, die gemakkelijk kan gedifferentieerd worden van het recente « Braunlehmgefüge ». Dit laatste merkt men vaak in het « buried soil »-gedeelte van het profiel als recente plasmmainfiltratie langs poriën en spleten.

III. Diverse bodems

Bijzondere aandacht werd nog besteed aan *verweringsbodems op kalksteen*, om de mikromorfologie van een evolutiereeks van Protorendzina tot Terra fusca in België te onderzoeken. Deze studie bevestigt de gegevens van Kubiena.

Verder werden nog een aantal *bruine bodems* en *hydromorfe bodems* uit Hoog-België bestudeerd. Alle waarnemingen bevestigden de bovenvermelde verschijnselen.

Algemene conclusies

- 1) In het lössgebied van Centraal-België, waar de normale bodem tot het « sol brun lessivé »-type behoort, worden de B-horizonten gekenmerkt door het optreden van een duidelijk « Lehmgefüge », onder de vorm van Braunlehm *in situ* en/of in migratie.
- 2) Het respectievelijk kwantitatief belang van beide aspecten van het Braunlehmgefüge toont een duidelijk verband met de ontwikkelingsgradaties van het « lessivé »-karakter, gaande van « sol brun lessivé » naar « sol lessivé ». In het geval van hydromorfe bodems domineert in de B-horizont steeds *in situ* gevormde Braunlehm.
- 3) Het feit dat deze bodems zich op jong-pleistocene sedimenten voordoen en zich dus tijdens een postglaciaal klimaat ontwikkeld hebben, is in tegenspraak met de opvatting van Kubiena als zou *in situ* gevormd « Lehmgefüge » een aanwijzing zijn voor (sub)tropische vertering. De vergelijkende mikromorfologie van de door ons bestudeerde fossiele en recente bodems strookt evenmin met deze opvatting.
- 4) Het al dan niet voorkomen van « Lehmgefüge » is o.i. niet zozeer een gevolg van de absolute temperatuur dan wel van de wisselwerking neerslag/temperatuur. Wanneer er regelmatig periodes voorkomen, tijdens dewelke het neerslagwater geringer is dan door de evapotranspiratie van de planten verbruikt wordt, droogt de bodem oppervlakkig sterk uit en is aan krimp onderhevig. In deze omstandigheden heeft men gunstige voorwaarden voor het tot stand komen der *migratie* van het kolloïdaal materiaal. De aanwezigheid van droogtescheuren in de preparaten maakt dit verschijnsel zeer duidelijk. Zulke omstandigheden doen zich zo in de lössgebieden van België voor, waar precies het « sol brun lessivé »-type met de normale bodem overeenstemt.

EXCURSION PEDOLOGIQUE DANS LE HAGELAND SEPTENTRIONAL

tenue le 23 mai 1958

L'excursion annuelle de la Société a été consacrée à l'étude des sols du Hageland septentrional. Elle a été dirigée par Messieurs R. TAVERNIER et G. SCHEYS. Une trentaine de membres ont pris part à cette excursion, dont le compte rendu suit ci-dessous.

Présentation d'un nouveau membre

Rijksstation voor Plantenveredeling à Melle, par MM. R. Tavernier et J. Ameryckx.

BODEMKUNDIGE EXCURSIE IN NOORD-HAGELAND

gehouden op 23 mei 1958

De jaarlijkse excursie van de Vereniging was gewijd aan de studie van de bodemgesteldheid van Noord-Hageland. Ze werd geleid door de Heren R. TAVERNIER en G. SCHEYS. Een dertigtal leden namen deel aan deze excursie, waarvan hieronder een verslag volgt.

Voorstelling van een nieuw lid

Rijksstation voor Plantenveredeling te Melle, voorgesteld door de HH. R. Tavernier en J. Ameryckx.

BODEMKUNDIGE EXCURSIE IN NOORD-HAGELAND OP 23 MEI 1958

EXCURSION PEDOLOGIQUE DANS LE HAGELAND SEPTENTRIONAL LE 23 MAI 1958

Verslag door

Compte rendu par

R. TAVERNIER & G. SCHEYS

INLEIDING

Het Hageland

L i g g i n g , b e g r e n z i n g , k l i m a a t

Het Hageland vormt een onderdeel van de zgn. « Gemengde Streek », die de overgang vormt tussen de Zandige Kempen en de Leemstreek. Onder de naam Hageland wordt algemeen het gebied aangegeven dat gelegen is tussen de steden Leuven, Aarschot, Diest en Tienen. Omtrent de nauwkeurige begrenzing van dit gebied is er evenwel geen algemene eensgezindheid.

De noordgrens valt ongeveer samen met de Demervallei, terwijl in het oosten men de valleien van de Demer en de Gete als grens kan beschouwen. Naar het zuiden toe komt geen natuurlijke begrenzing voor; conventioneel wordt de baan van Leuven naar Tienen dikwijls als grenslijn aangenomen. De aldus begrensde oppervlakte bedraagt ca. 50 000 ha.

De gemiddelde jaarlijkse regenneerslag voor het Hageland bedraagt 790 mm, de gemiddelde jaartemperatuur 9,5° C. Er zijn gemiddeld 190 vorstvrije dagen en gedurende 30 dagen per jaar stijgt de luchttemperatuur boven 25° C (L. PONCELET & H. MARTIN, 1947).

F y s i o g r a f i s c h e g e s t e l d h e i d

Het Hageland is een gebied met sterk afwisselend reliëf; men treft er een reeks min of meer evenwijdige, langgerekte heuvelruggen aan met doorgaans vlakke toppen, die bijna continu door-

lopen en die met steile hellingen boven brede vlakke depressies uitsteken.

De genese van dit eigenaardig reliëf, dat sterk contrasteert met dat van de omgeving, werd reeds door verscheidene auteurs onderzocht.

Volgens Ch. STEVENS (1938) zou het Hageland overeenkomen met een grote antiklinale zone, ten noorden begrensd door de Demervallei, die volgens hem samenvalt met een tektonische synklinale zone. Steeds volgens dezelfde auteur was het Hageland oorspronkelijk een aaneensluitend plateau, afhellend in noordelijke richting. Tegen erosie beschermd door de aaneengekitte ijzerzandsteenbanken, werd dit landschap sterk aangevreten door een belangrijk waternet zodat uit deze oorspronkelijke hoogvlakte een typisch tafelland ontstaan is. De hoogvlakte van Pellenberg (100 m) en de hoge heuvelruggen van het meer noordelijk gelegen gedeelte (ca. 60 m) zijn de stille getuigen van dit vroegere reliëf.

Onlangs heeft F. GULLENTOPS (1957), in navolging van P. COGELS & O. VAN ERTBORN en van X. STAINIER, gepoogd het ontstaan van dit heuvelig gebied op een andere wijze te verklaren. Reeds in 1880 hebben COGELS en VAN ERTBORN gewezen op de grote analogie tussen het reliëf van de huidige Noordzeebodem en het reliëf van het Hageland, waaraan ze een mariene oorsprong toeschrijven. Ook X. STAINIER in 1909 vestigt de aandacht op de grote analogie tussen het huidige submariene reliëf van de Noordzee en dit van het Hageland. Hij meent dat het huidig reliëf van het Hageland dient toegeschreven te worden aan de aanwezigheid van de coherente ferrugineuze zandstenen van het Diestiaan, waarvan de « affleurements orientaux de cet étage, rapidement émergés et soulevés lors du retrait de la mer diestienne, ont dû s'altérer facilement et s'agglomérer en grès ferrugineux, car ils étaient très perméables et très glauconieux. » Ook F. GULLENTOPS beschouwt inderdaad de parallel lopende heuvelruggen als zandbanken die bij een snelle regressie van de zee op het strand achterbleven. Deze oorspronkelijke heuvelruggen zijn dan door erosie in latere perioden verder ingesneden geworden.

Topografisch is het mogelijk het Hageland in drie karakteristieke gebieden onder te verdelen.

Het noordelijk gebied gelegen tussen Dijle, Demer en Dal van Houwaart (dal van de Zwarte Beek volgens Ch. STEVENS heeft als hoogste punt Scherpenheuvel (70 m) en bestaat uit typisch langgerekte en parallel lopende heuvelruggen, vaak begroeid met naaldhout, schrale kreupelhoutbossen en braak en die aan het landschap een arm uitzicht geven. Tussen deze uitstekende

ruggen liggen er meer vlakke vruchtbare akkers ingesloten. Kenmerkend voor dit gebied zijn eveneens de steile hellingen van de naar het zuiden geëxposeerde heuvelflanken.

De heuvelruggen en steile hellingen vertonen een overdreven sterke oppervlakkige afwatering, terwijl de lager gelegen vlakke gedeelten meestal matig tot onvoldoend ontwaterd worden. De afvoergeulen en depressies hebben periodiek te lijden van wateroverlast. Op de hellingen treft men menigvuldige intermitterende bronnen of « zijpen » aan.

De afwatering van dit gebied geschiedt hoofdzakelijk langs de bijrivieren van de Demer nl. de Begijnenbeek, de Mottebeek en de Wingebeek.

Het is in dit landschap dat de excursie doorgaat.

De twee andere gebieden met een specifieke fysiografische gesteldheid zijn :

het centraal gedeelte, gelegen tussen het dal van Houwaart en de valleien van Molenbeek (Lovenjoel) en Velpe;

het zuidelijk gedeelte, gelegen tussen Velpe- en Getevallei.

G e o l o g i s c h e g e s t e l d h e i d

Het Hageland vertoont geen geologische eenheid, die duidelijk te onderscheiden is van haar omgeving. Het golvend landschap tussen Demer, Dijle en Gete is een geologisch complex, opgebouwd uit verschillende subhorizontale formaties van tertiaire ouderdom, discontinu met doorgaans dunne kwartaire afzettingen bedekt. Het geologisch substraat is er hoofdzakelijk verantwoordelijk voor het topografisch uitzicht en voor de waterhuishouding van het gebied.

In het noordelijk gedeelte bestaat het substraat nagenoeg uitsluitend uit materiaal van pliocene ouderdom nl. het Diestiaan. Op de droge heuvelruggen bestaat het Diestiaan, dat er aan de oppervlakte komt, uit roodbruin, steenrijk, grof zand dat in de ondergrond overgaat tot groen, zeer glauconietrijk, kleiachtig zand. Sterk ontwikkelde ijzerzandsteenbanken komen tot op grote diepte voor in de ondergrond.

Op de vlakkere delen is het autochtoon Diestiaan oppervlakkig verweerd tot een groene, plastische, zandige klei, die meestal bedekt is met een zandlemige, pleniglaciale afzetting van 50 tot 100 cm dik (soms meer). Op de steile hellingen komt zeer dikwijls het groen, kleiachtig, glauconietrijk zand terug aan de oppervlakte.

Aan de benedenkant van de hellingen is het pleistoceen dekmateriaal vaak bedolven onder jong hellingpuin.

In en naast de valleien komen er laatglaciale en holocene afzettingen voor.

Het geologisch substraat van centraal en zuidelijk Hageland bestaat achtereenvolgens uit: Landenian (Onder-Eoceen), Tongerian (Onder-Oligoceen), Rupelian (Midden-Oligoceen), Bolderian (Midden-Mioceen).

Bodemgesteldheid en landbouw

Ook bodemkundig is het Hageland zeer complex. Het is een typische overgangsstreek tussen de Zuiderkempen (ten noorden van de Demer) en de vruchtbare Haspengouwse leemstreek (ten zuiden van de Gete).

De gronden van de aangrenzende Kempen zijn opgebouwd uit volglaciale zandige tot zwak leemhoudende sedimenten of uit tamelijk grofzandige, holocene stuifzanden langs de rivieren. De pleistocene of holocene afzettingen van Noord-Hageland zijn daarentegen meestal zandlemig of licht zandlemig.

De zandleemgronden van het Hageland verschillen van de Haspengouwse en Brabantse leemgronden in zuiverheid en dikte. De meest lemige bodems van het Hageland bevatten nog steeds ca. 15 % zand en zijn zelden meer dan 120 cm diep; in de leemstreek daarentegen bevat het lössleem zelden meer dan 15 % zand en heeft het meestal een dikte van enkele meters.

Het zandgehalte van het pleistocene dek neemt binnen de grenzen van het Hageland toe van zuid naar noord, terwijl de dikte ervan ongeveer proportioneel afneemt.

Op de meest zandige zandleemgronden van Noord-Hageland verbouwt men de gewassen van de zandstreek, zoals rogge, haver, aardappelen, voederbeten, en daarnaast ook groenten, zoals erwten, bonen, asperges en witloof. Als fruit treft men er hoofdzakelijk perzik, pruim en aardbeien aan.

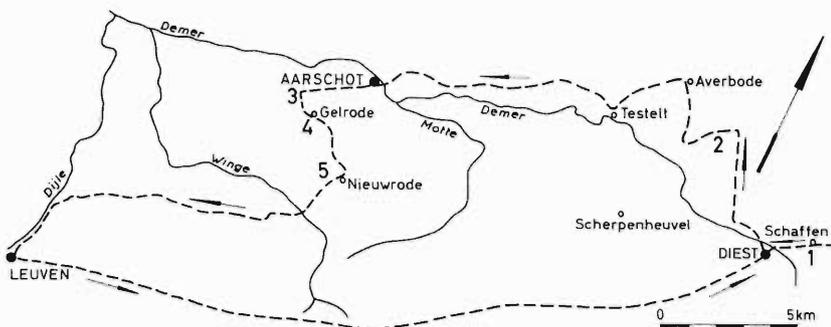


Fig. 1.

Excursieroute — *Itinéraire de l'excursion.*



Foto 1

Schaffen

Typisch gestratificeerd pleistoceen materiaal, gescheiden van het losse, grijze stuifzanddek door een duidelijke verwerings- en/of solifluxielaag.

Matériau pléistocène typique stratifié, séparé du sable de couverture, gris et lâche, par une couche d'altération ou/et de solifluxion nette.

Op de meer vruchtbare zandleemgronden van centraal en zuidelijk Hageland teelt men veel eisende gewassen, zoals tarwe, luzerne, suikerbieten en zelfs vlas. De fruitbedrijven telen er hoofdzakelijk appel, peer en pruim. Plaatselijk wordt er ook aan groenteteelt gedaan.

Typerend voor het Hageland is het groot aantal zeer kleine bedrijven (85-90 % bedrijven van minder dan 5 ha). Op deze kleine uitbatingen kunnen slechts arbeidsintensieve teelten, zoals groenten en fruit, een volledige werkverschaffing en bestaanszekerheid geven aan het gezin. Waar zulks niet het geval is, zijn de kleine boeren verplicht te werken in de industriële instellingen van de naburige steden, in de Luikse metaalnijverheid of in de mijnen van de Kempen of Wallonië. Ook zijn er nog een zeer groot aantal seizoenarbeiders, die werkgelegenheid vinden in de grote landbouwuitbatingen van Wallonië.

EXCURSIEPUNTEN

1. Schaffen — Zandgroeve (foto's 1, 2, 3)

Het eerste punt van het programma werd speciaal uitgekozen om een tamelijk volledig overzicht te geven van de afzettingen, die als moedermateriaal van de bodems in Noord-Hageland kunnen aangetroffen worden. De zandgroeve te Schaffen geeft een beeld van de kwartair-geologische opbouw van de streek. Volgende afzettingen zijn er aanwezig :

Foto 2



Schaffen

Detail van de gesolifueerde verweringslaag op het dekzandmateriaal: duidelijke, donkere, begraven vegetatielaag uit het Laatglaciaal.

Détail de la couche d'altération solifluée sur le matériau sableux de couverture; horizon de végétation enfoui net et foncé, datant du Tardiglaciaire.



Foto 3

Schaffen

Vorstscheuren in het diestiaanse glauconietrijke materiaal, opgevuld met pleistoceen lemig zand en/of zandleem; tamelijk steenrijke scheidingslaag boven de tertiaire ondergrond.

Fentes de gel dans le matériau glauconifère diestien, rempli de sable limoneux ou/et limon sableux pléistocène; sur le sous-sol tertiaire se trouve une couche assez caillouteuse.

KWARTAIR

Holoceen

- a) zwak tot duidelijk ontwikkelde podzolen op stuifzand, plaatselijk recent overstoven,
- b) niet gestratificeerd, los, grijs stuifzand,

Pleistoceen

- c) onder een onregelmatige, zeer heterogene solifluxielaag (?) komen plaatselijk duidelijke sporen voor van een bedolven begroeiingshorizont (houtschoolresten) van enkele centimeters dikte (laatglaciale periode),
- d) gestratificeerde, zandige niveo-eolische en niveo-fluviatile afzetting met verscheidene, dunne leemlaagjes, in totaal enkele meters dik, op bepaalde diepten onderbroken door een of meer, compactere, verbruinde horizonten die duidelijk afsteken tegen het grijsgele, onverweerde materiaal (volglaciale afzetting van Würm-ouderdom),

TERTIAIR

- e) zeer glauconietrijk, donkergroen tot zwartgroen kleiachtig zand van het Diestiaan, van het pleistoceen zand gescheiden door een steenrijke (ijzerzandsteen), onregelmatige horizont die typisch gecryoturbeerd is; vorstspleten opgevuld met geel pleistoceen materiaal dringen vrij diep door in de groene, glauconietrijke ondergrond.

Het ontstaan van de sterk geremanieerde scheidingslaag tussen het diestiaans substraat en het pleistocene dek is nog tamelijk onduidelijk; de vorming ervan wordt teruggebracht van het Onder- tot en met het Boven-Pleistoceen (R. TAVERNIER, 1954). Op verscheidene plaatsen worden twee of drie steenrijke horizonten aangetroffen. Deze lagen, die vaak gecryoturbeerd zijn, sluiten verspoelingsresten in van fossiele bodemontwikkelingen op oudere lössafzettingen of op tertiair materiaal.

Het pleistocene dek is in de groeve uitzonderlijk goed vertegenwoordigd. Zijn normale dikte in het Hageland schommelt tussen 50 en 150 cm. De verspreiding en de dikte hangen echter wel nauw samen met het reliëf van het tertiaire substraat. Aan de voet van een helling is het steeds sterk ontwikkeld, terwijl het op de helling dunner wordt en dikwijls ontbreekt.

Het Pleistoceen van Noord-Hageland is een duidelijk gestratificeerde afzetting, waarin dunne lemige bandjes afwisselen met dikkere, zandige verspoelingshorizonten. De zandige lagen zijn hier glauconiethoudend en de onderste zijn zelfs zeer rijk aan dit element, zodat ze geelgroen zijn; sommige zijn samengesteld uit

zeer grof zand tot grint en bevatten zelfs kleine ijzerzandsteenbrokjes.

Deze volglaciale afzetting is op bepaalde niveaus onderbroken door een of meer, zeer compacte, bruinachtige horizonten, die op het eerste gezicht aan bodemvormingen of verweringshorizonten doen denken. Het valt echter op dat de bruine kleur slechts als « coatings » over de splijtvlakken is afgezet en dat deze horizonten met mekaar in verbinding staan en daarenboven vaak met mekaar versmelten of uiteenvallen. Dit laat vermoeden dat het in werkelijkheid inspoelingshorizonten geldt, die waarschijnlijk gelijktijdig ontstaan zijn met de duidelijke verweringslaag die boven op het pleistoceen materiaal aanwezig is.

In centraal en zuidelijk Hageland verdwijnen deze zandige verspoelingshorizonten geleidelijk en wordt het Pleistoceen een meer zuiver lössleem.

De bodems van Noord-Hageland ontwikkeld op pleistoceen materiaal behoren meestal tot de textuurklasse van het zandleem of van het licht zandleem.

Het stuifzand is een homogene, zeer losse, grijsachtige afzetting die zich zeer duidelijk onderscheidt van de gelaagde, leemachtige, gele, pleistocene deklaag. De scheidingslaag tussen beide afzettingen is een heterogene, zeer onregelmatige verweringshorizont, die plaatselijk duidelijke sporen van een vroegere vegetatiehorizont insluit of afdekt. Steunend op analoge verschijnselen in andere groeven van de streek, is het mogelijk deze bedolven begroeiingshorizont te dateren als laatglaciaal (Alleröd?). De solifluxielaag die het pleistocene materiaal van het jongere stuifzand scheidt zou dan in werkelijkheid tot de laatste koude periode van het glaciaal tijdperk behoren.

In de volgende groeve (Averbode), die hierna zal besproken worden, wordt de laatglaciale periode gekenmerkt door twee duidelijke begroeiingshorizonten en zwakke profielontwikkelingen. Beide niveaus zijn van mekaar gescheiden door een vrij continue stuifzandlaag van ca. 30 cm dikte. In de groeve van Schaffen is er noch van profielontwikkeling, noch van een tweede begroeiing iets terug te vinden. Het is opvallend dat gedurende de latere Dryas, die nochtans een periode was van hevige koude, geen belangrijke eolische lagen gevormd werden.

Het atlantische woud ontwikkelde zich op de holocene stuifzanden en er ontstonden typische bosprofielen; later werd het bos verdrongen door de heide en vormden zich heideprofielen. Voor het bestuderen van deze beide profielontwikkelingen werd het volgende punt uitgekozen.



Foto 4

Averbode

Twee begroeiingshorizonten boven mekaar, met zwakke profielontwikkeling, uit het Laatglaciaal.

Deux horizons de végétation superposés, à développement de profil faible, datant du Tardiglaciaire.

2. Averbode — Zandgroeve (foto's 4, 5, 6)

In de noordelijke heuvelrij langs de Demer bleven, door herhaalde overstuivingen in het Laatglaciaal en in het Holoceen, profielen van verschillende ouderdom goed bewaard.

Op sommige plaatsen vindt men aan de basis van de zandgroeve een grijze tot witgrijze uitgeloogde horizont, bovenaan begrensd door een zwart, vrij continu bandje van 0,5 tot 1 cm dikte, hoofd-



Foto 5

Averbode

Zwarte, onregelmatige humusfibers, afkomstig van de bovenliggende humus-heidepodzol, die doordringen in de A2 horizont van de begraven ijzer-loofhoutpodzol.

Fibres humiques noires et irrégulières, provenant du podzol humique de bruyère sus-jacent, qui pénètrent dans l'horizon A2 du podzol ferrique forestier (feuillus) enfoui.

TABEL 1
AVERBODE - ZANDGROEVE

Korte beschrijving	Hor.	1. Humus-ijzerpodzol		2. Humuspodzol op ijzerpodzol				
		Diepte cm	Kleur Munsell	Diepte cm	Kleur Munsell	pH KCl	Humus %	Vrij ijzer %
Weinig verteerde org. resten	A0	0-3	7,5 YR 2/2	0-2	7,5 YR 2/2	3,7	5,4	0,554
Humusinfiltratiehor.	A1	3-5	7,5 YR 3/0	2-4	7,5 YR 3/0	—	—	—
Uitlogingshor.	A2	5-23	7,5 YR 6/2-4	4-19	7,5 YR 5/2	3,9	2,1	0,778
Humusaccumulatiehor.	B2h	23-30	5 YR 2/2	19-25	5 YR 2/1-2	4,3	1,6	1,318
Uitlogingshor.	A2			25-50	7,5 YR 6/4-6	4,7	0,3	0,468
Ijzeraccumulatiehor.	B2ir	30-42	5 YR 5/8-3/6	50-80	5 YR 4-5/8	4,9	0,4	1,296
Onverveerd moedermateriaal	C	+ 42	10 YR 6/8	+ 80	10 YR 6/8	4,7	0,1	0,518

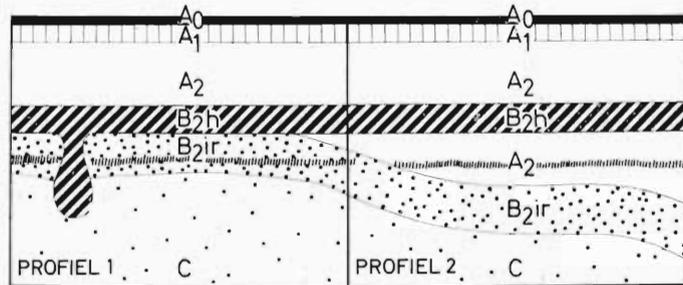


Fig. 2.

Humus-ijzerpodzol.
Podzol humo-ferrique.

Humuspodzol op ijzerpodzol.
Podzol humique sur podzol ferrique.

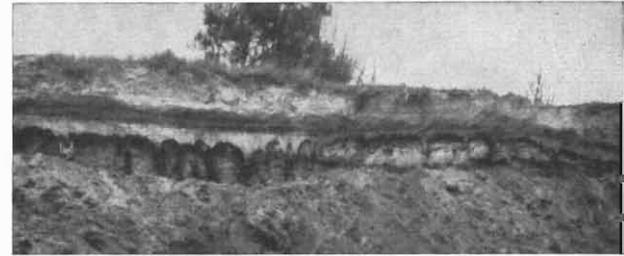


Foto 6

Averbode
Ontdubbeling van een humus-ijzerpodzol in een humusheidepodzol (boven) en een begraven ijzer-loofhoutpodzol. *Dédoublément d'un podzol humo-ferrique en un podzol humique de bruyère (en haut) et un podzol ferrique forestier (feuillus) enfoui.*

zakelijk bestaande uit kleine stukjes houtskool. Onder een zwak uitgesproken bodemprofiel komt een tweede zwart bandje voor, dat minder continu en niet zo duidelijk afgetekend is. Ongetwijfeld geldt het hier laatglaciale begroeiingshorizonten (T. VAN DER HAMMEN, 1953).

Gans de groeve vertoont typische humus-ijzerpodzolen met zeer compacte accumulatiehorizonten en met heel duidelijke wortelzakken. Op een plaats ontdubbelt het podzolprofiel zich in een onderste roosachtige tot okerkleurige bodem en een bovenste grijs tot zwartgrijs profiel. Pollenanalytisch werd uitgemaakt dat de onderste podzol hoofdzakelijk onder loofhout ontstaan is, terwijl de bovenste een typische heidevegetatie gedragen heeft. Het loofhoutprofiel heeft een zalmkleurige tot roosachtige A2 horizont en een okerkleurige tot geelrode ijzer B horizont met onregelmatige, vage humusvlekken. Het heideprofiel heeft een typische, asgrijze loodzandlaag (A2) en een uitgesproken, donkerbruine tot zwarte humus B horizont. Onregelmatige, zwarte humusfibers, afkomstig van het heideprofiel, dringen door tot in de A2 horizont van de onderliggende loofhoutpodzol. Beide profielen worden van mekaar gescheiden door geelachtig stuifzand, waarin nog zwakke overgangsprofielen te herkennen zijn (G. SCHEYS, R. DUDAL & L. BAËYENS, 1954).

Tabel 1 geeft de bijzonderste kenmerken van deze bodems weer (ontleend aan de bovenvermelde publikatie) (fig. 2).

Het moedermateriaal is zand met 96 % van de fraktie $> 50 \mu$ en met 79 % van de fraktie 100-500 μ .

Zonder de besluiten te willen veralgemenen, kan hieruit echter wel afgeleid worden dat de typische humus-ijzerpodzolen in het Hageland ontstaan zijn in twee of meer fasen. In elk geval is een eerste loofhoutfase aansprakelijk voor de ijzeraccumulatiehorizont en wordt ze gevolgd door een heidefase, die verantwoordelijk is voor de humusaccumulatiehorizont.

Ten slotte kunnen nog volgende punten opgemerkt worden :

- de humus van het heideprofiel dringt zeer diep door in de ondergrond en vormt er zwarte fibers, tenzij de percolatie tegengehouden wordt door een ijzeraccumulatiehorizont,
- de ijzeraccumulatiehorizont is los zolang er geen heidehumus op afgezet is,
- het doorzijpelen van heidehumus, waarbij zich fibers vormen, kan ook diffuus geschieden; deze laatste wijze van percolatie houdt op wanneer zich een humus B horizont gevormd heeft op de ijzer B horizont,
- instulpingen van de humus-ijzerpodzolen zijn oude wortelgangen

uit het loofhoutstadium waarin achteraf bij voorkeur de heidehumus neerslaat,

— wanneer een heideprofiel zich ontwikkelt op een loofhoutpodzol is de ijzer B horizont typisch gevlekt, terwijl in de A2 horizont grijze « heide-kleuren » naast roosachtige « loofhout-kleuren » voorkomen.

Het is niet uitgesloten dat vele humus-ijzerpodzolen ook in andere streken op deze wijze tot stand zijn gekomen.

3. Gelrode — Closebos

Dit punt werd in het programma ingeschakeld om de graad van profielontwikkeling, nl. de graad van podzolisatie, in functie van de aard van het moedermateriaal aan te tonen. Het excursiepoint heeft namelijk betrekking op een tamelijk zwakke *Brown Podzolic soil* op lemig zand (ca. 70 % van de fractie > 50 μ), die overgaat in een sterk uitgesproken *Brown Podzolic soil* (in dit geval een ijzerpodzol) op tamelijk grof zand (85-91 % van de fractie > 50 μ). Beide profielen komen voor in het zelfde reliëf (zeer zwakke helling) en onder dezelfde vegetatie (naaldhout met heide). Ook de waterhuishouding is nagenoeg dezelfde, daar beide profielen het zelfde substraat hebben op geringe diepte, nl. glauconietrijk kleiig zand van het Diestiaan.

Profiel 1 : zwak ontwikkelde Brown Podzolic soil

Ligging: kaartblad Aarschot, gemeente Gelrode, Closebos.

Profielbeschrijving: G. Scheys.

Datum: 25.04.58.

Bodemserie: Sbf_c : droge kleiige of lemige zandgronden met weinig duidelijke humus of/ en ijzer B horizont; variëteit met geelachtige of groenachtige ondergrond.

Klassifikatie: Brown Podzolic soil.

Vegetatie: ionge denaanplanting in oud heideveld met brem, *Molinia* en plaatselijk opslag van eik en berk.

Moedermateriaal: lemig zand vermengd met glauconiet en enkele losse, kleine ijzerzandsteenbrokjes, rustend op autochtoon, glauconietrijk, kleiig zand van het Diestiaan.

Fysiografische ligging: Noord-Hageland, zwak heuvelig landschap.

Hoogte: 35 m.

Reliëf: normaal reliëf, algemene helling bijna vlak, rand van een kleine secundaire depressie, geëxposeerd naar het oosten.

Erosie: niet merkbaar.

Natuurlijke drainering: langzame oppervlakkige afwatering; snelle permeabiliteit van de pleistocene bovengrond, tamelijk langza-

me interne drainering van het substraat; goed gedraineerde bodem.

Stenigheid: minder dan 1 %; enkele zeldzame, kleine ijzerzandsteenbrokjes in de bovengrond.

Menselijke invloed: sporen van spadesteken in de bovengrond.

<i>Hor.</i>	<i>Diepte</i>	<i>Beschrijving</i>
A0 + A1	0-5 cm	Weinig verteerde resten van heide en denenaalden; zeer onregelmatige horizont.
A2	5-6 cm	Grijs-roosachtig laagje (7.5 YR 5/2), met veel afgeloogde kwartskorrels; slechts plaatselijk aanwezig.
B2ir	6-47 cm	Geelrood (7.5 YR 6/6) licht kleiig tot zwak lemig zand met pleksgewijze humusinzijpeling langs afgestorven wortels (instulpingen van de bovengrond in oude wortelgangen); struktuurloos en loskorrelig tot kruimelig langs vezelwortels; losse consistentie; geen roest; kleine, min of meer afgeronde ijzerzandsteenbrokjes en enkele kleine, weinig duidelijke houtskoolresten; duidelijke spadesteken in het bovenste gedeelte, herkenbaar aan ingedolven organisch materiaal, vergezeld van vele, afgeloogde, grijs-roosachtige (7.5 YR 8/6) korrels, die smalle, onderbroken en onregelmatige strepen of onregelmatige vlekken vormen; in het onderste gedeelte vage, donkerdere (7.5 YR 5/8) overblijfsels van accumulatiefibers, die slechts plaatselijk herkenbaar zijn; zeer veel vezelwortels homogeen verspreid in gans de horizont; diffuse, regelmatige benedengrens.
B3	47-102 cm	Groenachtige (5 Y 6/4) horizont met donkerdere banden (10 YR - 2.5 Y 4/4); kleiachtig zand tot zwaar kleiig zand of zelfs zandige klei in de banden en geen duidelijke humusinzijpeling; struktuurloos, voor de banden massief tot zwak uitgesproken, grof hoekig; losse consistentie, doch voor de banden openwrijfbaar; geen roest; de horizont wordt van boven naar onder intenser groen en rijker aan glauconiet; de

banden variëren in dikte van 1 tot 5 cm, vorm en dikte zijn zeer onregelmatig, ze zijn niet horizontaal gelaagd, maar vloeien vaak samen of ontdubbelen zich op verschillende diepten; weinig, kleine wortels tamelijk homogeen verspreid, doch plaatselijk vaak sterk geconcentreerd op of in de banden, waar ze een echt netwerk kunnen vormen; geen duidelijke kleicoatings; diffuse, regelmatige benedengrens.

BD 102-158 cm Groenachtige (5 Y 4/3), glauconietrijke horizont met donkerdere (5 Y 3/3) banden; kleilig zand, grof zandige klei in de banden; struktuurloos doch massief in de banden; losse consistentie, tenzij voor de banden die vast zijn; geen roest; veel uitgesproken, ronde of langwerpige, scherp begrensde gangen en holten opgevuld met grijs tot groengrijs materiaal (5 Y 8/3) (tubulaties); banden van 2 tot 7 cm dikte verlopen zeer onregelmatig in de horizont; weinig vezelwortels onregelmatig verspreid en plaatselijk in of op de banden sterk ontwikkeld; diffuse, regelmatige benedengrens.

Profiel 2 : sterk ontwikkelde Brown Podzolic soil of ijzerpodzol

Profiel 2 ligt op een tiental meters van het vorige; de meeste milieukenmerken (vegetatie, fysiografische ligging, hoogte, reliëf, natuurlijke drainering) zijn dus volledig dezelfde. Afwijkend van vorig profiel zijn volgende kenmerken.

Bodemserie : Zbfc: droge zandgronden met weinig duidelijke humus of/en ijzer B horizont; variëte met geelachtige of groenachtige ondergrond.

Klassifikatie : Brown Podzolic soil die zeer dicht bij een podzol staat.

Moedermateriaal : bestaat waarschijnlijk uit dezelfde afzetting als bij profiel 1, doch de pleistocene bovengrond bevat minder leem of klei en is minder dik (ca. 60 cm).

In het profiel bestaat het meest essentiële morfologische verschil in de aanwezigheid van een duidelijke A2 horizont van ca. 20 cm dikte, met volgende kenmerken :

A2 5-26 cm Bruin tot roosachtig (10 YR 4/3) zand; struktuurloos, loskorrelig; zeer losse consistentie; sporen van bodembewerking (ploegzool of spadesteken?) herkenbaar aan ingedolven organisch materiaal; scherpe, onregelmatige benedengrens.

Ook de B2ir wijkt enigszins af van deze van profiel 1, vooral voor wat de kleur betreft. Inderdaad is de kleur in profiel 2 veel meer contrasterend (7.5 YR 4/4-5/6), vooral tegenover de sterk gebleekte, roosachtige A2 horizont. Daarenboven schijnt er hier een homogene, zandige ijzeraanrijkingshorizont te zijn, waarin geen sporen meer terug te vinden zijn van ijzer-of klei-ijzer-accumulatiefibers, zoals in het onderste gedeelte van de B2ir horizont van profiel 1.

Tabel 2 geeft enkele ontledingsresultaten van deze profielen weer (D. LAMBERTS & R. VAN STALLEN, 1956).

Behalve het duidelijke verschil in granulometrische samenstelling leren de analyseresultaten ons zeer weinig over de ontwikkelingsgraad van beide profielen. Het enige onderscheid is dus morfologisch, nl. de afwezigheid van een duidelijke A2 horizont in profiel 1 en het voorkomen van een uitgesproken uitgeloopte horizont in profiel 2. De ontledingscijfers over het vrije ijzer geven deze toestand goed weer.

De meer kleiige banden in de B3 of DB horizont (tot ca. 30 % klei) zijn niet gevormd door sedimentatie, doch zijn pedogenetisch ontstaan. Hun zeer wisselvallige vorm, en zulks zowel voor wat betreft de dikte als de samenstelling en het verloop, volstaat om te bewijzen dat ze niet stratigrafisch kunnen verklaard worden. Het materiaal tussen deze banden is onverweerd, zeer glauconietrijk, los zand met slechts ca. 10 % klei.

De kleiinspoelingen in de groene, glauconietrijke ondergrond hebben waarschijnlijk niets te maken met de aktuele profielontwikkeling. Inderdaad, uit het huidige oppervlaktemateriaal kan slechts onvoldoende klei uitspoelen om de vorming van deze banden te verklaren. De kleiinspoelingsbanden zijn dus pedogenetische horizonten die ontwikkeld zijn vóór de bedekking met lemig zand of zand.

De vraag is nu of profiel 2 als Brown Podzolic soil of als podzol, nl. ijzerpodzol, moet aangezien worden. Steunend op de duidelijke A2 horizont, moet het profiel thuishoren bij de groep van de podzolen. In tegenstelling echter met de meeste podzolen uit de Zandstreek, is hier geen humusaccumulatiehorizont aanwezig. Dergelijke ijzerpodzolen worden wel eens aangetroffen onder bos op

TABEL 2
GELRODE-CLOSEBOS

Profiel 1						
Hor.	Korrelgrootteverdeling			pH H.O	Humus %	Vrij ijzer %
	0-2 μ	2-50 μ	>50 μ			
A0	—	—	—	4,6	13,4	
A2	5,7	22,3	72,0	4,5	2,2	
B2ir	10,3	18,7	71,0	4,3	1,7	
B3	10,8	20,1	69,1	4,3	0,7	

Profiel 2						
Hor.	Korrelgrootteverdeling			pH H.O	Humus %	Vrij ijzer %
	0-2 μ	2-50 μ	>50 μ			
A0	—	—	—	4,5	18,2	—
A2	0,5	7,8	91,7	4,5	0,8	1,649
B2ir	2,0	10,8	87,2	4,6	0,7	2,124
B3	1,5	13,0	85,5	4,7	0,2	1,008

rijke zanden van het Tertiair, zoals b.v. het Brusseliaan (o.a. in het Meerdaalbos).

In werkelijkheid wisselen deze typische ijzerpodzolen in horizontale richting, vaak over zeer kleine afstanden, af met Brown Podzolic soils zonder A2 horizont, of met typische podzolen met humus- en ijzer B horizonten. Voor de kartering leveren dergelijke bodemprofielen dus geen moeilijkheden op, daar ze als overgangsvormen gekend zijn en bij een of andere profielontwikkeling ondergebracht worden waarbij ze genetisch en geografisch thuishoren.

4. Nieuwrode — Dal van de Winghebeek

In het dal van de Winghebeek komen op de hoogste plaatsen sterk gedegradeerde, uitgeloogde bodems voor op « oud alluviale » zandlemige afzettingen. Het « recent alluvium » zonder profielontwikkeling is meestal veel rijker aan klei en basen en is steeds terug te vinden op de topografisch lager gelegen plaatsen (G. SCHEYS, 1955).

Als laatste punt van de excursie worden een paar profielen getoond om « oud » en « recent » alluvium van mekaar te kunnen onderscheiden, en zulks op morfologisch, chemisch en fyto-sociologisch gebied.

Het morfologisch-bodemkundig onderscheid is niet moeilijk. De profielontwikkeling op oud alluvium is deze van de *Low Humic Gley soils* met typische, grijze A2 en uitgesproken textuur B horizont, terwijl het recente alluvium tot de *Alluvial soils* behoort en

buiten de kruimelige en goed ontwikkelde A1 horizont geen karakteristieke pedogenetische horizonten vertoont.

Hier volgt een korte profielbeschrijving van beide profielen.

Profiel 1. Low Humic Gley soil op oud alluvium

Ligging: kaartblad Aarschot, gemeente Nieuwrode, vallei van de Winghebeek.

Profielbeschrijving: G. Scheys.

Datum: 17.04.1955.

Bodemserie: Lhc(1) : sterk gleyige zandleemgronden met sterk gevlekte textuur B horizont; valleifase.

Klassifikatie: Low Humic Gley soil.

Vegetatie: schraal hakhoutbos vooral bestaande uit eik, berk, spork, wilg, trilpopulier en met veel heide en *Molinia*.

Moedermateriaal: zandlemige alluviale afzetting, die in de diepte zandiger wordt, met verspreide rolkeien; « oud alluvium ».

Fysiografische ligging: vallei.

Hoogte: ca. 18 m.

Reliëf: lichte verhevenheid te midden van een breed dal; het profiel werd gegraven ongeveer in het midden van de rug die ca. 1 m uitsteekt boven het « recent alluvium ».

Natuurlijke drainering: langzame oppervlakkige afwatering; de interne drainering wordt gehinderd door het hoog waterniveau in het dal; slecht ontwaterde bodem.

Stenigheid: minder dan 1 %; rolkeien onregelmatig verdeeld over gans het profiel.

Menselijke invloed: bovengrond plaatselijk opgeworpen uit grachten, die om de 10 m gegraven werden voor de oppervlakkige waterlozing.

<i>Hor.</i>	<i>Diepte</i>	<i>Beschrijving</i>
A0 + A1	0-10 cm	Zwarte, weinig verteerde strooisellaag; abrupte, regelmatige benedengrens.
A2g	10-29 cm	Grijze (10 YR 7/2), uitgeloopte zandleemhorizont; weinig uitgesproken, fijne plaatstructuur, plaatselijk kruimelig langs wortels; weinig kleverig; weinig, zwakke, kleine roestvlekken en -stippen; kleine, zachte concreties; langs dikke wortels infiltratie van humus; geleidelijke, regelmatige benedengrens.
B2g	29-68 cm	Grijze (10 YR - 2.5 Y 7/2), gevlekte (7.5 YR 5/8) zwaar zandlemige hori-

zont; weinig stabiele, grove tot middelmatige, subhoekige blokstructuur; zeer plastisch, tamelijk kleverig; grijze coatings; veel, matig grote, roestige (7.5 YR 5/8) vlekken of vlammen, vooral langs wortels; geleidelijke, regelmatige benedengrens.

B3gd † 68 cm Grijs (5 YR - 7.5 YR 5/8) gevlekt zandleem, dat in de diepte zandiger wordt en op grotere diepte reductiekleuren (2.5 - 5 Y 5/6) vertoont; de typische gereduceerde ondergrond begint op 120 cm diepte.

Profiel 2. Alluvial soil op recent alluvium

Profiel 2 ligt op enkele tientallen meters van profiel 1 en ongeveer 1 m lager. Bijgevolg is de natuurlijke drainering nog minder goed; er bestaat gevaar voor overstroming in de winter. Het moedermateriaal is daarenboven totaal verschillend; het is inderdaad een zeer kleiige en basenrijke afzetting, die op ca. 70 cm diepte rust op het oudere alluvium.

Bodemserie: Eep: sterk gleyige gronden met reductiehorizont op kleiig materiaal.

Klassifikatie: Wet Alluvial soil.

Vegetatie: soortenrijk schaarhoutbos met populieren; het schaarhout bestaat hoofdzakelijk uit els, es, esdoorn, hazelaar, met als kruiden dove netel, bosanemoon, *Evonymus*, sleutelbloem, enz.

<i>Hor.</i>	<i>Diepte</i>	<i>Beschrijving</i>
A1	0-18 cm	Donkerbruin (7.5 YR 4/2) kleiig leem; plaatselijk langs de wortels een matige kruimelstructuur, op andere plaatsen fijne tot middelmatige, grote, subhoekige blokstructuur; weinig plastisch, weinig kleverig; geen roest; zeer veel wormgangen, zeer dichte beworteling; geleidelijke, regelmatige benedengrens.
(B)	18-41 cm	Bruin tot donkerbruin (7.5 YR 4/4) kleiig leem met enkele donkerbruine coatings (7.5 YR 5/2); fijne, sterk uitgesproken, hoekige blokstructuur; weinig plastisch, meer kleverig; enkele zwakke roeststippen; zeer veel, fijne wortels, die vooral doordringen langs de vlakken van de structuuraggregaten; geleidelijke, regelmatige benedengrens.

- B-Cg 41-72 cm Ongeveer dezelfde horizont als (B), met
 lijkaardige structuur, doch die in de diepte
 meer grijsachtig en daarenboven sterk roes-
 tig wordt, met veel, tamelijk harde, middel-
 matig grote ijzerconcreties; weinig wortels;
 abrupte, snelle benedengrens.
- D-G + 72 cm Gereduceerde, blauwgroene, zandige onder-
 grond.

Het verschil in profielontwikkeling komt goed tot uiting in de
 analysesresultaten, zoals blijkt uit tabel 3.

TABEL 3
 NIEUWRODE - DAL VAN DE WINGHEBEEK

Profiel 1						
Hor.	Diepte cm	Korrelgrootteverdeling			pH H ₂ O	Humus %
		0-2 μ	2-50 μ	>50 μ		
A0-A1	0-10	—	—	—	4,5	36,5
A2g	10-29	17,9	66,7	15,4	4,3	2,2
B2g	29-68	27,9	42,1	30,0	5,0	0,9
B3gd	+ 68	13,2	55,4	31,4	5,4	0,8

Profiel 2						
Hor.	Diepte cm	0-2 μ	2-50 μ	>50 μ	pH H ₂ O	Humus %
A1	0-18	33,1	58,0	8,9	6,3	2,6
(B)	18-41	33,7	59,3	7,0	6,3	1,4
BCg	41-72	28,0	68,4	3,6	6,8	1,0
DG	+ 72	9,7	51,3	39,0	7,3	0,8

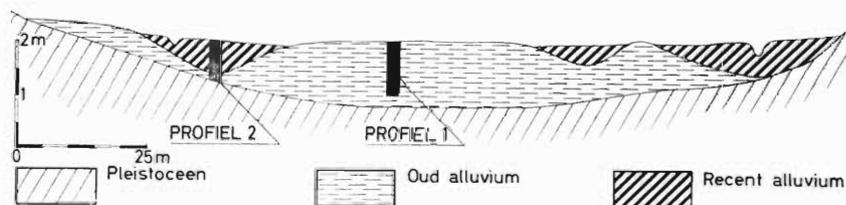


Fig. 3.

Schematische doorsnede van de oppervlakkige lagen in de vallei van de
 Winghebeek te Nieuwrode

Coupe schématique des couches superficielles dans la vallée du Winghebeek à Nieuwrode.

Beide profielen, die zeer dicht bij mekaar liggen in het zelfde schaarhoutbos, vertonen duidelijke, pedogenetische verschillen. Door middel van de profielbeschrijving en de ontledingsresultaten kan er een duidelijk onderscheid gemaakt worden tussen de profielontwikkeling op « oud » of « recent » alluvium. Door de analysecijfers worden o.a. volgende morfologische kenmerken bevestigd : — de zandlemige samenstelling van het oud alluvium en het hoog kleigehalte van het recent alluvium, — de aanwezigheid van ruwe humus op de Lhc bodem en van een typische milde humuslaag op de Eep grond, — de aanwezigheid van een aan klei uitgeloopte A2 boven een aan klei aangerijkte B2 horizont in het Low Humic Gley profiel en de afwezigheid van elke duidelijke uitloging in het recent alluvium (kleur B horizont), — het duidelijk pH verschil over gans de diepte van beide profielen.

Het hoeft ons dus ook niet te verwonderen, dat deze duidelijke pedogenetische verschillen gepaard gaan met opvallende variaties in de verspreiding van de natuurlijke plantengedassen. Het recent alluvium draagt een typische, rijke associatie van het (vochtig) *Querceto-Carpinetum*, terwijl op het oud alluvium een zeer sterk gedegradeerde vorm van dezelfde associatie aanwezig is (LEBRUN, J., NOIRFALISE, A. e.a., 1949).

LITERATUUR

- GULLENTOPS, F. — L'origine des collines du Hageland. *Bull. Soc. belge Géol.*, t. LXVI, pp. 81-85. Bruxelles, 1957.
- LAMBERTS, D. & VANSTALLEN, R. — Systematisch profielonderzoek van de bodemtypen van het kaartblad 75/W Aarschot (Docum. Lab. v. Grondonderzoek, gest. tekst). Heverlee, 1956.
- LEBRUN, J., NOIRFALISE A., HEINEMAN, P. & VANDEN BERGHEN, G. — Les associations végétales de la Belgique. Gembloux, 1949.
- PONCELET, L. & MARTIN, H. — Hoofdtrekken van het Belgisch klimaat. *Koninkl. Meteor. Inst. van België*, verhand. XXVII. Brussel, 1947.
- SCHEYS, G., DUDAL, R. & BAEYENS, L. — Une interprétation de la morphologie des podzols humo-ferriques. *Comptes rendus du Vème Congrès intern. de la sc. du sol*, vol. IV. Léopoldville, 1954.
- SCHEYS, G. — Bijdrage tot de kennis van de Hagelandse bodems en hun productiecapaciteit. (Doctor. Proefschrift, gest. tekst). Heverlee, 1955.
- STAINIER, X. — Les plissements du Tertiaire supérieur belge. *Bull. Soc. belge Géol.*, t. XXXVII, p. 149-198. Bruxelles, 1927.
- STEVENS, Ch. — La morphologie du Hageland et le centre de dépression de Haelen-Schulen. *Ann. Soc. sc. de Brux.*, t. LT, série B. Louvain, 1931.
- TAVERNIER, R. — Le Quaternaire — Le Néogène. Dans : *Prodrome d'une description géologique de la Belgique*. Liège, 1954.

VAN DER HAMMEN, T. — Late-glacial flora and peri-glacial phenomena in the Netherlands. *Leidse Geol. Mededel.*, d. XVII. Leiden, 1952.

COGELS, P. & VAN ERTBORN, O. — Système Campinien. *Mélanges géologiques*, 2^e fasc., pp. 17-19. Anvers, 1880.

EXCURSION PEDOLOGIQUE DANS LE HAGELAND SEPTENTRIONAL LE 23 MAI 1958

Résumé

Le Hageland est la région comprise entre Louvain, Aarschot, Diest et Tirlemont (50 000 ha). L'excursion s'est limitée à la partie septentrionale

1. Schuffen — Sablière (photos 1, 2, 3)

Le premier point de l'excursion a été choisi spécialement pour donner un aperçu des différentes roches-mères des sols du Hageland septentrional; elles appartiennent à l'Holocène (sable), au Pléistocène (sablo-limoneux) et au Tertiaire (Diestien, sable argileux glauconifère).

2. Averbode — Sablière (photos 4, 5, 6, fig. 2, tabl. 1)

Dans cette sablière on remarque le phénomène de superposition d'un podzol humique de bruyère à un podzol ferrugine forestier, donnant ainsi naissance un podzol humo-ferrugine, qui serait donc un profil polygénétique.

3. Gelrode — Closebos (tabl. 2)

A cet endroit est démontré l'influence de la roche-mère sur le degré de podzolisation. Sur sable limoneux le profil a atteint le stade du Brown Podzolic soil faiblement développé à horizon A2 peu net, tandis que sur sable la podzolisation est plus poussée, donnant un Brown Podzolic soil net ou un podzol ferrugine à horizon A2 fortement lessivé.

4. Nieuwrode — Vallée du Winghebeek (fig. 3, tabl. 3)

Dans cette vallée on trouve des alluvions anciennes et des alluvions récentes, qui se distinguent aussi bien par la morphologie du profil que par les caractéristiques physico-chimiques. Sur alluvion ancienne s'est développé un Low Humic Gley soil à horizon A2 grisâtre et à horizon B textural prononcé; les alluvions récentes appartiennent au groupe des Alluvial soils dont seul l'horizon A1 prononcé se distingue nettement.

QUATRIEME SEANCE ORDINAIRE

tenue le 29 octobre 1958

dans les locaux de la Fondation Universitaire à Bruxelles

La séance est ouverte à 16 h sous la présidence de Monsieur G. MANIL, président de la Société.

Présentation de nouveaux membres

Sur proposition du président sont admis comme membre effectif :
M. SMITH, G., présenté par MM. R. Tavernier et J. Ameryckx,
M. PAEPE, R., présenté par MM. R. Tavernier et J. Ameryckx,
M. FACON, V., présenté par MM. R. Tavernier et R. Maréchal,
M. WALSHOT, P., présenté par MM. R. Tavernier et R. Maréchal,
M. VANDENHOUDT, H., présenté par MM. R. Tavernier et R. Maréchal,
M. CRUYSSAERT, J., présenté par MM. R. Tavernier et R. Maréchal.

Communications

1. *Contribution micromorphologique à l'étude de l'humification dans les sols bruns acides des Ardennes belges* par F. DELECOUR et G. MANIL.
2. *Contribution à l'étude des terrains superficiels de la région condrusienne* par R. MARÉCHAL.

Cette communication paraît comme *Mémoire 1 de Pédologie*.

Au cours de cette conférence la *Carte des associations de sols de la Belgique* a été présentée (texte ci-après).

VIERDE GEWONE ZITTING

gehouden op 29 oktober 1958

in de lokalen van de Universitaire Stichting te Brussel

De zitting wordt geopend te 16 h onder voorzitterschap van de Heer G. MANIL, voorzitter van de Vereniging.

Voorstelling van nieuwe leden

Op voorstel van de voorzitter worden volgende personen als werkend lid aangenomen :

- de H. SMITH, G., voorgesteld door de HH. R. Tavernier en J. Ameryckx,
- de H. PAEFE, R., voorgesteld door de HH. R. Tavernier en J. Ameryckx,
- de H. FACON, V., voorgesteld door de HH. R. Tavernier en R. Maréchal,
- de H. WALSCHOT, P., voorgesteld door de HH. R. Tavernier en R. Maréchal,
- de H. VANDENHOUDT, H., voorgesteld door de HH. R. Tavernier en R. Maréchal,
- de H. CRUYSSAERT, J., voorgesteld door de HH. R. Tavernier en R. Maréchal.

Mededelingen

1. *Contribution micromorphologique à l'étude de l'humification dans les sols bruns acides des Ardennes belges* door F. DELECOUR en G. MANIL.
2. *Contribution à l'étude des terrains superficiels de la région condrusienne* door R. MARÉCHAL.

Deze mededeling verschijnt als *Verhandeling 1* van *Pedologie*.

Tijdens deze spreekbeurt werd de *Bodemassociatiekaart van België* voorgesteld (tekst hierna).

CONTRIBUTION MICROMORPHOLOGIQUE A L'ETUDE DE L'HUMIFICATION DANS LES SOLS BRUNS ACIDES DES ARDENNES BELGES

par F. DELECOUR & G. MANIL

Centre d'étude des sols forestiers de l'Ardenne et de la Gaume (IRSIA)
Institut Agronomique de l'Etat, Gembloux

I. INTRODUCTION

Le Centre d'étude des sols forestiers de l'Ardenne et de la Gaume a pour tâche l'étude approfondie des phénomènes d'humification dans les sites boisés de la Belgique méridionale.

Cette tâche répond d'ailleurs à un but essentiellement écologique. L'humus apparaît, en effet, comme une cause et une conséquence. Car, d'une part, il est le support et la source de propriétés importantes comme, par exemple, les formes des réserves nutritives azotées, et, d'autre part, il est une conséquence de caractéristiques originelles du milieu, tels la richesse des sols en bases, le climat local, l'économie hydrique, etc.

L'humus forestier peut donc être considéré comme le reflet fidèle des conditions écologiques locales et, à ce titre, il peut être utilisé très adéquatement comme base d'une classification des sols comme une étude récente l'a suggéré(*).

Les principales formes de matières organiques observées en Ardenne, dans les sites à drainage normal qui retiennent exclusivement notre attention dans le cadre de cette note, oscillent autour des *mull acides*, des *moder* et plus exceptionnellement des *mor*.

De plus, chacune de ces formes comporte, en réalité, de multiples variantes écologiques qui correspondent, en principe, à toutes les nuances que le phytosociologue distingue dans le tapis végétal au niveau des sous-associations ou des variantes locales.

Un problème important qui se pose est précisément celui de distinguer les unes des autres les variantes dont se composent les formes principales.

(*) MANIL, G. — L'humus forestier. Deuxième partie : La classification des sols forestiers. *Bull. Soc. Royale forest. de Belgique*. Septembre 1958.

Il se présente des arguments morphologiques et analytiques que le Centre forestier s'applique à préciser de plus en plus complètement.

L'argument morphologique mérite une attention toute spéciale, quoiqu'étant insuffisant à lui seul pour résoudre les questions de définition et de descriptions spécifiques.

Car il est évident que les résultats de laboratoire n'ont de sens que si l'échantillonnage correspond bien à un état naturel de distribution des horizons pédologiques.

Les études micromorphologiques sont un complément très intéressant des observations macromorphologiques; elles sont destinées également à jouer un rôle important dans l'interprétation des résultats de l'analyse.

II. MATERIEL D'ETUDE

Nous avons choisi un certain nombre d'échantillons prélevés dans quatre stations d'une bioséquence située en forêt de Saint-Hubert, sous différents types de hêtraie portés par des sols qui sont tous oligotrophes, à pH oscillant étroitement autour des valeurs de 4.

Station 1

La première station se trouve au bas d'un flanc nord d'une petite vallée, à l'altitude de 375 m. Elle correspond, au point de vue végétal, à une forme riche de la hêtraie à fétuque, la variante à *Dryopteris*(*). Elle fut prospectée en deux endroits: sous une plage à fétuque, et sous une plage dépourvue de végétation (sol nu), pour tenir compte des différences macromorphologiques qui se manifestaient au premier coup d'œil.

Le milieu édaphique apparaît, en général, comme *un sol brun acide à mull*.

Station 2

La deuxième station se situe en replat plus élevé, à l'altitude de 435 m, dans une variante pauvre de la hêtraie à fétuque, la variante à luzule.

Le sol est du type *sol brun acide à moder*, probablement en transition vers les formations à *mull*.

Tenant compte de la plus grande homogénéité de la station, un seul profil a été prélevé, sous une plage à sol nu.

(*) NOIRFALISE, A. — La Hêtraie ardennaise — *Bull. Inst. Agronom. de Gembloux*, tome XXIV, n° 2, 1956.

Station 3

La troisième station s'étale sur un replat dominant le précédent, à 485 m d'altitude. Elle se caractérise par une hêtraie à luzule typique.

Il s'agit d'un *sol brun acide à moder typique*, à horizon A1 très mince et très sombre.

L'échantillonnage a porté également sur une plage à sol nu.

Station 4

La quatrième station se situe sur un replat culminant à 550 m, sous une hêtraie à luzule et à myrtille.

Le milieu pédologique oscille entre le type *sol brun acide à moder* et le type *sol brun ocreux*, suivant une allure en mosaïque qui caractérise aussi bien le tapis végétal que l'aspect des horizons humifères. Une légère tendance *mor* apparaît localement, marquée par les premiers symptômes de la *micropodzolisation* superficielle.

III. QUELQUES CARACTERISTIQUES MICROMORPHOLOGIQUES DES ECHANTILLONS ETUDIES

Station 1

La plage à sol nu se distingue nettement de la plage à fétuque. La seconde montre une organisation intime qui l'apparente indubitablement aux formations à *mull acide*.

Dans les horizons hémorganiques (A1) la masse fondamentale apparaît bien floclée, bien homogène, avec traces de grumeaux coprogènes de lombrics. La microstructure montre des pores avec contours nets et sinueux.

Mais il faut cependant observer que, même sur ces plages, il existe une certaine tendance à l'apparition d'horizons holorganiques (L + F), riches en fines déjections d'arthropodes.

Cette tendance se confirme nettement pour les plages à sol nu qui passent à un faciès humifère du type *moder mulliforme*.

Avec KUBIENA(*), nous désignons par ce dernier terme une forme de matière organique qui, d'une part, se rapproche des *mull* par sa richesse en matière minérale bien mélangée, mais, d'autre part, s'en écarte par la petite dimension des éléments coprogènes.

Sur les aires dépourvues de végétation, les horizons A1 sont minces, de 2 à 3 cm d'épaisseur. Leur masse constituante comprend surtout de fins agrégats coprogènes dont la plus grande dimension

(*) KUBIENA, W. L. — Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas. Ferdinand Enke Verlag — Stuttgart, 1953.

oscille entre 60 et 80 μ ; elle renferme également une proportion moindre d'éléments plus minuscules, de 45 à 60 μ de diamètre, qui paraissent plus colorés, plus anguleux et plus riches en matières organiques. Ces derniers éléments ont une tendance à se fondre en amas relativement lâches, ou se cantonnent en des plages allongées bien délimitées correspondant sans doute à d'anciennes racines. Il y a là de toute façon un certain indice de manque de brassage biologique.

Les observations précédentes indiquent donc que la forme *mull acide*, qui domine dans l'ensemble de la station étudiée, est relativement instable et tend à évoluer vers le *moder mulliforme*, à la faveur de faibles variations écologiques.

Station 2

Dans ce site à *sol brun acide à moder*, sans doute biologiquement proche d'un *sol brun acide à mull*, il semble bien que l'humus soit encore du type *moder mulliforme*, mais peut-être d'une variante moins riche en contenu minéral, si l'on en juge par l'apparence en lumière polarisée, en attendant des déterminations analytiques précises.

Comparativement à la station précédente, dans l'horizon A1, les agrégats coprogènes qui sont fort abondants sont plus anguleux et plus fins. Leurs dimensions moyennes oscillent autour de 45 à 70 μ , mais avec quelques écarts atteignant 30 ou 70 μ .

On observe également d'assez nombreux agrégats organo-minéraux plus volumineux, de 180 à 280 μ , de plus grand diamètre et plus anguleux, qu'il faut sans doute attribuer à l'action d'enchytréides ou de larves d'insectes.

A la limite des horizons A1 et (A2), la structure est localement plus homogène, mais apparaît alors comme une masse formée d'éléments primitivement individualisés, mais ayant fusionné plus ou moins complètement.

De plus, il semble qu'il y ait deux modes différents d'organisation structurale parmi les agrégats d'allure homogène. Probablement faut-il y lire l'intervention de lombricides à côté d'éléments fauniques plus petits.

Station 3

Sous la hêtraie à luzule typique, nous observons une évolution progressive du *moder mulliforme* vers un *moder typique* pauvre en matières minérales.

Morphologiquement, l'horizon A1 se présente comme une masse constituée en ordre essentiel de fins grumeaux coprogènes, les uns

très fins, de 25 à 50 μ , anguleux et fort colorés, les autres, plus volumineux, de 50 à 75 μ . Tous ces agrégats ont une tendance nette à s'agglomérer pour former des masses anguleuses pouvant atteindre 400 μ de côté, au sein desquelles on sait encore reconnaître certains éléments constitutifs.

Les agrégats encore bien individualisés s'observent mieux à la transition vers le (A2).

Station 4

L'échantillon A1 de la plage à sol nu de la hêtraie à luzule et à myrtille nous apparaît du type *moder typique*, avec présence abondante de débris organiques peu décomposés, paraissant brun rougeâtre par transparence (tendance dystrophique de Kubiena). La colonisation fongique est localement importante et caractérisée par de nombreux sclérotés et fragments d'hyphe.

Les amas coprogènes sont encore très abondants; ils sont anguleux, mais s'agglomèrent aisément en masses volumineuses, d'aspect plus ou moins gélatineux.

Vers le bas de l'horizon A1, en transition vers les horizons minéraux, les éléments demeurés individualisés sont plus nombreux.

L'action des lombrics se marque encore dans les couches minérales.

La plage à myrtille de la même station se distingue de la précédente par un aspect plus massif et plus grossièrement anguleux. Les petits agrégats primitifs ont fusionné plus intimement, semble-t-il.

PREMIERES CONCLUSIONS

Dans un travail ultérieur nous mettrons les observations précédentes complétées par de nouvelles recherches en rapport avec les résultats de l'analyse chimique des différentes formes de matière organique.

Nous pouvons cependant présenter dès à présent quelques remarques d'ensemble.

1. — L'examen en lames minces permet de suivre certaines nuances de l'évolution dans l'espace des types d'humus.

Il nous a été possible de noter des faciès *mull acide typique* avec passage progressif vers les *moder mulliformes*, puis vers les *moder typiques* pauvres en contenu minéral.

2. — La tendance à l'agglomération des éléments coprogènes nous paraît, à première vue, une caractéristique importante des formes de *moder* qui s'écartent progressivement des *mull acides*.

3. — Les activités fongiques se manifestent nettement dans les

stations à *moder typique*. Elles se laissent discerner cependant dans tous les autres sites étudiés.

4. — Contrairement à ce que l'on pourrait supposer à priori, les activités des gros vers musculeux, surtout abondantes dans la station à *mull acide*, ne sont pas absentes dans les stations à *moder* même les plus acides.

5. — Dans chacune des stations, mais particulièrement dans la première et la dernière, il existe des différences notables suivant les plages considérées (sol nu, touffes végétales).

6. — Il est remarquable de noter le rôle extrêmement important joué par la faune dans l'élaboration des constituants microstructuraux des sols forestiers.

Cette remarque ne doit pas être perdue de vue par le microbiologiste du sol qui ne peut ignorer qu'une part non négligeable des activités bactériennes, entre autres, s'est effectuée dans le tube digestif des animaux hypogés et endogés, c'est-à-dire en conditions différentes de celles généralement mesurées dans le sol.

7. — Il est clair qu'une étude complète de la dynamique des matières organiques édaphiques devrait comporter une analyse détaillée des organismes animaux qui en sont responsables.

A ce point de vue, cette note n'est qu'une simple esquisse destinée à montrer, de visu, l'intérêt pratique des études de la pédofaune.

*

**

Nos remerciements les plus sincères s'adressent, tout d'abord, au professeur W. KUBIENA, directeur du laboratoire des sols de la *Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft* de Reinbek-lez-Hambourg, pour l'amabilité avec laquelle il a bien voulu nous initier à la technique des coupes minces en faisant exécuter dans son laboratoire les lames qui ont fait l'objet de la présente étude.

Nous sommes également reconnaissants au professeur NOIRFALISE et à son collaborateur M. THILL du *Centre de Cartographie Phytosociologique (IRSIA)* d'avoir collaboré au choix de nos stations d'étude.

**BIJDRAGE TOT DE MICROMORFOLOGISCHE STUDIE VAN DE
HUMIFICATIE IN DE « SOLS BRUNS ACIDES »
VAN DE BELGISCHE ARDENNEN**

Samenvatting

De auteurs geven een bondig overzicht van de resultaten van hun eerste micromorfologische onderzoeken in verschillende bosgronden van het plateau van Saint-Hubert, die gekenmerkt worden door humussoorten die gaan van de zure mull tot de moder met zwakke mor-tendens.

In de conclusies wordt vooral de nadruk gelegd op :

- het belang van de micromorfologische methoden bij het onderzoek van de humustypen,
 - de belangrijke rol van de fauna bij de opbouw van microstructuurbestanddelen in de bosgronden,
 - de verschillen die bestaan tussen de onderzochte vlekken te midden van elke bestudeerde standplaats (b.v. een vlek zonder vegetatie en vlekken onder verschillende plantensoorten).
-

CARTE DES ASSOCIATIONS DE SOLS DE LA BELGIQUE

par R. TAVERNIER & R. MARÉCHAL

Dès 1947 le levé systématique de la carte des sols détaillée de la Belgique a été entrepris sous les auspices de l'IRSIA (Institut pour l'encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture). A cette fin a été créé le Comité pour l'établissement de la Carte des Sols et de la Végétation de la Belgique, sous la présidence de M. le Professeur V. Van Straelen. Les travaux de levé ont été confiés au Centre de Cartographie des Sols. Actuellement ces travaux ont permis de lever à l'échelle du 5 000^e environ la moitié de la superficie du pays. Une légende unifiée pour l'ensemble du territoire a été mise au point en vue de la publication de planchettes au 20 000^e. Une centaine de ces planchettes ont déjà été imprimées par les soins de l'Institut Géographique Militaire. Malgré l'état déjà avancé de ces travaux l'absence d'un document cartographique pour l'ensemble de la Belgique a été à maintes reprises déplorée, tant par des instances nationales qu'internationales. La présente publication constitue une première tentative pour remédier à cet état de choses.

L'établissement de la légende unifiée pour le pays est le résultat d'une collaboration continue entre les chefs de travaux et chefs-cartographes, chargés des levés dans les diverses régions. La carte présentée est en grande partie basée sur les résultats de leurs travaux. Les auteurs tiennent également à les remercier pour leurs commentaires avisés lors de la compilation des documents pour l'établissement des tracés et lors de la rédaction du présent texte.

I. PRINCIPES DE LA CLASSIFICATION DES SOLS EMPLOYÉE POUR LA CARTOGRAPHIE DÉTAILLÉE DU PAYS

En guise d'introduction à la notice de la carte des associations, il nous a semblé utile d'esquisser brièvement les principes de la classification employée pour la publication des cartes au 20 000^e, d'autant plus que pour certaines associations la composition est donnée en pourcentages des unités taxonomiques, indiquées par leurs symboles.

Dans la classification adoptée pour le levé de la carte détaillée des sols de la Belgique l'unité fondamentale est la *série de sols*, caractérisée essentiellement par trois facteurs: la nature de la roche-mère, l'état de drainage et le développement de profil. La série de sols est indiquée par un symbole comprenant en principe trois lettres, qui se rapportent à chacun de ces trois facteurs. La valeur agricole est principalement déterminée par les deux premiers facteurs tandis que le troisième présente également un grand intérêt scientifique.

1. Nature de la roche-mère

Au point de vue de la nature de la roche-mère les sols ont été subdivisés en trois groupes.

1. Sols sur matériaux tourbeux (symbole V), caractérisés par la présence d'une couche superficielle d'au moins 40 cm d'épaisseur, dont la teneur en matières organiques dépasse 30 %.
2. Sols sur sédiments meubles à teneur en éléments grossiers (de diamètre supérieur à 2 mm : cailloux, fragments rocailloux) inférieure à 5 %. La subdivision est basée sur la texture des matériaux, déterminée par l'analyse granulométrique. Les résultats de ces

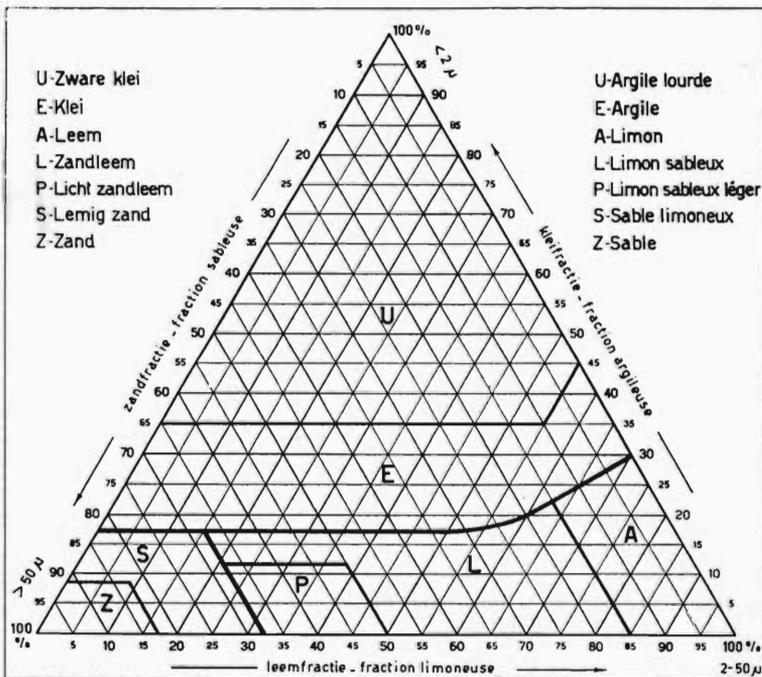


Fig. 1.

analyses sont reportés dans un graphique triangulaire indiquant la proportion de la fraction inférieure à 2μ (fraction argileuse), de la fraction comprise entre 2 et 50μ (fraction limoneuse) et de la fraction supérieure à 50μ (fraction sableuse). Le triangle est subdivisé en zones, qui par définition déterminent les classes texturales.

Les classes suivantes ont été distinguées :

- matériaux sableux : symbole Z,
- matériaux limono-sableux : symbole S,
- matériaux sablo-limoneux légers : symbole P,
- matériaux sablo-limoneux : symbole L,
- matériaux limoneux : symbole A,
- matériaux argileux : symbole E,
- matériaux argileux lourds : symbole U.

Ces diverses classes texturales correspondent aux zones du diagramme triangulaire (fig. 1) indiquées par leurs symboles respectifs. Elles ont été établies en tenant compte autant que possible de l'usage courant adopté en Belgique.

3. Sols sur sédiments meubles à teneur en éléments grossiers supérieure à 5 %, dont la texture correspond à un point situé dans le diagramme triangulaire dans les zones A, L, P ou E. Ces sols sont indiqués par le symbole G (1).

Le symbole de roche-mère, toujours une majuscule, figure en principe en tête du symbole de série.

2. Classes de drainage

L'état de drainage des sols dépend de la profondeur de la nappe phréatique, de la perméabilité de la couche superficielle, de la présence à profondeur variable d'une couche peu perméable, de la profondeur du sol et des conditions topographiques.

L'interaction de ces différents phénomènes détermine la classe de drainage d'un sol. Celle-ci est évaluée d'après certains caractères morphologiques du sol, notamment les phénomènes de gleyification et de réduction.

Les phénomènes de gleyification se présentent dans la zone d'oscillation de la nappe aquifère permanente ou temporaire. Ils se distinguent par l'apparition de taches grisâtres et de taches de couleur rouille; en même temps la couleur de fond des matériaux tend vers les colorations grisâtres. Le degré de gleyification se

(1) Les sols sur sédiments meubles à teneur en éléments grossiers supérieure à 5 % de texture sableuse, limono-sableuse ou argileuse lourde sont peu fréquents en Belgique. Dans la classification des matériaux ils n'ont pas été distingués en tant que groupes séparés. Ces matériaux sont considérés comme des variantes des matériaux Z, S et U.

marque dans l'intensité du contraste entre les taches grises et brunes, le nombre et la grandeur des taches, la teinte de fond plus ou moins grisâtre, la profondeur à laquelle ces phénomènes débutent. La gleyification est due à l'alternance de phénomènes d'oxydation et de réduction dans des matériaux périodiquement gorgés d'eau, les sels ferreux amenés lors de la montée de l'eau étant précipités comme hydroxydes quand le niveau de l'eau baisse.

Les phénomènes de réduction se marquent par des colorations grisâtres uniformes dans les horizons situés à des niveaux continuellement gorgés d'eau, en conditions de réduction permanente.

Les classes de drainage sont indiquées par un symbole (lettre minuscule) placé immédiatement après le symbole de texture. Elles sont indiquées par les lettres suivantes :

- sols à drainage excessif (sols très secs) : symbole a,
- sols à drainage favorable (sols secs, sols non gleyifiés) : symbole b,
- sols à drainage modéré (sols modérément secs, sols faiblement gleyifiés) : symbole c,
- sols à drainage imparfait (sols modérément humides, sols modérément gleyifiés) : symbole d,
- sols à drainage assez pauvre, à horizon réduit (sols humides, sols fortement gleyifiés, en principe sur nappe phréatique permanente) : symbole e,
- sols à drainage pauvre, à horizon réduit (sols très humides, sols très fortement gleyifiés, en principe sur nappe phréatique permanente) : symbole f,
- sols à drainage assez pauvre, sans horizon réduit (sols humides, sols fortement gleyifiés, en principe sur nappe phréatique temporaire) : symbole h,
- sols à drainage pauvre, sans horizon réduit (sols très humides, sols très fortement gleyifiés, en principe sur nappe phréatique temporaire) : symbole i,
- sols à drainage très pauvre (sols extrêmement humides, sols réduits) : symbole g.

3. Développement de profil

Les roches-mères ont subi une altération sous l'influence des agents météoriques et biologiques; un *profil de sol* s'y est développé. La nature de cette altération, correspondant à une différenciation des couches superficielles en *horizons* caractérisés par diverses propriétés morphologiques (texture, couleur, structure, pH, etc.), est en outre déterminée par les conditions lithologiques

et topographiques, ainsi que par la durée pendant laquelle ses phénomènes ont pu se produire.

Le développement de profil est indiqué par une lettre minuscule qui figure en deuxième position derrière le symbole de roche-mère. Les types de développement suivants ont été distingués (1) :

- sols caractérisés par un horizon B textural, d'une saturation en bases supérieure à 35 %, présentant une accumulation d'argile silicatée à prédominance du type 2 : 1 (correspondant aux sols bruns lessivés et aux sols lessivés des auteurs français, aux gray brown podzolic soils (p.p.) des auteurs américains et aux Parabraunerden des auteurs allemands) : symbole a,
- sols caractérisés par un horizon B structural ou par un horizon B de couleur (sols bruns) : symbole b,
- sols caractérisés par un horizon B textural morcelé, en voie de dissolution (correspondant aux sols podzoliques des auteurs français, aux gray brown podzolic soils (p.p.) des auteurs américains et aux Pseudogleye des auteurs allemands) : symbole c,
- sols caractérisés par un horizon B textural brun rougeâtre (sols bruns méditerranéens) : symbole d,
- sols à horizon A tchernoziémique : symbole e,
- sols caractérisés par un horizon B ferrique et/ou humique peu distinct (brown podzolic soils) : symbole f,
- sols caractérisés par un horizon B ferrique et/ou humique distinct (podzols) : symbole g,
- sols caractérisés par un horizon B ferrique et/ou humique morcelé (postpodzols) : symbole h,
- sols caractérisés par un horizon A anthropogène épais (sols de plaggen) : symbole m,
- sols sans développement de profil (sols alluviaux, regosols, lithosols) : symbole p,
- sols à développement de profil non défini (peu net, difficilement déterminable ou fortement variable) : symbole x.

L'unité cartographique, déterminée uniquement par la nature de la roche-mère, par la classe de drainage et par le développement de profil est dénommée la série principale. Cette unité est représentée sur la carte au 20 000^e par une couleur particulière.

4. Complexes et unités non différenciées

La représentation sur la carte des sols de zones, où les sols présentent de très fortes variations, nécessite parfois l'introduction

(1) Nous nous limitons ici à une simple énumération des développements de profil distingués, avec indication de leurs horizons caractéristiques. Une discussion complète de ces subdivisions déborderait du cadre de cette note.

d'unités complexes, groupant des sols de nature lithologique, de classe de drainage et/ou de développement de profil différents.

Les unités cartographiques, où se trouvent mêlés des sols de nature lithologique différente, sont indiquées par les symboles correspondant aux divers matériaux, que l'on y trouve représentés. Les lettres majuscules sont séparées par des tirets, ex. A-L, A-G, U-S, A-S. Quand les symboles se rapportent à des classes de texture fortement différentes, l'unité complexe est supposée grouper également des sols sur matériaux de texture intermédiaire : p. ex. le symbole A-S indique une unité où se trouvent non seulement des sols limoneux et limono-sableux, mais également des sols sablo-limoneux et sablo-limoneux légers. Dans de tels complexes l'état de drainage et le développement de profil ne sont souvent pas spécifiés.

Parfois il est nécessaire de grouper des classes de drainage dans certaines unités cartographiques. Dans ce cas on emploie pour les groupements des classes de drainage des lettres majuscules qui sont placées immédiatement après le symbole de texture (sans tiret). Les symboles suivants ont été adoptés :

classe a + classe b = B,

classe c + classe d = D,

classe e + classe f = F,

classe h + classe i = I,

classes a + b + c + d = A,

classes e + f + g + h + i = G.

Les unités où des développements de profil ont été groupés ont également comme troisième symbole une lettre majuscule, p. ex.

développement a + développement b = B,

développement c + développement f = C,

développement f + développement g = F, etc.

Certaines unités paysagiques bien définies sont parfois indiquées par un symbole spécial (une seule lettre majuscule, dont la signification ne présente aucun rapport avec les symboles de roche-mère). Dans ces unités la constitution des sols, d'ailleurs souvent très complexe, n'est pas spécifiée.

Exemples : B : zones de sources,

R : fonds de vallon rocailleux,

S : fonds de vallon limoneux,

J : affleurements rocheux,

X : dunes.

Le symbole V est également employé dans ce sens pour indiquer les zones tourbeuses en général.

5. Substrats

La présence d'un substrat, dont la nature lithologique diffère de la couche superficielle, est indiquée par une lettre minuscule placée devant la lettre majuscule indiquant la nature de la couche superficielle. Les symboles des substrats suivants ont été adoptés : pour les sédiments meubles :

- s : sédiments de texture sableuse ou limono-sableuse,
 - l : sédiments de texture limoneuse, sablo-limoneuse ou sablo-limoneuse légère,
 - w : sédiments de texture sableuse à argileuse (substrat complexe),
 - u : sédiments de texture argileuse ou argileuse lourde,
 - g : sédiments caillouteux ou rocailleux,
- pour les sédiments cohérents :
- k : substrat calcaireux,
 - f : substrat schisteux,
 - r : substrat schisto-gréseux,
 - q : substrat gréseux,
 - n : substrat crayeux.

Quand le symbole de substrat est employé sans parenthèses, ce substrat apparaît à moins de 80 cm de profondeur. Placé entre parenthèses, il indique la présence du substrat entre 80 et 125 cm de profondeur.

Exemples : sA en tête de symbole désigne un sol développé sur des matériaux limoneux reposant à moins de 80 cm de profondeur sur des matériaux sableux ou limono-sableux,

(k)E en tête de symbole désigne un sol développé sur des matériaux argileux passant entre 80 et 125 cm à une roche calcaire compacte.

Une lettre minuscule placée devant le symbole du substrat donne une précision concernant la nature de ce dernier.

Exemples : ku : argile d'altération de calcaire,
fu : argile d'altération de schiste,
ru : argile d'altération du complexe schisto-gréseux,
xu : argile à silicite,
pw : matériaux argilo-sableux d'altération de psam-
mite,
tg : graviers de terrasses.

Les unités cartographiques, caractérisées par la présence d'un substrat à moins de 80 cm de profondeur, sont dénommées séries dérivées.

Elles sont indiquées par la couleur de la série principale correspondante, accompagnée d'une surcharge en noir ou en couleur.

La présence d'un substrat à plus de 80 cm est considérée comme un caractère secondaire; la nature du substrat n'est souvent pas spécifiée. Le symbole du substrat est alors remplacé par la lettre x = substrat non défini, p. ex. (x)A.

6. Variantes de roche-mère

Une lettre minuscule, placée en troisième position derrière le symbole majuscule indiquant la nature des matériaux, fournit une précision concernant la roche-mère. Ce genre de symbole est surtout employé dans les sols limono-caillouteux à teneur en éléments grossiers supérieure à 15 %. Dans ce cas le symbole indique la nature lithologique des éléments caillouteux (charge).

Les symboles suivants ont été adoptés :

- k : charge calcareuse,
- f : charge schisteuse,
- p : charge psammitique,
- r : charge schisto-gréseuse,
- x : charge de silexite,
- q : charge gréseuse,
- t : charge graveleuse,
- o : charge de dragées de quartz,
- n : charge crayeuse.

Dans les sols limono-caillouteux à teneur en éléments grossiers supérieure à 15 % la série principale est indiquée par un symbole à quatre lettres et figure sur les cartes avec une couleur particulière. L'absence d'une quatrième lettre dans les symboles commençant par G indique une roche-mère limoneuse peu caillouteuse, dont la teneur en éléments grossiers varie entre 5 et 15 %.

Parfois on emploie une lettre majuscule pour indiquer la charge de nature complexe, p. ex. K : charge argilo-calcaire. Une charge de composition intermédiaire ou une charge d'origine mixte est indiquée par une double minuscule, p. ex. kf : charge schisto-calcaire, fp : charge schisto-psammitique.

Ce symbole est également employé dans les classes de texture de sédiments meubles non caillouteux.

Exemples : z indique que les sédiments deviennent plus légers ou plus grossiers en profondeur,

y indique que les sédiments deviennent plus lourds ou plus fins en profondeur,

e indique pour les textures Z ou S que les matériaux sont caillouteux.

7. Variantes de développement de profil

Une lettre minuscule placée entre parenthèses en troisième position derrière le symbole de roche-mère indique une variante dans le développement de profil.

Exemples : (b) indique pour les sols (bruns) lessivés la présence d'un horizon B tacheté,

(c) indique pour les sols sans développement de profil la présence, à moins de 80 cm de profondeur, d'un horizon B textural enfoui.

8. Phases

Enfin, certains caractères secondaires du sol sont indiqués par des chiffres figurant à la fin de symbole. Ces caractères ont parfois une grande importance agricole. La signification de ces chiffres est spécifique pour chaque série.

Exemples : dans la série Aba (sols limoneux à horizon B textural à drainage favorable) le symbole suffixe 0 indique la présence d'un horizon A épais (de plus de 40 cm); le suffixe 1 indique dans la même série que l'épaisseur de l'horizon A est inférieure à 40 cm.

Dans les sols limono-caillouteux les chiffres ont trait à l'épaisseur et à la pierrosité de la couverture superficielle.

Les caractères secondaires du sol, non seulement ceux indiqués par des chiffres en fin de symbole, mais également la plupart des variantes de roche-mère et des variantes de développement de profil, dans certains cas même la présence d'un substrat à moins de 80 cm, sont présentés sur les cartes comme phases. Ces phases sont figurées au moyen de diverses surcharges et peuvent se rapporter à différentes séries.

II. LES ASSOCIATIONS DE SOLS

Les unités cartographiques des cartes pédologiques détaillées établies à grande échelle (p. ex. au 20 000^e) sont normalement des unités taxonomiques, c.-à-d. qu'elles englobent uniquement des sols, qui correspondent à une définition précise quant à leurs diverses caractéristiques.

Sur une carte à échelle plus réduite il est à partir d'un certain stade matériellement impossible de délimiter de telles unités, même si leurs définitions ont été établies de manière très large. Pour cette raison les cartes pédologiques à petite échelle représentent des associations de sols.

Les associations de sols ne sont pas des unités taxonomiques mais des groupements spatiaux définis d'après les diverses unités taxonomiques que l'on y rencontre, d'après leur importance rela-

tive et d'après leur répartition à l'intérieur des associations. Ces définitions sont complétées par des données concernant la topographie, le climat, l'affectation et l'aptitude des sols. Elles sont établies de telle manière que les associations se répartissent en plages couvrant des superficies relativement étendues. Des unités taxonomiques de nature très différente peuvent se trouver à l'intérieur d'une même association.

Les données de la cartographie systématique au 20 000^e couvrant approximativement la moitié du pays, complétées par des données de cartographies de reconnaissance et par des données d'autres cartes existantes (géologiques et topographiques), ont permis l'établissement d'une première carte des associations de sols de la Belgique à l'échelle du 400 000^e, dont une réduction quelque peu simplifiée a été imprimée à l'échelle du 800 000^e. Sur cette carte trente huit associations ont été distinguées. Leurs dénominations, quoique inspirées par les dénominations courantes des régions géographiques ou agricoles, sont en principe indépendantes de ces dernières. Ces dénominations ont été introduites en remplacement des définitions des associations proprement dites, établies selon la manière précitée, qui présentent l'inconvénient d'être beaucoup trop longues.

1. Association des dunes littorales récentes⁽¹⁾

Composition

Sols sableux moyens⁽²⁾ calcarifères, généralement très secs à secs, localement humides (sans développement de profil). En bordure des polders: sols sableux sur substrat argileux (sols de transition).

Répartition

Bande de 0,1 à 2 km de longueur le long de la Mer du Nord.

Topographie

Dunes mouvantes ou fixées, entrecoupées de dépressions parfois humides (pannes); altitude de 5 à 30 m; topographie assez accidentée dans les dunes, plane dans les pannes et les zones de bordure.

(1) Les dunes et les polders maritimes ont été cartographiés avant l'établissement d'une légende unifiée pour le pays. La légende des cartes imprimées de ces régions est basée sur des critères entièrement différents, à la fois géologiques, géomorphologiques et lithologiques.

(2) Sable moyen: sable à chiffre médian de 150 à 200 μ .

Climat

Température moyenne annuelle : 10°C.
Température moyenne de janvier : 3,5°C.
Température moyenne de juillet : 16,5°C.
Période sans gelées : 220 jours.
Précipitations annuelles : 800 mm.

Affectation

Terrains incultes et bois (feuillus divers, pin noir) dans les dunes; pâtures, terrains maraîchers (Lombartsijde) dans les zones de bordure.

Aptitude

Dunes : sols inaptes à la culture et à la pâture, convenant parfois au boisement; pannes et zones de bordure : sols de valeur moyenne à médiocre pour la pâture, localement sols pouvant convenir à l'horticulture.

2. Association des polders récents

Composition

Sols argileux et argileux lourds calcarifères, reposant éventuellement en profondeur sur des matériaux sableux calcarifères, modérément humides (sans développement de profil, endigués après le 13^e siècle); localement (en bordure de la région sableuse) sols argileux (sans développement de profil), calcarifères ou non, modérément humides à très humides sur substrat sableux non calcarifère ou sur substrat tourbeux; sols argileux très ou extrêmement humides dans les chenaux non entièrement colmatés.

Répartition

Cette association englobe cinq zones :

- 1) les polders de l'estuaire de l'Yser,
- 2) les polders historiques d'Ostende,
- 3) les polders du Zwin,
- 4) les polders du nord de la Flandre orientale (Watervliet),
- 5) les polders de l'Escaut au nord du Pays de Waas et au nord d'Anvers.

Topographie

Relief très plat, microrelief quasi nul sauf aux abords des chenaux; altitude de 4 à 5 m.

Climat

Cf. association 1.

Affectation

Cultures dominantes, pâtures dispersées principalement à proximité de l'habitat, dans les zones de bordure, dans les chenaux; ces derniers sont en partie occupés par des terrains marécageux incultes; ni bois ni cultures maraîchères, floriculture dans la région de Zandvliet.

Aptitude

Sols très aptes pour les cultures exigeantes et pour les pâtures; dans les zones de bordure et dans les chenaux sols aptes à la pâture, parfois trop humides.

3. Association des polders moyens et anciens

Composition

Sols mis en culture entre le 11^e et le 13^e siècle (polders moyens), avant le 9^e siècle (polders anciens).

a) Sols de cuvettes : sols argileux et argileux lourds, rarement calcarifères sinon en profondeur, reposant sur de la tourbe, modérément humides ou humides, plus rarement très humides (sans développement de profil).

b) Sols des chenaux en relief : sols argileux ou argilo-sableux généralement calcarifères, reposant sur des matériaux plus légers (argilo-sableux ou sableux), modérément secs à modérément humides (sans développement de profil).

c) Sols des zones de bordure : sols argileux rarement calcarifères, reposant éventuellement par l'intermédiaire d'une couche tourbeuse sur des matériaux sableux ou sablo-limoneux décalcifiés, montrant parfois un profil de sol enfoui; localement sols à couverture superficielle plus légère.

d) Sols à couche peu perméable à faible profondeur : sols sablo-argileux décalcifiés reposant vers 30 à 40 cm de profondeur sur de l'argile lourde peu perméable, humides ou très humides en surface (sans développement de profil), à structure très défavorable (« blekgronden »).

e) Sols des chenaux déprimés : sols argileux assez hétérogènes à sous-sol vaseux, humides ou très humides (sans développement de profil), dans les polders moyens.

f) Sols artificiels (détourbés, débriquetés, dessablés) : sols hétérogènes, humides ou très humides.

Répartition

Cette association occupe la majeure partie de la plaine maritime en Flandre Occidentale.

Topographie

Relief très plat, altitude de 3 à 5 m, faible microrelief avec dénivellations de 1 m environ, plus prononcé dans les polders anciens que dans les polders moyens, essentiellement déterminé par l'inversion du relief, les chenaux à sous-sol sableux formant des bandes sinueuses légèrement surélevées.

Climat

Cf. association 1.

Affectation

Cultures dominantes sur les sols des chenaux; pâtures dominantes sur les sols de cuvettes, sur les sols des chenaux localisées à proximité de l'habitat ou dans les chenaux imparfaitement colmatés; ni bois ni cultures maraîchères.

Aptitude

Sols des chenaux en général très aptes aux cultures exigeantes, sauf ceux à texture sableuse et ceux situés dans les chenaux imparfaitement colmatés; sols très aptes à assez aptes aux pâtures selon l'état de drainage. Sols des cuvettes en général très aptes aux pâtures, sauf aux endroits à drainage défavorable, en général aptes à peu aptes aux cultures. Sols des zones de bordure très aptes ou assez aptes selon l'état de drainage pour les cultures et les pâtures.

4. Association des Moères

Composition

Sols argileux légers, sols argileux, sols tourbeux et sols sableux à régime hydrologique contrôlé artificiellement (sans développement de profil).

Répartition

Anciens fonds de lacs asséchés, occupant deux plages isolées: les Moères à la frontière française et la Moère à Meetkerke.

Topographie

Relief très plat, microrelief pratiquement nul, altitude de 1 à 3 m.

Climat

Cf. association 1.

Affectation

Cultures dominantes dans les Moères de la frontière française, associées à des pâtures; pâtures largement dominantes à Meetkerke; ni bois, ni cultures maraîchères.

Aptitude

Dans les Moères de la frontière française : sols très aptes aux cultures, à parcellement rectangulaire; sols très aptes ou aptes à la pâture.

Dans la Moère à Meetkerke : sols aptes à la pâture.

5. Association de la région sablonneuse flamande

Composition

Sols dominants. Sols sableux fins⁽¹⁾, modérément secs à modérément humides (postpodzols, parfois podzols), sols limono-sableux modérément humides à humides (postpodzols ou sols bruns), sols à horizon A anthropogène épais au nord de la Dyle et du Démer.

Inclusions mineures

Sols sableux fins très secs à secs (podzols ou sols sans développement de profil dans les régions à dunes continentales, très peu fréquents en Flandre, sauf à proximité des vallées, fréquents dans la région au nord de la Dyle), sols limono-sableux, sablo-limoneux légers, sablo-limoneux et argileux humides, très humides et même extrêmement humides, sols tourbeux, (le plus souvent sans développement de profil, dans des dépressions alluviales ou semi-alluviales, peu fréquents en Flandre, fréquents dans la région au nord de la Dyle et au nord du Démer).

Répartition

La principale plage de cette association occupe le nord des provinces de la Flandre Occidentale et de la Flandre Orientale; deux zones isolées, dont la composition des sols varie assez notablement par rapport à celle de la zone principale (cf. composition) s'étendent au nord de la Dyle (région de Keerbergen-Rijmenam) et au nord du Démer (région de Hasselt). Cette association comprend les zones où les sables d'origine nivéo-éolienne d'âge pléistocène supérieur forment une couverture continue assez épaisse (plusieurs mètres).

Topographie

En Flandre : relief plat, altitude de 5 à 20 m, microrelief avec dénivellations de 2 m environ, caractérisé le plus souvent par une alternance de dos et de dépressions, orientés sensiblement ouest-est.

Au nord de la Dyle : microrelief plus accentué (dénivellations de 5 m) par la présence de dunes continentales, altitude 10-20 m.

(1) Sable fin : sable à chiffre médian de 120 à 150 μ .

Au nord du Démer, microrelief plus accentué (dénivellations de 5 m) caractérisé par des interfluves surbaissés séparant d'assez larges fonds d'origine semi-alluviale; altitude 20-40 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 9,5°-10°C.

Température moyenne de janvier : 3°-3,5°C à l'ouest,
2,5°-3,5°C à l'est.

Température moyenne de juillet : 17°-18°C.

Période sans gelées : 210 jours à l'ouest, 190 jours à l'est.

Précipitations annuelles : 750-850 mm.

Affectation

En Flandre cultures et pâtures dominantes, réparties selon une mosaïque désordonnée, zones relativement sèches (« kouters ») le plus souvent sous culture, zones relativement humides (vallées alluviales ou semi-alluviales) le plus souvent sous pâture; dans les zones sèches bois peu étendus (résineux, principalement pin sylvestre, plus rarement feuillus) et terres incultes, dans les zones humides bois (peupliers, aulnes, chênes); floriculture aux alentours de Gand.

Au nord de la Dyle les bois (résineux) prennent une plus grande extension.

Au nord du Démer les pâtures occupent les larges dépressions; cultures, pâtures, subsidiairement bois et landes occupent les interfluves.

Aptitude

Sols sableux modérément secs ou modérément humides aptes aux céréales peu exigeantes (avoine, seigle) et aux pommes de terre, peu aptes ou aptes aux pâtures; sols limono-sableux modérément humides ou humides aptes aux pâtures, moyennement aptes aux cultures exigeantes. Sols très secs peu aptes ou inaptes aux cultures et aux pâtures; sols humides ou très humides aptes aux pâtures, inaptes aux cultures; sols extrêmement humides inaptes aux cultures et aux pâtures.

6. Association de la région de Beernem

Composition

Sols sableux fins à moyens, éventuellement caillouteux, secs à humides; sols limono-sableux modérément humides à humides (dominance de podzols).

Répartition

Cette association occupe une bande de 2 à 5 km de largeur le

long de la bordure méridionale de la précédente entre Varsenare et Bellem; elle correspond à une zone d'affleurement de sable panisélien, avec mince couverture discontinue de sable quaternaire.

Topographie

Relief plat, altitude de 10 à 25 m, microrelief assez prononcé avec dénivellations de 5 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 9,5°-10°C.

Température moyenne de janvier : 3°-3,5°C.

Température moyenne de juillet : 17°-17,5°C.

Période sans gelées : 200-210 jours.

Précipitations annuelles : 800-850 mm.

Affectation

Sols très souvent boisés (résineux et feuillus divers), pépinières (Beernem), cultures et pâtures réparties en mosaïque, souvent selon l'allure du microrelief.

Aptitude

En général sols de valeur moyenne à médiocre, selon l'état de drainage (moyennement) aptes aux pâtures et aux cultures peu exigeantes.

7. Association de la Campine septentrionale

Composition (tabl. 1)

Sols sableux fins à moyens, très secs à très humides, sols limono-sableux modérément humides à très humides, (podzols, aux alentours des villages sols à horizon A humifère anthropogène épais — sols de plaggen —, sols sans développement de profil dans les aires dunales — en général secs — ou dans les dépressions et plaines alluviales — en général humides); inclusions mineures de sols sablo-limoneux légers humides et de sols tourbeux.

Répartition

Cette association couvre la partie nord-ouest de la Campine, caractérisée par une couverture de sable quaternaire d'origine nivéo-éolienne assez mince (1-2 m), reposant à l'ouest sur des dépôts argilo-sableux (argiles de Rijkevorsel), à l'est sur des dépôts sableux (sables de Mol) d'âge quaternaire ancien.

Topographie

Relief plat, microrelief assez prononcé avec dénivellations de 2 à 5 m, même plus fortes dans les aires de dunes (Kalmthout), altitude de 10 à 35 m.

TABLEAU I
PROPORTION DES DIVERSES UNITÉS CARTOGRAPHIQUES DANS
L'ASSOCIATION DE LA CAMPINE SEPTENTRIONALE (1)

<i>Groupe</i>	<i>Symbole</i>	<i>Proportion</i>
Dunes et sols sableux sans développement de profil	X, Zap, Zbp, Zcp, Zdp, Zep, Zfp	10%
Sols sableux très secs ou secs, podzols	Zag, Zbg	2%
Sols sableux modérément secs ou modérément humides, podzols	Zcg, Zdg	20%
Sols sableux humides ou très humides, podzols	Zeg, Zfg	15%
Sols sableux très secs ou secs, sols de plaggen	Zam, Zbm	3%
Sols sableux modérément secs ou modérément humides, sols de plaggen	Zcm, Zdm	24%
Sols sableux humides, sols de plaggen	Zem	2%
Sols limono-sableux modérément humides à très humides, podzols	Sdg, Seg, Sfg	8%
Sols limono-sableux humides ou très humides, sans développement de profil	Sep, Sfp	10%
Sols sablo-limoneux légers modérément humides à humides, podzols ou sols de plaggen	Pdm, Pem, Peg	2%
Sols sablo-limoneux légers humides ou très humides, sans développement de profil	Pep, Pfp	3%
Sols tourbeux	V	<1%

(1) D'après une communication de M. F. DE CONINCK.

Climat

Température moyenne annuelle : 9,5°C.

Température moyenne de janvier : 2,5°-3°C.

Température moyenne de juillet : 17°-17,5°C.

Période sans gelées : 180-200 jours.

Précipitations annuelles : 750-850 mm.

Affectation

Cultures et pâtures réparties en mosaïque, bois de feuillus (chêne) et de résineux (pins), terres incultes (landes et marais).

Aptitude

Sols aptes aux cultures peu exigeantes et aux pâtures (selon l'état de drainage); sols très secs et secs peu aptes aux cultures et aux pâtures, de valeur variable pour le boisement.

8. Association de la Campine méridionale

Composition

Sols sableux fins à moyens, sols limono-sableux et sols sablo-

limoneux légers, très secs à très humides (sols bruns podzoliques, podzols, sols à horizon A anthropogène épais — sols de plaggen —, sols sans développement de profil); inclusions mineures de sols sableux ferrugineux grossiers secs (sols bruns podzoliques) et de sols argileux secs à modérément humides (sols à développement de profil peu net) sur les collines; sols sablo-limoneux humides ou très humides (sols podzoliques ou sols sans développement de profil), sols argileux humides à extrêmement humides et sols tourbeux extrêmement humides (sols sans développement de profil) dans les vallées.

Répartition

Cette association occupe la partie méridionale de la Campine et est limitée entre Lierre et Heyst-op-den-Berg par la Nèthe, entre Aarschot et Kermt par le Démer. Elle est caractérisée par une couverture de sable quaternaire d'origine nivéo-éolienne reposant sur un substrat argilo-sableux tertiaire (Diestien), affleurant sur les collines.

Topographie

Relief faiblement ondulé à ondulé, caractérisé par la présence de petites collines séparées par de larges dépressions; dénivellations pouvant atteindre 20 m; altitude de 15 à 50 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 9,5°C.

Température moyenne de janvier : 2,5°-3°C.

Température moyenne de juillet : 17,5°C.

Période sans gelées : 195-205 jours.

Précipitations annuelles : 800 mm.

Affectation

Cultures et pâtures réparties souvent selon l'état de drainage, bois et terres incultes (landes et marais).

Aptitude

Sols modérément secs à humides aptes aux cultures peu exigeantes et aux pâtures selon l'état de drainage; sols très humides des dépressions peu aptes à la pâture, parfois incultes (marécageux); sols très secs et secs (sols sableux ferrugineux des collines, zones de dunes) inaptes ou peu aptes aux cultures et aux pâtures, le plus souvent boisés ou même incultes.

9. Association de la Campine orientale

Composition

Sols sableux fins à moyens, parfois graveleux, très secs à très

humides, sols limono-sableux et sablo-limoneux légers modérément humides à très humides, localement sols tourbeux, (podzols, localement sols à horizon A anthropogène épais — sols de plaggen — à proximité de villages et sols sans développement de profil dans les dunes et les dépressions).

Répartition

Cette association occupe la Campine orientale et correspond au bas plateau dont le substrat, que l'on trouve d'ailleurs souvent à faible profondeur, est composé de dépôts graveleux d'origine mosane. Vers le nord cette association tant au point de vue paysagique que pédologique perd graduellement ces caractéristiques typiques.

Topographie

Relief ondulé, localement vallonné avec faibles dénivellations (10 m) au centre du plateau, toutefois beaucoup plus fortes (40 m) le long de la bordure orientale, altitude de 40 à 100 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 9,5°C.

Température moyenne de janvier : 2,5° C.

Température moyenne de juillet : 17,5°C.

Période sans gelées : 170-180 jours.

Précipitations annuelles : 750-850 mm.

Affectation

Bois, principalement résineux (pins), landes, cultures et pâtures, réparties en mosaïque souvent en rapport avec la topographie et l'état de drainage.

Aptitude

Sols modérément secs à humides modérément aptes aux cultures peu exigeantes ou aux pâtures selon l'état de drainage. Sols très secs et secs aptes à la plantation de pins, inaptes ou peu aptes aux cultures et aux pâtures. Sols très humides inaptes aux cultures, peu aptes aux pâtures.

10. Association de la région limono-sableuse

Composition

Dominance de sols limono-sableux secs à humides, localement sols sableux secs et sols limono-sableux légers ou sablo-limoneux humides ou très humides (sols bruns, podzols, sols podzoliques, postpodzols, sols à horizon A anthropogène humifère épais, sols sans développement de profil).

Répartition

Dans cette association ont été groupées plusieurs zones qui s'étendent le long de la bordure méridionale des associations 5, 6, 8 et 9 précitées. En fait, ces bandes constituent la première frange de la zone de transition vers les sols plus limoneux du sud. Ces bandes sont discontinues et de largeur très inégale. Elles prennent une assez grande extension dans la région de Torhout, dans les vallées de la Lys et de la Mandel en Flandre Occidentale; dans la province d'Anvers elles occupent la région de Puurs ainsi que la zone comprise entre l'Escaut en amont d'Anvers, le Rupel, la Dyle d'une part, le canal Albert et la Grande Nèthe d'autre part. La région située à l'est du plateau de Campine (association 9) a été incluse dans cette association à titre provisoire; elle est d'ailleurs encore mal connue. Cette association se trouve également au milieu de la région sableuse flamande (association 5) sur la cuesta bartonnienne d'Oedelem-Zomergem. Cette association est somme toute très hétérogène et le seul trait commun des différentes zones qui la composent est la dominance des sols limono-sableux. Les matériaux limono-sableux ont la même origine que les dépôts nivéo-éoliens sableux situés plus au nord. Dans l'association 9 toutefois l'épaisseur de ces dépôts est très variable; elle est en général peu considérable sauf dans la région de la Lys et de la Mandel et dans la région anversoise. Dans la région de Torhout elle repose le plus souvent à faible profondeur sur des dépôts argilo-sableux tertiaires (yprésiens ou paniséliens), dans la région d'Oedelem-Zomergem sur des dépôts argileux tertiaires bartonniers, dans la région entre Anvers et Heist-op-den-Berg sur des dépôts divers oligocènes à pliocènes, dans l'est du Limbourg sur des dépôts graveleux quaternaires d'origine mosane.

Topographie

Relief faiblement ondulé à ondulé, dénivellations de 5 à 20 m, altitude de 25 à 50 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 9°-10°C.

Température moyenne de janvier : 2,5°-3°C.

Température moyenne de juillet : 17°-18°C.

Période sans gelées : 210 jours à l'ouest, 180 jours à l'est.

Précipitations annuelles : 750-800 mm.

Affectation

Cultures et pâtures réparties en mosaïque éventuellement selon l'état de drainage et selon la topographie; bois peu étendus, dans

certaines zones même pratiquement absents; cultures maraîchères (région de Puurs-Malines : asperges, légumes verts).

Aptitude

Sols en général très aptes aux cultures peu exigeantes, modérément aptes aux cultures exigeantes, souvent très aptes aux cultures maraîchères en plein air; sols à substrat argileux à faible profondeur et sols humides des dépressions aptes à la pâture.

11. Association de la région sablo-limoneuse légère

Composition

Dominance de sols sablo-limoneux légers, modérément humides à modérément secs, localement sols limono-sableux secs à modérément secs et sols sablo-limoneux humides à très humides (sols lessivés et sols podzoliques, sols sans développement de profil).

Répartition

Cette association s'étend sur une bande de largeur variable d'ailleurs discontinue le long de la bordure méridionale des associations précitées. Elle est principalement développée dans la partie méridionale et centrale de la Flandre Occidentale. Le dépôt quaternaire sablo-limoneux léger repose souvent sur un substrat tertiaire et est souvent en grande partie remanié à partir de celui-ci. Ce substrat est composé d'argile yprésienne, de sable yprésien ou de dépôts argilo-sableux paniséliens dans les deux Flandres. Dans le nord du Brabant le substrat tertiaire se trouve souvent à plus grande profondeur.

Topographie

Relief ondulé, dénivellations de 10 à 20 m, altitude de 25 à 75 m.

Climat

Cf. association 10.

Affectation

Sols en général sous culture ou sous pâture selon la répartition de l'habitat, la topographie et l'état de drainage. Bois peu étendus; terrains incultes pratiquement inexistantes. Pépinières (région de Wetteren). Cultures maraîchères en plein air (région de Puurs-Malines, Flandre Occidentale).

Aptitude

Sols aptes aux cultures exigeantes ou à la pâture selon l'état de drainage, souvent très aptes aux cultures maraîchères en plein air.

12. Association du Hageland septentrional

Composition

Sols sablo-limoneux légers secs ou modérément secs, sols argileux modérément secs ou modérément humides, sols sableux ferrugineux très secs ou secs (sols lessivés et sols podzoliques, localement sols à horizon A anthropogène brunâtre épais). Sols des vallées limoneux (très) humides (sols bruns ou sols sans développement de profil); sols des dépressions sablo-limoneux secs à modérément humides (sans développement de profil).

Répartition

Cette association comprend la région de collines du Hageland septentrional caractérisé par la présence à faible profondeur du substrat diestien argileux ou sablo-ferrugineux affleurant à de nombreux endroits sur les plateaux et les pentes.

Topographie

Relief vallonné, dénivellations de 25 à 40 m, altitude de 30 à 80 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 9,5°C.

Température moyenne de janvier : 3°C.

Température moyenne de juillet : 17,5°C.

Période sans gelées : 190-200 jours.

Précipitations annuelles : 800 mm.

Affectation

Cultures et pâtures réparties selon l'habitat, l'état de drainage et la topographie; sols en forte pente et sols ferrugineux boisés, cultures fruitières sur sols profonds et sur sols en forte pente exposés au sud (pêchers); sols des vallées souvent plantés de peupliers.

Aptitude

Sols très aptes ou aptes aux cultures peu exigeantes, aptes ou modérément aptes aux cultures exigeantes; sols humides aptes aux pâtures; sols à exposition favorable aptes aux cultures fruitières, sols en forte pente et sols ferrugineux peu aptes aux cultures et aux pâtures, modérément aptes au boisement; sols des vallées généralement aptes au peuplier.

13. Association du Hageland central

Composition

Sols sablo-limoneux secs à modérément humides, localement

sols argileux et sols sableux ferrugineux, (sols lessivés, sols bruns podzoliques sur les dépôts ferrugineux); sols des vallées limoneux humides, (sols bruns ou sols sans développement de profil); sols des dépressions sablo-limoneux secs à modérément humides (sans développement de profil).

Répartition

Cette association correspond à la zone de collines du Hageland central, s'étendant sur une largeur d'environ 4 km entre Louvain et Diest; elle correspond à une région à couverture sablo-limoneuse reposant à profondeur moyenne sur substrat diestien.

Topographie

Relief vallonné, dénivellations de 25 à 40 m, altitude de 30 à 105 m.

Climat

Cf. association 12.

Affectation

Cultures et pâtures réparties selon l'habitat, la topographie et l'état de drainage. Bois sur fortes pentes et sur sols ferrugineux. Cultures fruitières sur sols profonds et aux endroits à exposition favorable.

Aptitude

Sols aptes aux cultures exigeantes, sols humides aptes aux pâtures, sols en forte pente et sols sableux ferrugineux inaptes pour les cultures et les pâtures, aptes aux bois et en cas d'exposition favorable à la culture fruitière (pêchers), sols des vallées généralement aptes au peuplier.

14. Association de la région sablo-limoneuse

Composition

Dominance de sols sablo-limoneux secs à modérément humides, (sols lessivés), localement à substrat argileux ou sableux; inclusions mineures de sols argileux, limono-sableux ou sableux; sols des vallées et des dépressions sablo-limoneux, limoneux ou argileux secs à très humides (sans développement de profil).

Répartition

Cette association occupe une bande à peu près continue au sud des associations précédentes; elle constitue la frange méridionale de la zone de transition entre les associations sableuses au nord et limoneuses au sud. Très souvent elle présente des inflexions en direction méridionale, principalement sur les versants est des val-

lées, e.a. le long de la Lys, de l'Escaut, de la Dendre, de la Senne et de la Dyle. En général l'épaisseur de la couverture quaternaire sablo-limoneuse n'est pas très considérable.

Topographie

Relief ondulé ou vallonné, altitude de 15 à 50 m, exceptionnellement 80 m, dénivellations pouvant atteindre 30 m.

Climat

Cf. association 10.

Affectation

Cultures et pâtures nettement dominantes; bois peu fréquents localisés le plus souvent sur des affleurements tertiaires ou dans des dépressions très humides; cultures maraîchères (Oudegem : scorsonères, Hombeek : choux divers); horticulture (Alost : fleurs à couper); houblon (Alost et Poperinge).

Aptitude

En général sols aptes aux cultures exigeantes ou aux pâtures (variantes humides).

15. Association de la région de la Haine

Composition

Sols de texture variable (sableux à sablo-limoneux), reposant sur substrats divers (argile, sable, marne, schiste, grès, calcaire, craie), très secs à très humides (sols lessivés, sols podzoliques, sols bruns, podzols, sols sans développement de profil).

Répartition

Cette association occupe une bande de quelques km de largeur au nord de la vallée de la Haine entre Péruwelz et Obourg, caractérisée par une extrême variabilité du sol et du sous-sol.

Topographie

Relief ondulé ou vallonné, dénivellations de 20 à 35 m, altitude de 30 à 95 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 9,5°C.

Température moyenne de janvier : 3°C.

Température moyenne de juillet : 17°C.

Période sans gelées : 170-180 jours.

Précipitations annuelles : 800 mm.

Affectation

Pâtures et cultures réparties en mosaïque; bois très étendus; quelques terres incultes.

Aptitude

Sols modérément aptes ou peu aptes aux cultures exigeantes, aptes aux pâtures; localement sols peu aptes à la culture et aux pâtures, le plus souvent boisés.

16. Association de la région limoneuse normale

Composition (tabl. 2)

Dominance de sols limoneux, généralement secs (sols lessivés); sols limoneux secs à modérément humides (sans développement de profil) dans les dépressions secondaires, sols limoneux humides (sans développement de profil) dans les vallées et les dépressions principales; inclusions mineures très peu importantes de sols sableux, argileux, graveleux ou limono-caillouteux.

Répartition

Cette association occupe la majeure partie de la zone traditionnellement indiquée comme zone limoneuse; elle est caractéristique des régions à couverture limoneuse quaternaire à peu près continue sur substrat perméable (sable tertiaire principalement). Elle occupe le sud du Limbourg, le nord-ouest de la province de Liège, le sud-est du Brabant, le nord de la province de Namur, le nord-est du Hainaut, la région brabançonne à l'ouest de Bruxelles, le sud de la province de la Flandre Orientale, la dépression de la Dendre dans le Hainaut central et la région de Tournai. Elle s'étend de manière discontinue au sud de la vallée de la Haine et dans la Thudinie.

Topographie

Relief ondulé, dénivellations de 20 à 40 m, altitude de 40 à 200 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 9°-9,5°C.

Température moyenne de janvier : 2,5°-3°C.

Température moyenne de juillet : 16,5°-17,5°C.

Période sans gelées : 170-190 jours.

Précipitations annuelles : 750-800 mm.

Affectation

Les cultures dominent (cultures industrielles dans le sud), les pâtures se localisent principalement dans les dépressions humides, ainsi qu'aux abords des agglomérations. Les bois sont pratiquement inexistantes. Vergers principalement dans le sud du Limbourg. Houblon (région entre Alost et Asse).

Aptitude

Sols très aptes aux cultures exigeantes, sols des vallées et des

TABLEAU 2

PROPORTION DES PRINCIPALES UNITÉS CARTOGRAPHIQUES DANS LES ASSOCIATIONS DE LA RÉGION LIMONEUSE

<i>Groupe</i>	<i>Symbole</i>	<i>Région limoneuse normale (Ass. 16)</i>	<i>Hesbaye (Ass. 17)</i>	<i>Région limoneuse humide (Ass. 18)</i>	<i>Brabant méridional (Ass. 19)</i>	<i>Région des terrasses (Ass. 22)</i>
Sols limoneux secs (sols lessivés)	Aba	50-75%	65-75%	<25%	35-50%	30-70%
Sols limoneux modérément secs à modérément humides (sols lessivés)	Aca, Ada	<5%	<2%	50-75%	<5%	<20%
Sols limoneux humides ou très humides (sols lessivés)	Aha, Aia	—	—	<10%	—	—
Sols limoneux secs (sans développement de profil)	Abp	5-20%	25-35%	<2%	5-15%	<10%
Sols limoneux modérément secs ou modérément humides (sans développement de profil)	Acp, Adp	5-15%	<2%	5-15%	<5%	<5%
Sols limoneux humides à extrêmement humides (sans développement de profil)	Aep, Afp, Agp, Ahp, Aip	5-10%	—	5-10%	2-10%	5%
Divers sols limono-sableux, sableux, argileux, sablo-limoneux et limono-caillouteux	S, Z, P, L, E, G	<5%	<1%	<5%	10-40%(2)	20-40%(3)

(1) D'après des données fournies par MM. A. PECROT, A. LOUIS et P. PAHAUT.

(2) En majorité sableux, limono-sableux et sablo-limoneux.

(3) En majorité sols limono-caillouteux à charge graveleuse ou schisteuse.

dépansions principales humides aptes aux pâtures. Sols en général aptes à la fruiticulture.

17. Association de la région limoneuse hesbignonne

Composition (tabl. 2)

Dominance de sols limoneux secs (sols lessivés) associés à des sols limoneux secs (sans développement de profil) dans les dépansions.

Répartition

Cette association se localise dans une large zone située au nord et à l'ouest de Liège, caractérisée par une couverture limoneuse épaisse et continue sur substrat crayeux.

Topographie

Relief largement ondulé, dénivellations de 15 à 25 m, altitude de 100 à 200 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 9,5°C.

Température moyenne de janvier : 2,5°-3°C.

Température moyenne de juillet : 17°-17,5°C.

Période sans gelées : 180 jours.

Précipitations annuelles : 750-800 mm.

Affectation

Zone à large dominance des cultures; pâtures et vergers localisés autour de l'habitat d'ailleurs fortement groupé en villages.

Aptitude

Sols très aptes aux cultures exigeantes, plus particulièrement à la betterave sucrière; sols aptes ou très aptes pour les pâtures et les vergers.

18. Association de la région limoneuse humide

Composition (tabl. 2)

Dominance de sols limoneux modérément humides (sols lessivés) associés à des sols limoneux secs et très humides (sols lessivés), à des sols limoneux humides (sans développement de profil) dans les dépansions et dans les vallées; localement sols argileux.

Répartition

Cette association prend une assez grande extension dans le nord du Hainaut, dans le sud de la Flandre Occidentale, en Thudinie et dans le nord de la province de Namur; elle est caractéristique des

zones à couverture limoneuse presque continue reposant sur des substrats peu perméables (argileux, argilo-sableux ou schisto-gréseux).

Topographie

Relief ondulé, dénivellations de 20 à 40 m, altitude de 60 à 220 m.

Climat

Cf. association 16.

Affectation

Pâtures et cultures largement dominantes, réparties en mosaïque; bois de feuillus peu étendus.

Aptitude

Sols aptes à la culture et très aptes à la pâture.

19. Association de la région limoneuse du Brabant méridional

Composition (tabl. 2)

Sols limoneux secs (sols lessivés, sols podzoliques dans la Forêt de Soignes) sur les plateaux, associés à des sols sableux, limono-sableux ou sablo-limoneux secs à très secs sur les versants et bordures des plateaux, (sols bruns podzoliques et podzols, sols lessivés); sols limoneux ou sablo-limoneux secs à modérément humides dans les dépressions secondaires, sols limoneux humides à très humides dans les vallées principales (sans développement de profil), localement sur le bas des versants des vallées principales sols limono-caillouteux à charge schisteuse ou schisto-gréseuse (sols bruns et sols lessivés), et divers sols humides limoneux et sablo-limoneux aux niveaux de sources (contact Bruxellien-Yprésien).

Répartition

Cette association occupe la région centrale et méridionale du Brabant à l'est de la Senne, caractérisée par une couverture limoneuse discontinue sur substrat tertiaire essentiellement sableux (Bruxellien, Lédien, Bartonnien, Tongrien et Diestien).

Topographie

Relief ondulé à vallonné, dénivellations de 40 à 60 m, altitude de 60 à 140 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 9,5°C.

Température moyenne de janvier : 3°C.

Température moyenne de juillet : 17°C.

Période sans gelées : 180-190 jours.

Précipitations annuelles : 800 mm.

Affectation

Cultures dominantes sur les plateaux (Waterloo-Nivelles), pâtures dispersées ou localisées sur les versants et dans les fonds plus humides; versants souvent boisés (chênes, pins).

Aptitude

Sols limoneux très aptes aux cultures exigeantes, aptes à la pâture, sols sableux peu aptes à la culture, souvent boisés, localement incultes, sols des dépressions aptes à la pâture.

20. Association de la région des collines du sud de la Flandre

Composition

Sols limoneux secs à modérément humides; localement sols sableux ou argileux (sols lessivés); sols des vallées et des dépressions limoneux modérément humides à très humides (sans développement de profil).

Répartition

Cette association occupe la région des collines dans le sud de la Flandre et le nord du Hainaut, caractérisée par une couverture limoneuse discontinue d'épaisseur variable sur substrat tertiaire de nature variable (argileux ou sableux).

Topographie

Relief vallonné, dénivellations de 40 à 100 m, altitude de 30 à 150 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 9,5°C.

Température moyenne de janvier : 3°C.

Température moyenne de juillet : 17°C.

Période sans gelées : 190 jours.

Précipitations annuelles : 800 mm.

Affectation

Cultures et pâtures largement dominantes, réparties de manière irrégulière, éventuellement en rapport avec le relief, le degré d'humidité et l'habitat; bois assez importants.

Aptitude

Sols limoneux très aptes aux cultures exigeantes, sols argileux et sableux peu aptes aux cultures, souvent pâturés ou boisés, sols des dépressions aptes aux pâtures.

21. Association de la région limono-crayeuse

Composition

Sols limoneux secs (sols lessivés), associés à des sols crayeux (sols bruns) ou à des sols limono-caillouteux à charge de silexite (sols lessivés); sols des dépressions limoneux secs (sans développement de profil); sols des vallées limoneux humides (sans développement de profil).

Répartition

Cette association se répartit en deux zones; à l'ouest la partie septentrionale et orientale du bassin de la Haine, à l'est la vallée du Geer en aval de Tongres.

Topographie

Relief vallonné, dénivellations de 40 à 60 m, altitude de 50 à 150 m.

Climat

Cf. association 16.

Affectation

Cultures largement dominantes sur les plateaux, pâtures sur les versants, dans les dépressions et à proximité de l'habitat, versants à sols crayeux ou à sols à silexite souvent boisés.

Aptitude

Sols limoneux très aptes aux cultures exigeantes; sols crayeux et limono-caillouteux aptes à peu aptes à la culture, aptes à modérément aptes à la pâture, souvent boisés; sols des dépressions très aptes ou aptes à la pâture.

22. Association de la région des terrasses de la Sambre et de la Meuse

Composition (tabl. 2)

Sols limoneux secs à modérément humides (sols lessivés); localement sols limono-caillouteux à charge graveleuse, schisteuse, schisto-gréseuse ou calcareuse en forte pente ou sur les bordures des plateaux (sols bruns et sols lessivés); sols des dépressions limoneux secs à modérément humides (sans développement de profil).

Répartition

Cette association a été cartographiée le long de la Basse Sambre entre Châtelet et Namur, dans la région de Couthuin et en aval de Liège sur les deux rives de la Meuse.

Topographie

Relief ondulé à vallonné; niveaux de terrasse entrecoupés de ravins et vallées plus ou moins encaissés; dénivellations de 10 m à 20 m dans la Basse Sambre, de 40 à 60 m dans la zone de terrasses en aval de Liège; altitude de 70 à 170 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 9,5°C.
Température moyenne de janvier : 2,5°C.
Température moyenne de juillet : 17°-17,5°C.
Période sans gelées : 170-180 jours.
Précipitations annuelles : 850 mm.

Affectation

Cultures et pâtures largement dominantes, vergers dans la zone des terrasses en aval de Liège, versants souvent boisés.

Aptitude

Sols aptes ou très aptes aux cultures exigeantes et aux pâtures; sols rocaillieux modérément aptes à la culture, aptes à la pâture; sols superficiels ou sols sur fortes pentes le plus souvent boisés, peu aptes ou inaptés à la culture ou à la pâture.

23. Association du sillon de la Sambre et de la Meuse

Composition

Sols limono-caillouteux à charge schisteuse, schisto-gréseuse ou calcareuse, localement très superficiels, généralement secs (sols bruns ou sols lessivés); sols sablo-limoneux, sableux, argileux, crayeux secs à modérément humides (sols bruns ou sols lessivés) en bordure du plateau de Hesbaye; sols limoneux secs à modérément humides (sols lessivés); sols des vallées et des dépressions limoneux secs à très humides (sans développement de profil).

Répartition

Cette association inclut les versants des vallées de la Sambre et de la Meuse entre Charleroi et Liège.

Topographie

Relief vallonné ou fortement vallonné, bordures de plateaux entaillés par l'érosion, dénivellations de 40 à 100 m, altitude de 100 à 220 m.

Climat

Cf. association 22.

Affectation

Cultures, pâtures et bois se répartissent de façon irrégulière à travers cette association.

Aptitude

Sols limono-caillouteux généralement modérément aptes à la culture, aptes à la pâture; sols superficiels limono-caillouteux et sols sur fortes pentes inaptes ou peu aptes pour les cultures et les pâtures, le plus souvent boisés; sols limoneux aptes aux cultures exigeantes et à la pâture.

24. Association de l'Ardenne Condrusienne

Composition (tabl. 3)

Sols limoneux modérément secs à très humides (sols lessivés), associés à des sols limono-caillouteux à charge schisto-gréseuse, localement superficiels, très secs à très humides (sols bruns ou sols lessivés) en bordure des plateaux et sur les versants; sols des dépressions modérément humides à très humides (sans développement de profil).

Répartition

Cette bande s'étend depuis Thuin jusqu'au sud de Liège de manière ininterrompue sur une largeur de 2 à 6 km. Elle correspond à la bordure nord du bassin de Dinant.

Topographie

Zone de plateaux à relief largement vallonné entrecoupée de ravins et de vallées encaissés à relief accidenté; dénivellations de 30 à 100 m, altitude de 150 à 300 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 8,5°-9°C.

Température moyenne de janvier : 2°C.

Température moyenne de juillet : 16,5°-17°C.

Période sans gelées : 170 jours.

Précipitations annuelles : 900 mm.

Affectation

A l'est de Nandrin zone pâturée alternant avec de grands bois, à l'ouest de Nandrin zone à dominance de pâtures, associées à des cultures, alternant avec d'assez grands bois.

Aptitude

Sols limoneux aptes à la culture et en général très aptes à la pâture; sols superficiels, sols en forte pente et sols très humides en général modérément peu aptes à inaptes à la culture, aptes à inaptes à la pâture, souvent boisés.

TABLEAU 3

Groupe	Symbole	Ciney	Spontin	Bois et Borsu	Comblain au Pont	Ohey	Rotheux	Leignon	Nettine
<i>Sols limoneux à horizon B textural</i>									
secs	Aba	4,3	37,5	21	15,4	2,5	11	0,7	24
modérément secs ou modérément humides	ADa	7,2	1,9	3,3	0,6	36,4	24,8	0,8	0,8
humides ou très humides	AIa	—	0,1	—	—	23,3	4,7	—	0,1
<i>Sols limono-caillouteux à charge</i>									
calcareuse	Gbbk	0,4	4,6	5,4	15,7	—	6,9	—	17,8
argilo-calcaire	GbBK	5,8	15,3	24	4,7	—	4,5	—	1,9
schisto-calcaire	GbBkf	0,7	0,02	—	0,07	—	1,5	—	12,2
de silexite, secs	Gbax	14	9,8	4,5	3,0	0,04	—	—	—
de silexite, modérément secs ou modérément humides	GDax	2,1	0,2	—	—	—	—	—	—
psammitique, secs, à horizon B structural	Gbbp	1,7	0,4	0,5	4,75	—	—	5,9	—
psammitique, secs, à horizon B textural	Gba _p	47	7,9	8,5	27	0,06	0,6	0,7	—
id., modérément secs ou modérément humides	GDap	1,2	0,5	0,2	0,24	—	—	—	—
schisto-psammitique, secs	GbBfp	—	—	0,6	0,12	1,0	0,9	25,9	—
id., modérément secs ou modérément humides	GDBfp	—	—	0,03	—	—	—	—	—
schisteuse, secs	GbBf	—	—	8,0	—	2,55	0,6	56,9	45
id., modérément secs ou modérément humides	GDBf	—	—	1,5	—	0,03	0,4	1,7	6,5
id., humides ou très humides	GIxf	—	—	0,03	—	—	—	0,6	—
schisto-gréseuse, secs	GbBr	—	—	—	—	13,8	25,3	—	—
id., modérément secs ou modérément humides	GDBr	—	—	—	—	8,6	3,5	—	—
id., humides ou très humides	GIxr	—	—	—	—	3,2	0,1	—	—
graveleuse	Gbat	—	—	—	3,3	—	—	—	—
<i>Sols limoneux et limono-caillouteux non différenciés (généralement profonds)</i>									
secs	A-GbB	0,7	2,6	4,2	3,2	0,9	1,6	—	—
modérément secs ou modérément humides	A-GDB	—	0,7	1,1	—	0,1	1,2	—	—
<i>Sols limoneux et limono-caillouteux sans développement de profil</i>									
secs	A-Gbp	9,7	17	11,6	5,3	1,3	5,7	1,9	4,1
modérément secs ou modérément humides	A-GDp	3,8	1,1	2,8	0,12	2,3	1,6	1,2	3,1
humides ou très humides	A-GFp	0,6	0,1	1,3	—	3,3	3,9	3,4	5,4
extrêmement humides	A-Ggp	—	—	0,1	—	0,04	—	0,3	0,6

TABLEAU 3 (suite)

PROPORTION DES DIVERSES UNITÉS CARTOGRAPHIQUES DANS LES ASSOCIATIONS DE L'ARDENNE CONDUSIENNE, DU CONDROZ ET DE LA FAMENNE

Ces proportions ont été mesurées pour huit zones couvrant chacune 1 000 ha et choisies en raison de leur caractère représentatif des diverses régions.

Ciney : Haut-Condroz.

Spontin : Condroz : dépression calcaire à forte proportion de sols limoneux.

Bois-et-Borsu : id., mais avec une zone à substrat schisteux namurien.

Comblain-au-Pont : id., dans une zone fortement entaillée par une grande rivière, l'Ourthe.

Ohey : Ardenne Condrusienne avec légers débordements dans le Sillon de la Meuse et dans le Condroz.

Rotheux : Ardenne Condrusienne, avec assez large débordement dans la zone de transition vers le Condroz.

Leignon : Famenne septentrionale et centrale, fortement disséquée.

Nettinne : Famenne centrale, avec petite inclusion schisto-calcaire.

25. Association du Pays de Herve

Composition (tabl. 4)

Sols limoneux modérément secs à modérément humides, plus rarement secs, humides ou très humides (sols lessivés), sols limono-sableux, sableux, argileux, souvent à substrat crayeux, sols limono-caillouteux à charge schisteuse, graveleuse ou de silexite, localement superficiels (sols lessivés, sols bruns, localement podzols); sols des dépressions limoneux modérément humides à très humides, secs sur substrat crayeux (sans développement de profil).

TABLEAU 4

PROPORTION DES DIVERSES UNITÉS CARTOGRAPHIQUES DANS L'ASSOCIATION DU PAYS DE HERVE
(d'après P. PAHAUT)

Groupe	Symbole	Proportion
Sols limoneux secs à très humides	Aba, ADa, Afa, fAba, fADa	20-30%
Sols limono-caillouteux à charge de silexite ou à charge schisteuse, secs à très humides	Gbax, GDax, Gbbx, GDbx, GbBf, GDBf, Glxí	30-50%
Sols argileux secs à modérément humides	Ebb, Edb, Ebbk	10%
Sols sablo-limoneux, éventuellement caillouteux, secs à très humides	Lba, wLba, wG-Lba wG-LDa, wG-Llx	10%
Sols des dépressions limoneux et limono-caillouteux, secs à extrêmement humides	Abp, Gbp, ADp, GDp, AGp, GGp	10%

Répartition

Cette association occupe la partie centrale du pays de Herve à substrat mésozoïque ou houiller.

Topographie

Relief fortement vallonné, formé par un plateau très disséqué; dénivellations de 60 à 120 m, altitude 180 à 350 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 8,5°-9,5°C.

Température moyenne de janvier : 1,5°-2°C.

Température moyenne de juillet : 16°-17,5°C.

Période sans gelées : 160-180 jours.

Précipitations annuelles : 900-1050 mm.

Affectation

Pâtures et vergers dominants; localement sur fortes pentes, sur sols superficiels et sur sols à silexite des bois (feuillus).

Aptitude

Sols très aptes à modérément aptes à la pâture, sols très superficiels ou très caillouteux souvent en forte pente, peu aptes à la pâture, souvent boisés.

26. Association du Condroz

Composition (tabl. 3)

Sols limoneux secs à modérément humides (sols lessivés), sols limono-caillouteux à charge psammitique, calcareuse, argilo-calcaire, schisto-psammitique, schisteuse ou de silexite (sols lessivés ou sols bruns), sols limoneux des dépressions (sans développement de profil) généralement secs sur substrat calcareux, modérément humides à très humides sur les autres substrats.

Répartition

Cette association occupe le Condroz proprement dit, et la partie nord de l'Entre-Sambre-et-Meuse, correspondant à la partie centrale du Bassin de Dinant où alternent les psammites famenniens et les calcaires dinantiens, ainsi que la région de Theux (partie nord de la Fenêtre de Theux) et la partie du massif de la Vesdre où alternent les mêmes roches (partie méridionale du Pays de Herve).

Topographie

Relief largement vallonné, caractérisé par une alternance de crêtes et de dépressions parallèles, entrecoupées de vallées plus ou moins encaissées; dénivellations de 40 à 100 m, altitude 220 à 340 m.

TABLEAU 5

PROPORTION DES DIVERSES UNITÉS CARTOGRAPHIQUES DANS
L'ASSOCIATION DE LA FAMENNE MÉRIDIONALE ENTRE DURBUY ET HOTTON
(d'après J. DECKERS)

<i>Groupe</i>	<i>Symbole</i>	<i>Proportion</i>
Sols limono-caillouteux à charge calcaireuse ou schisto-calcaire superficiels	GbBkf, GbBkf, Gbbk, GbBk	60%
relativement profonds		15%
Sols limoneux secs	Aba, AbB	15%
Sols des dépressions limoneux (secs ou humides) et argileux (humides)	Abp, ADp, AFp, EFp	10%

Climat

Température moyenne annuelle : 8-9°C.
Température moyenne de janvier : 1°-2°C.
Température moyenne de juillet : 16°-17°C.
Période sans gelées : 160-170 jours.
Précipitations annuelles : 900-1100 mm.

Affectation

A l'est de l'Ourthe pays herbager, interrompu par des zones boisées d'une étendue variable, localisées sur des sols superficiels et/ou en forte pente; à l'ouest de l'Ourthe région à alternance de cultures et de pâtures avec zones boisées assez étendues, principalement localisées sur les sommets psammitiques.

Aptitude

Sols limoneux très aptes ou aptes à la culture et à la pâture; sols limono-caillouteux aptes ou modérément aptes à la culture, généralement aptes à la pâture; sols superficiels ou sols en forte pente peu aptes à la culture et à la pâture, généralement aptes au boisement.

27. Association de la Famenne méridionale

Composition (tabl. 5)

Sols limono-caillouteux à charge calcaireuse ou schisteuse, souvent superficiels ou très superficiels (sols bruns), associés très localement à des sols limoneux secs (sols lessivés), sols des dépressions limoneux (sans développement de profil) souvent secs sur les calcaires, humides sur les schistes.

Répartition

Cette association occupe une bande continue sinueuse d'une lar-

geur de 1 à 4 km, le long de la bordure méridionale de la Famenne ainsi qu'une bande dans la région de Philippeville.

Topographie

Relief vallonné, caractérisé par une alternance de buttes (tienes) ou de plateaux calcaires et de dépressions schisteuses, localement entrecoupés de vallées, encaissées dans les calcaires, largement évasées dans les schistes; dénivellations de 40 à 80 m, altitude 180 à 300 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 8°-9°C.

Température moyenne de janvier : 1,5°-2°C.

Température moyenne de juillet : 16°-16,5°C.

Période sans gelées : 160-170 jours.

Précipitations annuelles : 850-1050 mm.

Affectation

Cultures et pâtures sur les plateaux calcaires, pâtures et bois dans les dépressions schisteuses, buttes calcaireuses ou argilo-calcaires boisées (feuillus divers et pins noirs d'Autriche); buttes schisteuses boisées ou incultes.

Aptitude

Selon la profondeur sols très aptes à la pâture ou à la culture, sols très superficiels ou en forte pente inaptés à la culture et à la pâture, le plus souvent boisés ou incultes.

28. Association de la Famenne septentrionale

Composition (tabl. 3)

Sols limono-caillouteux à charge schisteuse ou schisto-psammitique généralement secs, le plus souvent superficiels (sols bruns (subsquelettiques), sols lessivés), sols des dépressions limoneux modérément humides à très humides (sans développement de profil).

Répartition

Cette association occupe une bande continue d'une largeur de 1 à 4 km le long de la bordure septentrionale de la Famenne.

Topographie

Relief fortement vallonné à accidenté, constituant le versant méridional du plateau du Condroz, très fortement disséqué par de nombreux petits ravins; dénivellations de 60 à 100 m, altitude de 250 à 340 m.

TABLEAU 6

PROPORTION DES DIVERSES UNITÉS CARTOGRAPHIQUES DANS
L'ASSOCIATION DE LA FAMENNE CENTRALE DANS LA
RÉGION DE DURBUY-GRANDHAN
(d'après J. DECKERS)

<i>Groupe</i>	<i>Symbole</i>	<i>Proportion</i>
Sols limono-caillouteux à charge schisteuse	GbBf, GDbf, GIxf	
secs superficiels		35%
secs à humides relativement profonds		10%
Sols argileux humides	fEDx, fEIx	50%
Sols des dépressions argileux ou limoneux, modérément humides à très humides	ADp, AFp, EFp, EDx	5%

Climat

Température moyenne annuelle : 8,5°-8°C.

Température moyenne de janvier : 1°C.

Température moyenne de juillet : 16°C.

Période sans gelées : 160 jours.

Précipitations annuelles : 1000-1100 mm.

Affectation

Région de pâtures, associées à quelques cultures, caractérisée par une très forte extension des bois (chênaie).

Aptitude

Suivant leur profondeur sols moyennement aptes ou peu aptes à la culture, aptes ou modérément aptes à la pâture, sols très superficiels ou en forte pente inaptes à la culture et à la pâture, boisés, parfois incultes.

29. Association de la Famenne centrale

Composition (tabl. 3 et 6)

Sols schisteux secs (sols bruns), localement modérément humides ou humides, le plus souvent superficiels ou même très superficiels, sols argileux humides à substrat schisteux, sols des dépressions limoneux ou argileux, modérément humides à très humides (sans développement de profil).

Répartition

Cette association occupe la partie centrale de la Famenne, caractérisée par un substrat schisteux homogène.

Topographie

Relief vallonné sur les versants, ondulé à plat dans les larges dépressions, vallées en général largement évasées; dénivellations de 30 à 70 m, altitude de 140 à 270 m.

Climat

Cf. association 27.

Affectation

Région herbagère avec rares cultures, entrecoupée de grands ensembles boisés.

Aptitude

Sols en général modérément à peu aptes à la culture, aptes à modérément aptes à la pâture; sols très superficiels ou en forte pente peu aptes ou inaptes à la culture et à la pâture, généralement boisés ou incultes.

30. Association de l'Ardenne septentrionale

Composition (tabl. 7)

Sols limoneux peu caillouteux et sols limono-caillouteux à charge schisteuse, gréseuse ou schisto-gréseuse, secs à modérément humides, moyennement profonds à superficiels, rarement très superficiels (sols bruns); sols des vallées limono-caillouteux, secs à très humides (sans développement de profil).

Répartition

Cette association occupe la retombée septentrionale de l'Ardenne, ainsi que la majeure partie de l'Ardenne liégeoise.

Topographie

Relief vallonné à accidenté, composé de plateaux entrecoupés de vallées très fortement encaissées; dénivellations de 50 à 150 m, altitude de 300 à 600 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 6,5°-8°C.

Température moyenne de janvier : 0°-1°C.

Température moyenne de juillet : 14,5°-16°C.

Période sans gelées : 140-160 jours.

Précipitations annuelles : 900-1300 mm.

Affectation

Les zones agricoles se composent dans l'Ardenne liégeoise presque exclusivement de pâtures, ailleurs les pâtures dominent égale-

TABLEAU 7

PROPORTION DES DIVERSES UNITÉS CARTOGRAPHIQUES DANS LES ASSOCIATIONS DE L'ARDENNE (1)

<i>Groupe</i>	<i>Symbole</i>	<i>Ardenne septentrionale</i>	<i>Hautes Fagnes</i>	<i>Ardenne méridionale</i>
Sols limoneux peu caillouteux secs à modérément humides	Gbb, Geb, Gdb	5-10%	10-30%	15-25%
humides à extrêmement humides	Ghx, Gix, Ggx	5-10%	10-20%	0-10%
Sols limono-caillouteux à charge schisto-gréseuse secs à modérément humides	Gbbr, GbFr, GDbr	5-15%	—	—
superficiels ou très caillouteux		35-60%	5-20%	—
relativement profonds		0-10%	25-50%	—
Sols limono-caillouteux à charge schisto-gréseuse humides à extrêmement humides	Glxr, Ggxr	0-10%	25-50%	—
Sols limono-caillouteux à charge schisteuse ou schisto- phylladeuse secs à modérément humides	Gbbf, Gbbfi, GDbf, GDbfi	5-10%	—	5-10%
superficiels		5-20%	—	45-70%
relativement profonds		0-5%	—	0-5%
Sols limono-caillouteux à charge schisteuse ou schisto- phylladeuse humides à extrêmement humides	Glxf, Ggxf, Glxfi, Ggxfi	0-5%	—	0-5%
Sols limono-caillouteux à charge gréseuse	Gbbq, GbFq	0-5%	0-5%	—
Sols tourbeux	V	—	10-20%	—
Sols des vallées et des dépressions	A-Gbp, A-GDp, A-GGp	5-10%	—	5-10%

(1) D'après des données fournies par MM. P. AVRIL, J. DECKERS et P. PAHAUT.

ment par rapport aux cultures. A travers toute l'association les bois prennent une très grande extension, surtout dans les parties élevées (hêtre, chêne, épicéa, pin sylvestre).

Aptitude

Sols aptes ou modérément aptes à la pâture, modérément aptes à la culture, aptes ou très aptes au boisement; sols superficiels ou en forte pente peu aptes à la pâture et à la culture, en général boisés.

31. Association des Hautes Fagnes

Composition (tabl. 7)

Sols limoneux peu caillouteux et sols limono-caillouteux à charge schisto-gréseuse, plus rarement gréseuse ou schisteuse, modérément secs à extrêmement humides (sols bruns et sols podzoliques), localement sols tourbeux (tourbières hautes).

Répartition

Cette association occupe les hauts plateaux de l'Ardenne; elle se répartit en plusieurs zones, une première occupant les Hautes Fagnes proprement dites, une seconde le plateau des Tailles, une troisième le plateau de Saint-Hubert et une quatrième la Croix-Scaille.

Topographie

Relief ondulé ou largement vallonné, région de hauts plateaux, dénivellations de 30 à 100 m, altitude 450 à 700 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 6,5°-7°C.

Température moyenne de janvier : -0,5° à 0,5°C.

Température moyenne de juillet : 14,5°-15,5°C.

Période sans gelées : 140-160 jours.

Précipitations annuelles : 1200-1400 mm.

Affectation

Région boisée (hêtres, épicéas) avec larges zones incultes (landes et tourbières); défrichements peu étendus occupés par des pâtures.

Aptitude

Sols modérément secs à modérément humides aptes à la pâture; sols humides et fangeux peu aptes à la pâture; sols généralement aptes à l'épicéa, sauf les zones tourbeuses.

32. Association de l'Ardenne méridionale

Composition (tabl. 7)

Sols limoneux peu caillouteux et sols limono-caillouteux à charge schisto-phylladeuse, moyennement profonds à superficiels, rarement très superficiels, le plus souvent secs (sols bruns), parfois humides ou très humides; sols des vallées limoneux humides ou très humides (sans développement de profil).

Répartition

Cette association comprend la partie centrale et méridionale de l'Ardenne, ainsi que certaines zones isolées à substrat phylladeux dans le massif de Stavelot (Lierneux et Spa).

Topographie

Relief vallonné, région de plateaux entrecoupée de vallées fortement encaissées; dénivellations de 50 à 150 m, altitude 350 à 550 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 7°-8°C.

Température moyenne de janvier : 0°-0,5°C.

Température moyenne de juillet : 15°-16°C.

Période sans gelées : 140-150 jours.

Précipitations annuelles : 1100-1400 mm.

Affectation

Région de cultures et de pâtures réparties en mosaïque avec grands ensembles boisés (hêtre, épicéa, chêne).

Aptitude

Sols aptes ou modérément aptes à la pâture et à la culture, aptes ou très aptes au boisement, sols superficiels ou en forte pente, peu aptes pour la culture et la pâture, aptes pour le boisement (hêtres et épicéas).

33. Association de la zone marneuse septentrionale du Bas-Luxembourg

Composition

Sols argileux modérément secs à humides, reposant sur substrat marneux (sols lessivés ou sols bruns); très localement sols limoneux modérément humides (sols lessivés); sols des vallées et des dépressions limoneux ou argileux modérément humides à très humides (sans développement de profil), parfois tourbeux (vallée de la Semois).

Répartition

Cette association occupe une bande continue le long de la bordure septentrionale de la région jurassique du Bas-Luxembourg.

Topographie

Relief largement vallonné, dénivellations de 20 à 50 m, altitude de 300 à 400 m. Cette association occupe une dépression entre les associations 32 et 34.

Climat

Température moyenne annuelle : 8°C.

Température moyenne de janvier : 0,5°C.

Température moyenne de juillet : 16° C.

Période sans gelées : 150 jours.

Précipitations annuelles : 1100-1200 mm.

Affectation

Région à dominance de pâtures, rares cultures et bois peu étendus.

Aptitude

Sols aptes à la pâture, peu aptes à la culture.

34. Association de la zone calcaro-gréseuse du Bas-Luxembourg

Composition

Sols sableux ou limono-sableux reposant sur substrat calcaro-gréseux, très secs à modérément secs (sols lessivés, sols bruns podzoliques ou podzols); localement sols limoneux ou sablo-limoneux modérément secs (sols lessivés); sols des vallées et des dépressions sableux à argileux secs dans les têtes des dépressions, ailleurs modérément humides à très humides, sols tourbeux dans la vallée de la Semois.

Répartition

Cette association occupe une bande immédiatement au sud de l'association précédente; elle se rétrécit vers l'est.

Topographie

Relief vallonné, région de plateaux fortement disséqués, dénivellations de 20 à 40 m, altitude 300 à 450 m; la partie nord de cette association correspond à la première cuesta de la région jurassique.

Climat

Cf. association 33.

Affectation

Zone de cultures et de pâtures réparties en mosaïque suivant un

système parcellaire extrêmement morcelé; grandes étendues boisées.

Aptitude

Sols sableux et limono-sableux modérément aptes à la culture et à la pâture, très souvent boisés; sols limoneux aptes à la culture et à la pâture; sols des vallées aptes à la pâture.

35. Association de la zone marneuse méridionale du Bas-Luxembourg

Composition

Sols argileux, reposant sur substrat marneux ou argileux, modérément humides (sols lessivés ou sols bruns); sols limoneux peu caillouteux sur macigno ferrugineux secs à modérément humides (sols lessivés); sols limoneux modérément humides reposant sur substrat marneux ou sur macigno (sols lessivés); sols des vallées généralement limoneux modérément humides à très humides.

Répartition

Cette zone occupe une bande située au sud de celle occupée par l'association précédente dans le Bas-Luxembourg.

Topographie

Relief vallonné, région de plateaux traversée par des vallées assez larges et découpée par de nombreuses dépressions; dénivellations de 40 à 80 m, altitude de 250 à 380 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 8°-8,5°C.

Température moyenne de janvier : 0,5°-1°C.

Température moyenne de juillet : 16°-16,5°C.

Période sans gelées : 150-160 jours.

Précipitations annuelles : 900-1100 mm.

Affectation

Région à dominance de cultures et de pâtures réparties en mosaïque; ensembles boisés assez peu étendus.

Aptitude

Sols sur macigno aptes à la culture et à la pâture, sols marneux peu aptes à la culture, aptes à la pâture.

36. Association de la zone à macigno du Bas-Luxembourg

Composition

Sols limoneux peu caillouteux sur macigno ferrugineux, secs à

modérément humides (sols lessivés), sols des vallées limoneux secs à modérément humides, très humides dans les vallées principales (sans développement de profil).

Répartition

Cette zone occupe une aire assez étendue dans le sud-est du Bas-Luxembourg et est entourée de toute part par l'association précédente.

Topographie

Cf. association 35.

Climat

Cf. association 35.

Affectation

Zone à dominance de cultures, pâtures dispersées, bois peu étendus.

Aptitude

Sols aptes à la culture et à la pâture. Sols superficiels secs sur fortes pentes peu aptes à la culture, inaptes à la pâture.

37. Association de la zone calcareuse du Bas-Luxembourg

Composition

Sols calcareux secs très superficiels (sols bruns), sols argilo-calcaires secs (sols bruns méditerranéens), localement sols limoneux secs à modérément humides (sols lessivés).

Répartition

Cette association occupe deux zones à la frontière française sur la cuesta bajocienne.

Topographie

Relief fortement vallonné (bordure septentrionale de cuesta et plateaux), dénivellations de 50 à 100 m, altitude de 300 à 400 m.

Climat

Température moyenne annuelle : 9°C.

Température moyenne de janvier : 1°C.

Température moyenne de juillet : 17°C.

Période sans gelées : 160 jours.

Précipitations annuelles : 900 mm.

Affectation

Quelques cultures et pâtures sur les plateaux, versants en grande partie boisés.

Aptitude

Sols calcaireux peu aptes à la culture, inaptes à la pâture, portant généralement de beaux bois; sols de plateau limoneux ou argilo-calcaires aptes ou très aptes à la culture, aptes à la pâture.

38. Association des régions alluviales

Composition

Fort variable : sols le plus souvent argileux, argilo-sableux ou limoneux, localement tourbeux, dans la Basse-Meuse localement sableux ou graveleux, généralement sans développement de profil, parfois sols bruns (Basse-Meuse et vallées du Hageland) ou même sols bruns lessivés (vallée de la Lys à Ploegsteert); état de drainage fort variable, en général modérément humides à très humides, localement extrêmement humides, sols secs dans la Basse-Meuse.

Répartition

Seules les plaines alluviales très larges ont été indiquées sur la carte. Ce sont en ordre principal les vallées de l'Escaut entre Gand et Anvers, la vallée du Moervaart dans le nord de la Flandre Orientale, la plaine de la Lys à Ploegsteert, la vallée de la Haine en aval de Mons, la dépression du Démer et du Zwarte Beek dans le Hageland et la plaine de la Meuse en aval de Liège.

Topographie

Relief très plat, caractérisé par divers types de microrelief d'origine alluviale.

Climat

Essentiellement variable, comparable en principe à celui des régions avoisinantes; microclimat souvent important pour ces régions.

Affectation

Zones le plus souvent à dominance de pâtures; cultures et vergers sur les sols bien drainés (Basse-Meuse et plaine de la Lys); souvent boisées d'essences hygrophiles : peupliers, aulnes (Escaut, Moervaart, Hageland).

Aptitude

Essentiellement variable selon l'état de drainage. Sols bien drainés en général très aptes à la culture; autres sols aptes ou très aptes à la pature, éventuellement après drainage. Sols les plus humides, uniquement aptes au boisement par essences hygrophiles.

39. Agglomérations principales

Seules les agglomérations suivantes ont été indiquées sur la carte : Bruxelles, Anvers, Liège, Gand, Ostende, Borinage, Charleroi. A côté des agglomérations proprement dites on y trouve des terrains remaniés divers, des terrains industriels et parfois des zones maraîchères.

BIBLIOGRAPHIE

- AMERYCKX, J. — Sur les « blekgronden » dans les Polders au nord de Bruges. *Revue de l'Agriculture*, 5^e année, n° 6. Bruxelles, 1952.
- Bodem en bewoning in de Zeepolders. *Natuurwet. Tijdschr.*, t. 40, pp. 176-193. Gand, 1958.
- De jongste geologische geschiedenis van de Belgische kustvlakte. *Technisch-Wetensch. Tijdschr.* (à l'impression).
- AMERYCKX, J. & T'JONCK, G. — De waterzieke landbouwgronden in West-Vlaanderen. Brugge, 1959.
- AVRIL, P. — Les sols podzoliques bruns en Ardenne belge. *Pédologie*, t. VII, pp. 97-101. Gand, 1957.
- DECKERS, J. — Sols hydromorphes des hauts plateaux de l'Ardenne belge et leur mise en valeur. *Pédologie*, t. VII, pp. 193-198. Gand, 1957.
- DECKERS, J. & VANSTALLEN, R. — Contribution à l'étude de la saturation en bases des sols bruns de l'Ardenne et de la Famenne. *Agricultura*, t. 3, 2^e série, n° 3. Louvain, 1955.
- DE CONINCK, F. — Formation de sols profondément humifères en Campine anversoise. *Pédologie*, t. VII, pp. 102-106, 1 fig. Gand, 1957.
- DE LEENHEER, L. & VAN RUYMBEKE, M. — Monografie der Zeepolders. *Pédologie*, mém. 2. (à l'impression) Gand, 1959.
- DUDAL, R. — Bijdrage tot de kennis van de gronden in het Mechelse. *Agricultura*, 1950, n° 4, pp. 165-197, 4 fig., 5 photos. Louvain, 1950.
- Etude morphologique et génétique d'une séquence de sols sur limon lœssique. *Agricultura*, t. I, 2^e série, n° 2, pp. 119-163, 3 fig. Louvain, 1953.
- DUDAL, R. & LOUIS, A. — Verslag over de exkursie in het Zoniënwoud. *Pédologie*, t. IV, pp. 59-63. Gand, 1954.
- HALLET, H. — Note sur un podzol développé sur matériaux gréseux calcari-fères. *Pédologie*, t. VII, pp. 189-192. Gand, 1957.
- HANOTIAUX, G. & BOURGUIGNON, P. — Minéralogie des argiles des sols ardennais. *Pédologie*, t. VII, pp. 246-250. Gand, 1957.
- HENRARD, G. — Les sols de la Famenne. *Pédologie*, t. VIII, pp. 199-223, 4 fig. Gand, 1958.
- LAMBERTS, D. — Bodems uit de Limburgse Kempen. *Pédologie*, t. VIII, pp. 224-230, 5 photos. Gand, 1958.
- LARUELLE, J. — Micromorphologie des sols de la Belgique. *Pédologie*, t. VIII, pp. 79-102. Gand, 1958.
- LOUIS, A. — Etude pédologique en rapport avec la culture de la betterave sucrière dans le Hainaut. *Publ. Techn. IBAB*, n° 2, pp. 49-61, 1 fig., 2 pl. Jodoigne, 1954.
- Waarnemingen betreffende de degradatie der bosprofielen in het Zoniënbos. *Natuurwet. Tijdschr.*, t. 37, pp. 113-118, 2 fig. Gand, 1955.

- MANIL, G. e.a. — Les sols forestiers de l'Ardenne. Le plateau de Saint-Hubert - Nassogne. *Bull. Inst. agron. Stat. Rech. Gembloux*, t. 21, n^{os} 3-4, pp. 43-140. 1953.
- MANIL, G. & HANOTIAUX, G. — Données descriptives sur les sols bruns acides et les sols bruns ocreux (brown podzolic soils) des Ardennes belges. *Pédologie*, t. VII, pp. 239-245, 5 fig. Gand, 1957.
- MARECHAL, R. — Bijdrage tot de kennis van de oppervlakkige lagen in de Condruisische Ardennen. *Natuurwet. Tijdschr.*, t. 37, pp. 3-55, 10 fig., 1 pl. Gand, 1955.
- Contribution à l'étude des terrains superficiels de la région condrusienne. *Pédologie*, mém. 1, 320 pp., 84 fig., 3 pl. Gand, 1958.
- MOORMANN, F. R. — De Bodemgesteldheid van het Oudland van Veurne Ambacht. *Natuurwet. Tijdschr.*, t. 33, pp. 3-124, 27 fig., 3 pl. Gand, 1951.
- MOORMANN, F. R. & DECROP, A. — De belangrijkste reeks bodems in de Zandstreek bij Gent. *Pédologie*, t. IV, pp. 30-43, 2 fig. Gand, 1954.
- MOORMANN, F. R. & SNACKEN R. — Over de bodemgesteldheid van de Zandstreek. *Verlagen Navorsingen IWONL*, 1950, pp. 61-72. Bruxelles, 1950.
- PAHAUT, P. — Les cartes des sols au service de la bonification foncière en Belgique. *Pédologie*, t. VII, pp. 214-219. Gand, 1957.
- PECROT, A. & AVRIL, P. — Les sols ardennais. 1. — Etude morphologique et génétique des sols bruns acides et des sols bruns podzoliques du Plateau de Saint-Hubert. *Bull. Inst. agron. Stat. Rech. Gembloux*, t. 22, n^{os} 1-2, pp. 52-95, 9 fig. 1954.
- SCHEYS, G. — De bodemgesteldheid van het Hageland. *Pédologie*, t. IV, pp. 49-58. Gand, 1954.
- Bodemonderzoek in verband met de populierenteelt in het Hageland. *Pédologie*, t. V, pp. 46-93, 7 fig. Gand, 1955.
- SCHEYS, G., DUDAL, R. & BAEYENS, L. — Une interprétation de la morphologie de podzols humo-ferriques. *Actes et C.R. 5^e Congr. Intern. Sc. Sol* (Léopoldville 1954), vol. IV, pp. 274-281, 1 fig. Bruxelles, 1955.
- SCHEYS, G. & T'JONCK, G. — Développement des profils sur sédiments tardi- et postglaciaires. *Pédologie*, t. VII, pp. 204-213, 2 fig. Gand, 1957.
- SNACKEN, F. — De Bodemkartering der Scheldepolders. *Natuurwet. Tijdschr.*, t. 31, pp. 87-96. Gand, 1949.
- Het verband tussen bewoning en bodemgesteldheid in de Scheldepolders. *Natuurwet. Tijdschr.*, t. 38, pp. 191-212, 4 fig., 1 pl. Gand, 1957.
- TAVERNIER, R. & AMERYCKX, J. — Le postpodzol en Flandre sablonneuse. *Pédologie*, t. VII, pp. 89-96, 4 fig. Gand, 1957.
- TAVERNIER, R. & MARECHAL, R. — Les sols à fragipan de la région condrusienne. *Pédologie*, t. VII, pp. 199-203. Gand, 1957.
- TAVERNIER, R. & SCHEYS, G. — Bodemkundige excursie in Noord-Hageland op 23 mei 1958. *Pédologie*, t. VIII, pp. 104-124, 3 fig., 6 photos. Gand, 1958.
- T'JONCK, G. — Bijdrage tot de kennis van de Vlakte van de Leie te Ploegsteert. *Natuurwet. Tijdschr.*, t. 35, pp. 97-101, 1 fig. Gand, 1954.
- VANSTALLEN, R. — Textuurvariatie binnen het leem (Haspengouw) en zandleem (Hageland). *Pédologie*, t. VI, pp. 59-72, 8 fig. Gand, 1956.

Cartes des sols à l'échelle du 20 000^e avec texte explicatif éditées par le Comité pour l'établissement de la Carte des Sols et de la Végétation de la Belgique :

Moerkant 1 W-Essen 1 E-Horendonk 2 W, Noordhoek 5 E(1), Kalmthoutse Hoek 6 W(1), Kalmthout 6 E, Wuustwezel 7 W, De Haan 10 W-Blankenberge 10 E, Heist 11 W, Westkapelle 11 E, Kapellen 15 E, Brecht 16 W, Middelkerke 21 W-Oostende 21 E, Bredene 22 W, Houtave 22 E, Brugge 23 W, Oostduinkerke 35 E, Nieuwpoort 36 W, Leke 36 E, Gistel 37 W(1), De Moeren 50 W(1), Lampernisse 51 W, Roeselare 67 E, Aarschot 75 W, Scherpenheuvel 75 E, Diest 76 W, Asse 87 W, Anderlecht 87 E, Brussel-Bruxelles 88 W, Zaventem 88 E, Leuven 89 E, Lubbeek 90 W, Glabbeek-Zuurbemde 90 E, Zoutleeuw 91 W, Mouscron 97 W, Sint-Kwintens-Lennik 101 W, Halle 101 E(2), Uccle 102 W(2), Tervuren 102 E(2), Duisburg 103 W, Hamme-Mille 103 E(1), Meldert 104 W, Tienen 104 E, Landen 105 W, Sint-Truiden 105 E, Heers 106 W, Borgloon 106 E, Tongeren 107 W, Herderen 107 E, Visé 108 W(1), Enghien 114 E, Rebecq-Rognon 115 W(2), Ittre 115 E(2), Waterloo 116 W, Montenaken 119 E, Waremmes 120 W, Momalle 120 E, Liège 121 E, Ath 126 E, Lens 127 W, Soignies 127 E, Nivelles 129 W, Genappe 129 E, Chastre-Villeroux-Blanmont 130 W, Gembloux 130 E, Perwez 131 W, Eghezée 131 E, Wasseiges 132 W, Braives 132 E, Gosselies 142 E, Fleurus 143 W, Tavier 147 W(1), Esneux 147 E(1), Louveigné 148 W(2), Spa 148 E(2), Binche 152 W, Fontaine-l'Évêque 153 W, Ohéy 156 E(1), Modave 157 W(1), Mettet 165 E(2), Natoye 167 W, Ciney 167 E, Maffe 168 W, Leignon 176 E, Dochamps 178 E, Odeigne 179 W, Bihain 179 E, Champlon 187 W(2), La Roche-en-Ardenne 187 E, Wibrin 188 W.

BODEMASSOCIATIEKAART VAN BELGIE

Samenvatting

Ter inleiding worden de principes uiteengezet van de bodemklassifikatie en van de symboliek, gebruikt bij de detailkartering van België op schaal van 1:20 000. De indeling van de bodems is essentieel gebaseerd op drie factoren: de natuur van het moedermateriaal, de waterhuishouding en de profielontwikkeling.

Bodemkaarten op kleine schaal geven de verbreiding van bodemassociaties aan; dit zijn groeperingen, die gedefinieerd worden naar de verschillende taxonomische eenheden die er in voorkomen met aanduiding van hun relatief belang en hun verspreiding binnen de associaties. De beschrijvingen worden aangevuld met gegevens over topografie, klimaat, bodemgebruik en bodemgeschiktheid. Deze associaties worden derwijze bepaald dat ze betrekkelijk grote, aaneensluitende gebieden beslaan.

De tracés van deze associatiekaart zijn gebaseerd op de detailkaarten, die voor ongeveer de helft van het land reeds opgenomen zijn, alsook op speciaal uitgevoerde bodemkundige verkenningen en op de interpretatie van bestaande kaarten (topografische en geologische).

Daar deze publikatie uiteraard niet geschikt is om geresumeerd te worden, vestigen de auteurs er de aandacht op dat een Nederlandse versie van dit artikel eerstdaags zal verschijnen in het *Natuurwetenschappelijk Tijdschrift* (Gent).

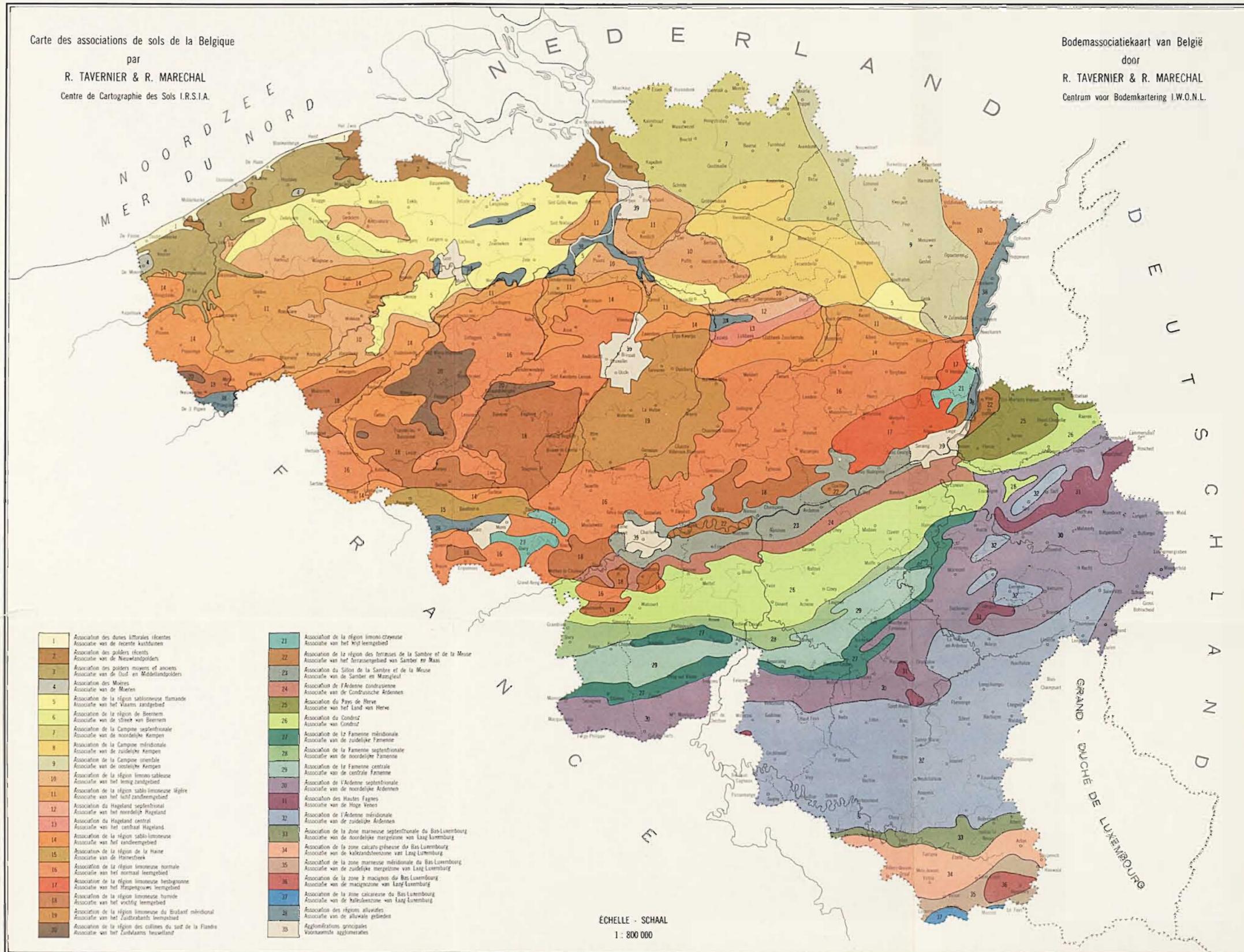
(1) Carte publiée, texte explicatif en préparation.

(2) Carte à l'impression, texte explicatif publié.

Carte des associations de sols de la Belgique

par
R. TAVERNIER & R. MARECHAL
Centre de Cartographie des Sols I.R.S.I.A.

Bodemassociatiekaart van België
door
R. TAVERNIER & R. MARECHAL
Centrum voor Bodemkartering I.W.O.N.L.



- 1. Association des dunes littorales récentes
Associatie van de recente kustduinen
- 2. Association des plateaux récents
Associatie van de Neuwalddoelers
- 3. Association des plateaux moyens et anciens
Associatie van de Oud- en Middellandsdoelers
- 4. Association des Maïres
Associatie van de Maïren
- 5. Association de la région sablonneuse flamande
Associatie van het Vlaams zandgebied
- 6. Association de la région de Beernem
Associatie van de streek van Beernem
- 7. Association de la Campine septentrionale
Associatie van de noordelijke Kempen
- 8. Association de la Campine méridionale
Associatie van de zuidelijke Kempen
- 9. Association de la Campine orientale
Associatie van de oostelijke Kempen
- 10. Association de la région limoneuse sabbazienne
Associatie van het leemzandgebied
- 11. Association de la région sablo-limoneuse sabbazienne
Associatie van het halfzandgebied
- 12. Association du Hageland septentrional
Associatie van het noordelijk Hageland
- 13. Association du Hageland central
Associatie van het centraal Hageland
- 14. Association de la région sablo-limoneuse
Associatie van het randeengebied
- 15. Association de la région de la Haîne
Associatie van de Haïnestreek
- 16. Association de la région limoneuse normale
Associatie van het normaal leemgebied
- 17. Association de la région limoneuse hesbignonne
Associatie van het Hespengouws leemgebied
- 18. Association de la région limoneuse humide
Associatie van het vruchtig leemgebied
- 19. Association de la région limoneuse du Brabant méridional
Associatie van het Zuidbrabant leemgebied
- 20. Association de la région des collines du sud de la Flandre
Associatie van het Zuidvlaams heuvelland

- 21. Association de la région limoneuse creusée
Associatie van het veldleemgebied
- 22. Association de la région des terrasses de la Sambre et de la Meuse
Associatie van het terrasgebied van Sambre en Maas
- 23. Association du Sillon de la Sambre et de la Meuse
Associatie van Sambre en Moezel
- 24. Association de l'Ardenne condensée
Associatie van de Condruische Ardennen
- 25. Association du Pays de Herve
Associatie van het Land van Herve
- 26. Association du Condrz
Associatie van Condrz
- 27. Association de la Famenne méridionale
Associatie van de zuidelijke Famenne
- 28. Association de la Famenne septentrionale
Associatie van de noordelijke Famenne
- 29. Association de la Famenne centrale
Associatie van de centrale Famenne
- 30. Association de l'Ardenne septentrionale
Associatie van de noordelijke Ardennen
- 31. Association des Hautes Fagnes
Associatie van de Hoge Venen
- 32. Association de l'Ardenne méridionale
Associatie van de zuidelijke Ardennen
- 33. Association de la zone marneuse septentrionale du Bas-Luxembourg
Associatie van de noordelijke mergelzone van Laag Luxemburg
- 34. Association de la zone calcaireuse du Bas-Luxembourg
Associatie van de kalkzandsteenzone van Laag Luxemburg
- 35. Association de la zone marneuse méridionale du Bas-Luxembourg
Associatie van de zuidelijke mergelzone van Laag Luxemburg
- 36. Association de la zone à macigno du Bas-Luxembourg
Associatie van de macignozone van Laag Luxemburg
- 37. Association de la zone calcareuse du Bas-Luxembourg
Associatie van de kalksteenzone van Laag Luxemburg
- 38. Association des régions alluviales
Associatie van de alluviale gebieden
- 39. Agglomérations principales
Voornaamste agglomeraties

ECHELLE - SCHAAL
1 : 800 000

CINQUIEME SEANCE ORDINAIRE

tenue le 19 décembre 1958

dans les locaux de la Fondation Universitaire à Bruxelles

La séance est ouverte à 15 h sous la présidence de M. G. MANIL, président de la Société.

Présentation d'un nouveau membre

Le président propose comme membre effectif de la Société :
M. WIJNHOFEN, J., présenté par MM. G. Scheys et L. Baeyens.

Communications

1. *Ionenuitwisselingsvermogen en oppervlakteladingsdichtheid van $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ gelen* par H. BOSMANS et J. FRIPIAT.
Texte ci-après.
2. *Les sols de la Famenne* par G. HENRARD.
Texte ci-après.
3. *Bodems uit de Limburgse Kempen* par D. LAMBERTS.
Texte ci-après.
4. *La classification russe pour la carte des sols* par R. TAVERNIER.

VIJFDE GEWONE ZITTING

gehouden op 19 december 1958

in de lokalen van de Universitaire Stichting te Brussel

De Heer G. MANIL, voorzitter, opent de vergadering te 15 h.

Voorstelling van een nieuw lid

De voorzitter stelt volgende persoon voor als werkend lid van de Vereniging :
de H. WIJNHOFEN, J., voorgesteld door de HH. G. Scheys en L. Baeyens.

Mededelingen

1. *Ionenuitwisselingsvermogen en oppervlakteladingsdichtheid van $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ gelen* door H. BOSMANS en J. FRIPIAT.
Tekst hierna.
2. *Les sols de la Famenne* door G. HENRARD.
Tekst hierna.
3. *Bodems uit de Limburgse Kempen* door D. LAMBERTS.
Tekst hierna.
4. *La classification russe pour la carte des sols* door R. TAVERNIER.

IONENUITWISSELINGSVERMOGEN EN OPPERVLAKTELADINGSDICHTHEID VAN $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ GELEN

door H. BOSMANS & J. FRIPIAT

Laboratoire des colloïdes des sols tropicaux-NILCO
Landbouwinstituut-Heverlee

J. F. WAY was de eerste die in 1850 vaststelde dat het ionenuitwisselingsvermogen van de bodem was toe te schrijven aan een kolloïdale aluminosilikaatfractie; deze zogenaamde kleifractie is later gebleken overwegend uit kristallijne kleimineralen te bestaan. Dezelfde onderzoeker bereidde in 1852 syntetisch uit aluminaaten en silikaatoplossingen een in water onoplosbaar aluminosilikaat met een hoog ionenuitwisselingsvermogen, nu te beschrijven als een amorf $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ gel [1].

Later vonden zo bereide produkten toepassing als syntetische zeolieten voor de waterontharding en sinds de laatste wereldoorlog worden ze in een geaktiveerde vorm (dit is de « antibase » of het « Lewiszuur » ervan) op grote schaal aangewend in het katalytisch kraken van aardolie. Onder de impuls van de oliemaatschappijen heeft het wetenschappelijk onderzoek zich met hernieuwde belangstelling en methoden aan de studie van deze $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ gelen gewijd.

Onderzoekers als TAMELE [2] en MILLIKAN, MILLS & OBLAD [3] vonden dat het ionenuitwisselingsvermogen en tevens de katalytische activiteit bij een reeks van $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ gelen met toenemend $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ gehalte, door een uitgesproken maximum ging bij 30 %.

Algemeen wordt nu aangenomen dat hoe groter oppervlakte, des te groter de katalytische activiteit is of ook des te groter het ionenuitwisselingsvermogen, daar het hier gaat om typische oppervlakteeigenschappen.

Uit vele waarnemingen in ons laboratorium waren er aanwijzingen dat het ionenuitwisselingsvermogen per oppervlakte, hetgeen aan de oppervlakteladingsdichtheid moet beantwoorden, tamelijk konstant was [4].

Van de te bereiden gelen zouden we dus, naast scheikundige samenstelling en fysische structuur, zowel de totale oppervlakte als het ionenuitwisselingsvermogen voor kationen en anionen bepalen [5].

I. BEREIDING

Uit volgende mogelijkheden [1], kozen we de laatste als bereidingswijze :

1. natte vermenging van een neutraal Al_2O_3 en SiO_2 gel,
2. impregnatie van bv. het SiO_2 gel met een Al^{+3} oplossing,
3. koprecipitatie van een alkalische silikaatoplossing met een zure Al^{+3} oplossing,
4. mengen van een silikaatoplossing en een aluminaatoplossing en daarna verzadiging met zuur tot de pH van volledig neerslag.

Aldus werd een reeks gelen bereid met verschillend $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ gehalte. Om hierbij in zo gelijke omstandigheden mogelijk te werken, werden uitgangso oplossingen gemaakt met gelijke formale concentratie, en gelijke hoeveelheid te neutraliseren alkaliniteit :

- Na_2SiO_4 F/2, bereid door 248 g « Natrium Silicium purum siccum » Merck nr. 6614 (18,8 % Na_2O , 60,7 % SiO_2) op te lossen met 2,13 l NaOH 4N en tot 5 l te verdunnen,
- daarnaast $\text{NaAl}(\text{OH})_4$ F/2, bereid door 585 g « $\text{AlCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ » Merck nr. 1080 (11,5 % Al) op te lossen met 2,750 l NaOH 4N, en tot 5 l te verdunnen; ondanks deze 250 ml overmaat NaOH 4N, bleek deze aluminaatoplossing niet helemaal stabiel en is ze armer geworden door neerslaan van een deel $\text{Al}_2(\text{OH})_6$.

Onder hevig roeren werd de aluminaatoplossing bij de silikaatoplossing gedruppeld (ong. 15 ml per min) in een bepaalde verhouding, zodat telkens 1 liter bekomen werd. Daarna werd het nog sterk alkalisch mengsel verzadigd met HCl 6N tot pH 8 met de Beckman Automatic Titrator, onder hevig roeren (aan ong. 5 ml per min). De gebruikte hoeveelheden werden genoteerd, wat ons leerrijke gegevens heeft verschaft.

Het neergeslagen produkt werd dan afgecentrifugeerd, en 3 tot 4 maal gewassen met gedistilleerd water, en ten slotte verder met metylalkohol (dit om de peptisatie tegen te gaan), tot de waswaters vrij waren van chloriden. Het vochtige produkt werd ten slotte overnacht gedroogd bij 110°C . De droge poreuze massa werd in een mortier fijngewreven en de witte lichte poeders dan luchtdicht in flessen opgeborgen.

TABEL I
BEREIDE MENGSELS

<i>Staal</i>	<i>Silikaat-oplossing</i>	<i>Aluminaat-oplossing</i>	<i>Staal</i>	<i>Silikaat-oplossing</i>	<i>Aluminaat-oplossing</i>
1	1 000 ml	—	6	700 ml	300 ml
2	940 ml	60 ml	7	600 ml	400 ml
3	880 ml	120 ml	8	400 ml	600 ml
4	820 ml	180 ml	9	200 ml	800 ml
5	760 ml	240 ml	10	—	1 000 ml

Staal 11 bestond uit een neerslag, dat zich in een eerst bereide aluminaatoplossing had gevormd; na 1 maand contact met de alkalische moederoplossing werd het gewassen en gedroogd als de andere stalen.

II. SAMENSTELLING EN STRUKTUUR VAN DEZE PRODUKTEN

A. Scheikundige samenstelling

Op de stalen gedroogd bij 110°C werd het gehalte SiO_2 , Al_2O_3 en H_2O bepaald. H_2O werd bepaald door gewichtsverschil na 4 h gloeien bij 1 000°C.

SiO_2 en Al_2O_3 werden door een vlugge semi-mikrochemische methode, naar R. B. COREY & M. L. JACKSON [6] gescheiden en spektrofotometrisch bepaald.

TABEL 2
UITSLAGEN IN GEWICHTSPROCENTEN OP DE BIJ 110°C GEDROOGDE STOF

<i>Staal</i>	% H_2O	% Al_2O_3	% SiO_2	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3 \times 100}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$
1	6,5	4,4	88,7	4,7
2	6,1	9,5	81,4	10,5
3	8,1	11,2	76,3	12,8
4	8,4	14,2	75,8	15,7
5	8,5	17,0	67,5	20,1
6	8,1	18,8	62,8	23,0
7	8,7	23,3	60,2	27,9
8	10,2	27,3	46,2	37,1
9	13,0	39,7	34,0	53,9
10	23,1	74,8	0	100,0
11	34,4	—	—	100,0

We merken op dat het totaal onder de 100 % blijft, dit is vooral te wijten aan het niet bepaalde Na_2O dat meer dan 10 % kan bereiken, naar we uit de B.E.C. berekenden. Het gebruikte silikaat bevat verder nog een merkbaar gehalte aan aluminium, zoals blijkt uit de analyse van staal 1.

B. Fysische structuur

Verdunde suspensies van deze 11 produkten werden met de *elektronenmikroskoop* onderzocht en foto's ervan genomen [5].

Al de gelen 1 tot 9 vertonen duidelijk een amorf karakter. De gelen 7 en 8 (met oppervlakten van resp. 35 en 15 m^2/g) vertonen echter niet de fijnkorrelige substructuur (poriën), die we waarnemen bij de gelen 2, 3, 4 en 9 (met oppervlakten groter dan 100 m^2/g , zie verder).

Staal 10 vertoont zwarte massa's naast eerder vezelige structuren (waarschijnlijk boehmiet; zie verder). Staal 11 vertoont mooi gevormde gibbsietmikrokristalletjes met pseudohexagonale habitus (monoklien!).

De amorfe structuur der stalen van 1 tot 9 werd verder uitgezeten door het ontbreken van elk *elektronendiffraktiediagram*. Staal 10 vertoont op alle plaatsen van het preparaat een patroon met 7 diffraktieringen, waarvan al de afgeleide netvlakafstanden overeenkomen met deze gekend voor gibbsiet [7]. Staal 11 geeft slechts hier en daar enkele puntjes te zien van een puntenspektrum; de monokristallen zijn blijkbaar te dik om de gediffrakteerde elektronenbundels door te laten.

De *röntgenanalyse* werd op de poeders uitgevoerd met een fokuserende kamera van het Guiniertype, zodat vooral de lijnen van de lagere orden een grote dispersie bekomen, hetgeen zeer nuttig is voor de identifikatie van mineralen.

Staal 11 vertoont scherp meer dan 20 lijnen overeenkomend met de gekende netvlakafstanden van $\gamma \text{Al}_2(\text{OH})_6$ of gibbsiet (monoklien) en heel zwakjes de 4 hoofdlijnen van $\alpha \text{Al}_2(\text{OH})_6$ of bayeriet (hexagonaal) [7]. Voor dit staal 11 verschilt het experimenteel bepaalde watergehalte (34,36 %) minder dan 1 % van het theoretisch berekende voor $\text{Al}_2(\text{OH})_6$ (34,64 %) zodat het als zuiver trihydraat $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$, beter geschreven $\text{Al}_2(\text{OH})_6$, mag aangezien worden, vooral γ (gibbsiet), naast een klein % α (bayeriet) [5].

Staal 10 vertoont zwak, maar scherp de 4 meest intense lijnen van gibbsiet en verder 4, tot ware banden verbrede lijnen van boehmiet $\gamma \text{AlO-OH}$, wat wijst op de zeer grote verdeeldheid ervan. Neergeslagen boehmiet blijkt wel meer zo voor te komen [7]. Uit het experimenteel bepaalde watergehalte 23,11 % kan voor staal

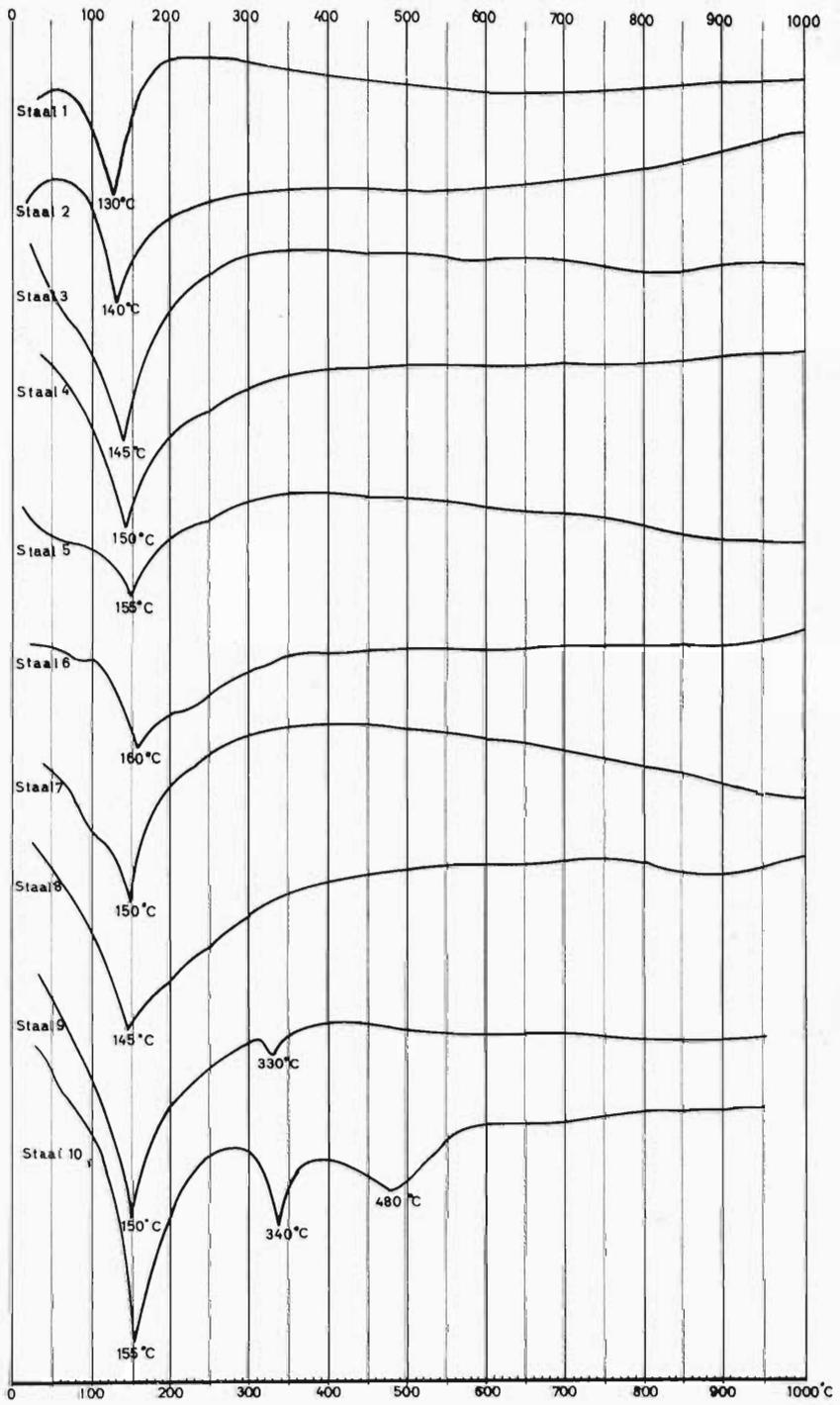


Fig. 1.

Differentiaal-Termo-Analysediagrammen van de stalen 1 tot 10.

10 ongeveer 59 % boehmiet γ AlO-OH (monohydraat : $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) en 41 % gibbsiet γ $\text{Al}_2(\text{OH})_6$ geschat worden [5].

C. Aard van het gebonden water

Differentiaal-Termo-Analysediagrammen, opgenomen tot 1000°C, vertonen enkel endotherme pieken, die slechts kunnen geïnterpreteerd worden als een ontwijken van H_2O (fig. 1).

De stalen 1 tot 8 vertonen slechts één enkele piek, waarvan de minimum Δt° voor staal 1 tot 6 stijgt van 130°C naar 160°C en voor staal 7 en 8 weer lichtjes daalt. Staal 9 vertoont nog een klein extra minimum op 330°C, wat blijkbaar wijst op weinig oktaëdrisch gebonden —OH groepen aan aluminium, zoals bij gibbsiet (355°C).

Staal 11 vertoont een kleine H_2O piek op 90°C, een diepe oktaëdrische —OH piek op 355°C en een zwakke rimpel bij 550°C (zie 5), alle typisch voor γ $\text{Al}_2(\text{OH})_6$ gibbsiet [8].

Staal 10, in overeenkomst met zijn samenstelling — gibbsiet γ $\text{Al}_2(\text{OH})_6$ en boehmiet γ $\text{Al}_2(\text{OH})_6$ — vertoont een eerste, diepe H_2O piek op 155°C (dus weinig kristallijn), een kleine piek op 340°C (gibbsiet) en een andere op 480°C (boehmiet).

De zgn. H_2O pieken van 1 tot 10 zijn abnormaal wijd, wat dus wijst op amorfe stoffen met een grote spreiding in de bindingsenergie van het ontwijkend H_2O ; dit fysisch gebonden H_2O zal sterker gebonden zijn bij aanwezigheid van kleine kationen; hierdoor kan de temperatuurstijging van het piekminimum verklaard worden, voor de stalen 1 tot 6, die een stijgende hoeveelheid (uitwisselbare) Na^+ ionen bezitten (zie verder). Aan de hoge temperatuurkant der pieken kan ook de deshydratatie van aluminol en silanol-OH groepen inbegrepen zijn. Dit kan dan verantwoordelijk zijn voor het lang uitdeinen van de eerstgenoemde pieken naar de hoge temperatuurkant, terwijl dit normaal eerder aan de andere zijde optreedt.

Het *Infra-Rood-Absorptiespektrum* werd opgenomen met de Beckman IR 4 met NaCl prisma (fig. 2). De stalen werden na drogen bij 110°C vermengd en fijngemalen met KBr in een verhouding van 5^{0/00} en 300 mg ervan tot doorschijnende plaatjes geperst.

De band bij 6 μ beantwoordt aan de H-O-H « bending » vibratie en wijst dus alleen op watermolekulen [9]. Deze band is voor de stalen 4 en 7 bijna 3 maal dieper dan voor de stalen 1 (omzeggens silikagel) en 11 (gibbsiet). Dit wijst op een hogere verhouding H_2O ten overstaan van de op Al of Si gebonden —OH groepen, bij de stalen met een hoog gehalte uitwisselbare Na^+ ionen.

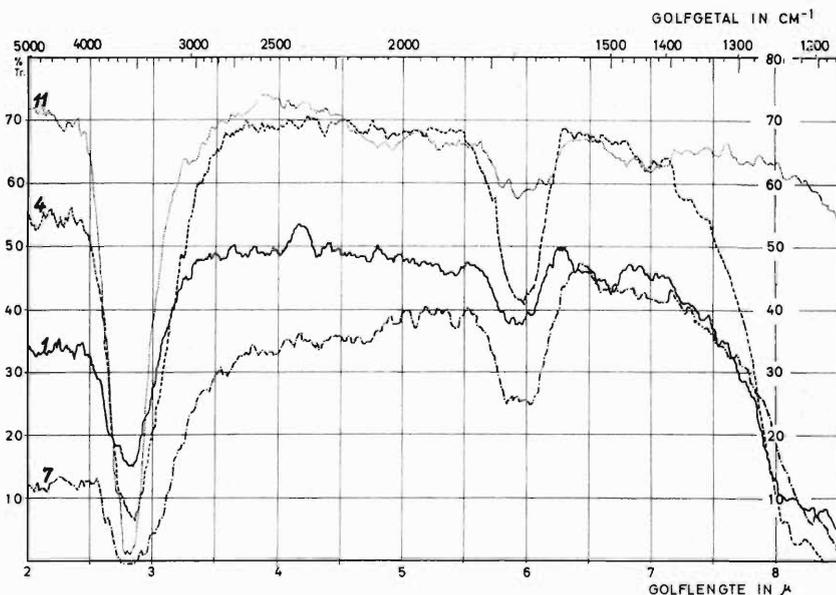


Fig. 2.
 Infra-Rood Absorptiespektrum van stalen 1, 4, 7 en 11.

Een andere interessante band ligt tussen 2,6 en 3,2 μ , en beantwoordt aan de O-H « stretching » vibratie. Ze is hier te splitsen in twee minima waarvan, zoals geweten, deze met kleinere golflengte aan een hogere vibratiefrekwentie beantwoordt en dus aan een vrijere, minder gebonden hydroxylgroep; zo zal de hydroxylgroep gebonden aan een ander H atoom, in water dus, zijn absorptieminimum hebben aan de kant der kortere golflengte, zoals bij kaoliniet duidelijk is te zien [9] en zoals G. J. YOUNG [10] heeft aangetoond voor silikagel, waar de water-O-H piek bij 2,8 μ door verhitting tot 300°C gans verdwijnt, terwijl de silanol-O-H eerst langzaam verdwijnt op hogere temperatuur. Bij onze stalen nu is telkens naast het hoofdminimum bij 2,8 μ , dus beantwoordend aan de water-O-H groepen, een knik waarneembaar aan de korte-golflengtekant, wat dus op het bestaan van structuur-O-H groepen wijst.

Andere banden voorbij 8 μ kunnen toegewezen worden aan Si-O en Al-O vibraties. Voorlopig valt hier niets uit af te leiden, maar een nader onderzoek is in die richting ondernomen.

III. OPTREDEN VAN DE OPPERVLAKTELADING

A. Ladingoverschot aan het Si, Al, O net

Bij het vergelijken van de hoeveelheden HCl 6N gebruikt voor

de verzadiging van onze mengsels tot pH 8, bemerkten we dat deze door een minimum gingen voor staal 8.

Staal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ml HCl 6N	136	130	124	120	115	113	110	96	101	120

Een beter inzicht geeft ons het verschil ml HCl 6N tussen de theoretisch berekende hoeveelheid, om de voor elk staal gebruikte hoeveelheid silikaat en aluminaat afzonderlijk tot pH 8 te verzadigen, en deze experimenteel gebruikt om het mengsel te verzadigen, zoals boven aangeduid.

We hebben dit dan ter vergelijking nog omgerekend in mval/g, mits te delen door de gemiddelde opbrengst van 30 g (tabel 3, fig. 3).

Nu kan deze op pH 8 niet verzadigde hoeveelheid niet anders dan achtergebleven zijn als een negatief ladingsoverschot op het Si, Al, O net, stabiel op pH 8 en elektrisch gekompenseerd door positieve tegenionen (bij ons Na⁺), al of niet uitwisselbaar.

B. Uitwisselbaar aandeel der tegenionen : B.E.C.

Het *kationenuitwisselingsvermogen* B.E.C. werd in mval/g bepaald door de 200 mg der stalen op pH 7 met NH₄⁺ ionen te verzadigen, en na wegwassen der overmaat interstitiële oplossing, dit NH₄⁺ gehalte te bepalen volgens een mikrokjeldahlmetode naar MACKENZIE [11]. Deze bepalingen werden in dubbel uitgevoerd. De gemiddelden staan opgegeven in tabel 3.

Om een mogelijk *anionenuitwisselingsvermogen* A.E.C. te bepalen, werden de stalen met Cl⁻ ionen op pH 7 verzadigd en, na wegwassen der overmaat, getracht het Cl⁻ gehalte op de stof te bepalen, door deze met KNO₃ 0,2 N te verdringen, en daarna met AgNO₃ 0,01 N te titreren met dichlorofluoresceïne als adsorptie-indikator. Er werd als A. E. C. echter nergens een bepaalbare hoeveelheid gevonden.

De gevonden waarden voor het kationenuitwisselingsvermogen (B. E. C.) in mval/g gerangschikt volgens het Al₂O₃/SiO₂ + Al₂O₃ gehalte, liggen op een kromme met een duidelijk maximum voor staal 8, (tabel 3, fig. 3).

C. Totale oppervlakte en oppervlakteladingsdichtheid

De totale oppervlakte *S*' in m²/g werd bepaald uit de adsorptie-isotherme van stikstof N₂ op de temperatuur van vloeibare zuurstof of stikstof (telkens 3 tot 5 punten, en in dubbel voor staal 9). Aldus is het immers mogelijk ook de inwendige oppervlakte (poriënwan-

TABEL 3

SAMENVATTEND OVERZICHT VAN DE BEKOMEN GEGEVENS

Staal	$\frac{Al_2O_3 \times 100}{Al_2O_3 + SiO_2}$	Al^{+3} mmol/g	$-\Delta HCl$ mval/g	B.E.C. mval/g	S^o m^2/g	s $e/100 \text{ \AA}^2$
1	4,7	0,86	—	0,19	259	0,44
2	10,5	1,86	1,0	0,85	190	2,68
3	12,8	2,20	2,02	1,48	170	5,24
4	15,7	2,79	2,62	1,90	119	9,65
5	20,1	3,34	3,44	2,43	71	20,7
6	23,0	3,69	3,64	2,69	60	27,1
7	27,9	4,06	3,92	3,33	35	56,8
8	37,1	5,36	6,08	4,19	15	172
9	53,9	7,79	4,44	2,64	108	14,8
10	100	14,67	—	0,01	135	0,005
11	100			(0,002)	(7)	(0,017)

den) te bereiken. Uit deze uitslagen werden de oppervlakten grafisch afgeleid en berekend volgens BRUNAUER, EMMETT & TELLER (B. E. T.) [12] of volgens HARKINS & JURA [13]. Beide theoriën leiden immers tot overeenkomende waarden voor de oppervlakte, ondanks hun verschillend toepassingsgebied op de adsorptieisoterme.

Opvallend is dat voor onze stalen de gemeten oppervlakten S^o weer op een kromme liggen, maar nu met een uitgesproken minimum voor het zelfde staal 8, waar we een maximum hoeveelheid uitwisselbare ionen aantreffen (tabel 3, fig. 3).

Uit de verhouding van het netto-ionenuitwisselingsvermogen (hier uitsluitend voor kationen : B. E. C.) tot de gemeten totale oppervlakte, is het mogelijk de ladingsdichtheid in $e/100 \text{ \AA}^2$ te berekenen

$$s (e/100 \text{ \AA}^2) = \frac{B.E.C. (mval/g) \cdot 10^{-3} \cdot 6,0236 \cdot 10^{23}}{S^o (m^2/g) \cdot 10^{18}} = \frac{B.E.C.}{S^o} \times 602,4$$

De uitslagen zijn opgenomen in tabel 3 en uitgezet in fig. 4. Omwille van het samenvallen van een maximum in het uitwisselingsvermogen met een minimum in oppervlakte, vertoont deze kromme een geweldig steil maximum. Bij het achteraf vergelijken van uitslagen van kationenuitwisselingsvermogen B. E. C. en oppervlakten S^o van produkten bekomen in dit Laboratorium bij pogingen tot kleisyntese, werd nu een gelijkvormige hoewel minder uitgesproken variatie opgemerkt [14].

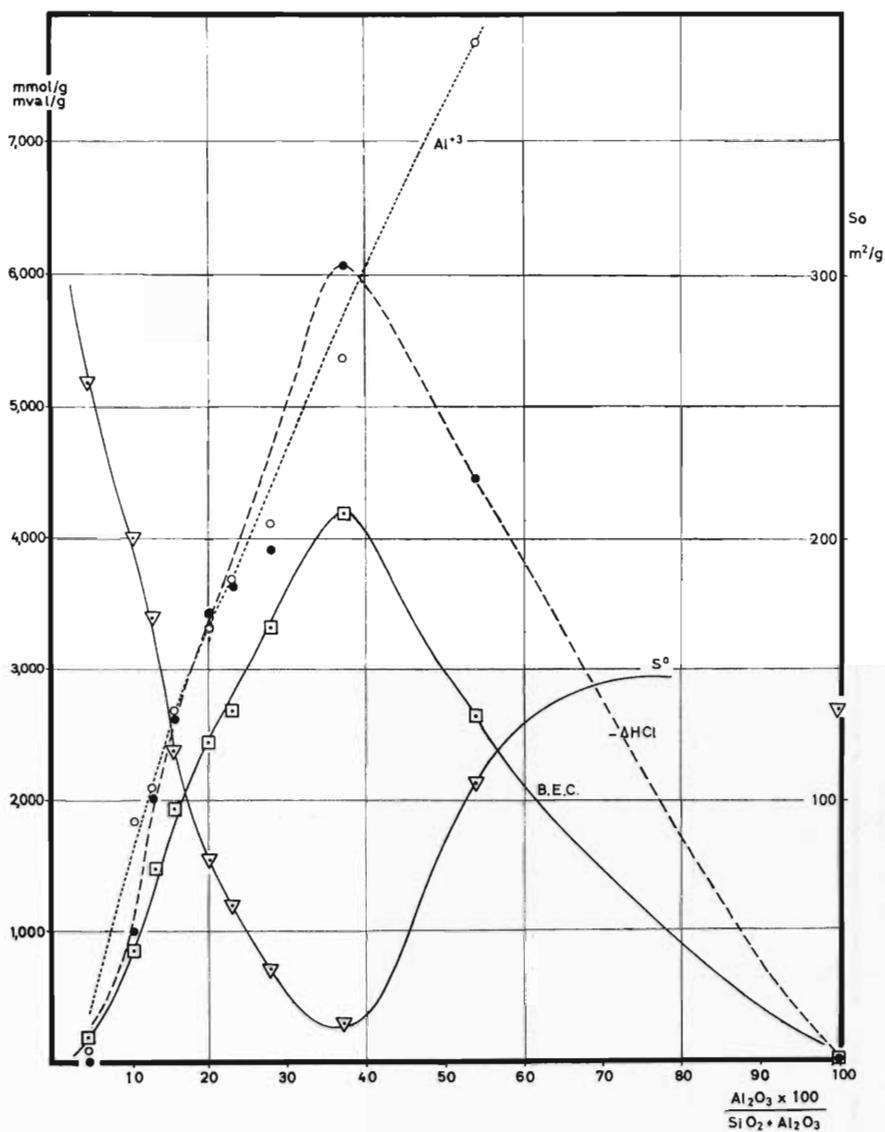


Fig. 3.

Oppervlakte S^0 (in m²/g); Al^{3+} gehalte (in mmol/g).
 Ladingsoverschot $-ΔHCl$ (in mval/g) en kationenuitwisselingsvermogen
 B.E.C. (in mval/g) in functie van het gehalte $Al_2O_3/SiO_2 + Al_2O_3$.

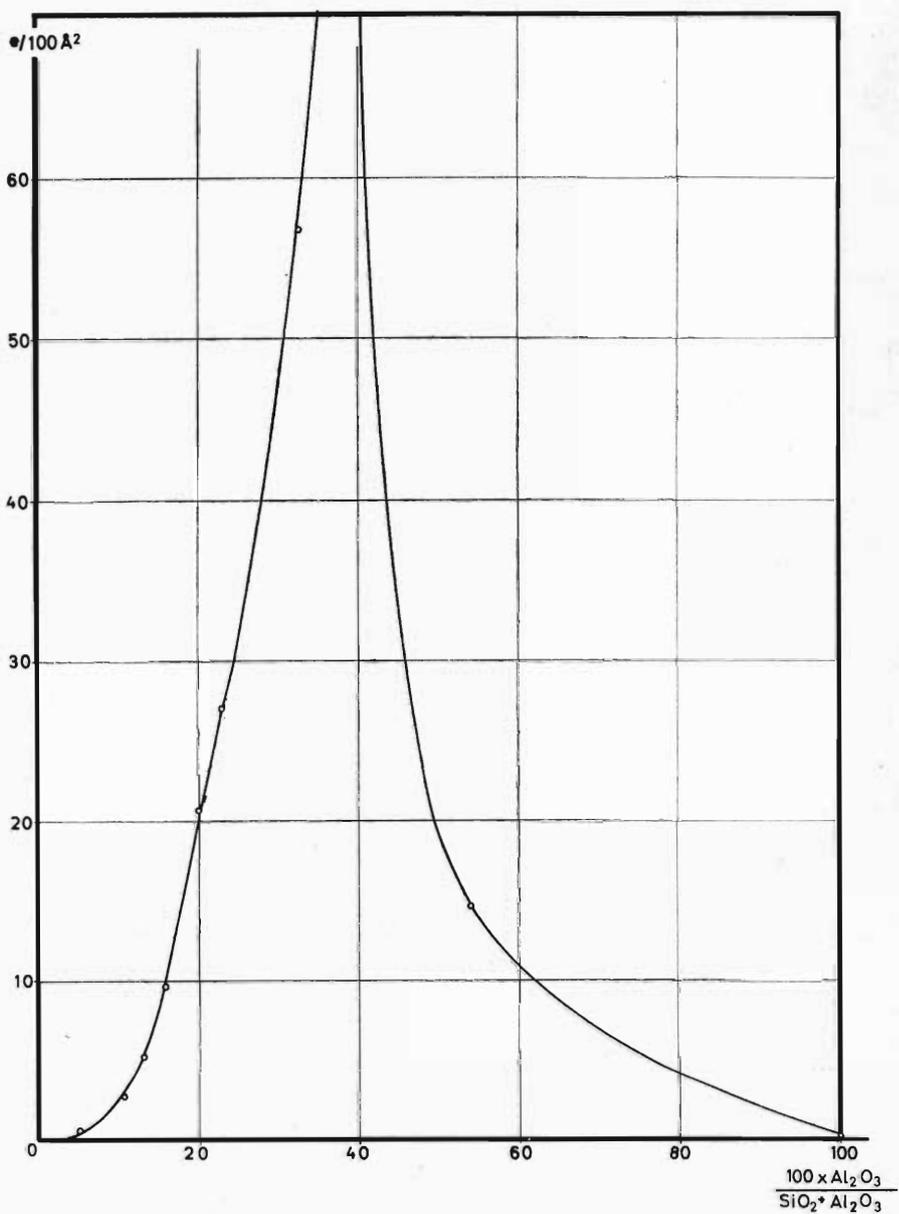


Fig. 4.

Ladingsdichtheid (in $e/100 \text{ \AA}^2$) in functie van het gehalte $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$.

IV. BESLUITEN

Uit tabel 3 en grafieken 3 en 4 voor deze reeks eigenschappen in functie van toenemend $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ gehalte, zien we het volgende.

1. Het ladingsoverschot (in mval/g) op het Si, Al, O net (uit $-\Delta \text{HCl}$) stijgt gelijk met het Al-gehalte (in mmol/g) tot een gehalte van ong. 35 % en daalt hierna echter weer.
2. Het kationenuitwisselingsvermogen B. E. C. (in mval/g) volgt een gelijkaardig verloop met eveneens een maximum voor 35 %, maar de waarden maken slechts $2/3$ van het ladingsoverschot uit, hetgeen betekent dat slechts $2/3$ van de Na^+ tegenionen uitwisselbaar zijn.
3. De oppervlakte gaat juist door een minimum, waar ladingen en tegenionen door een maximum gaan.

In overeenkomst hiermee laat ook het onderzoek in de elektronenmikroskoop toe kwalitatief onderscheid te maken, naar de al of niet korrelige substructuur, tussen de gelen met grote en kleine oppervlakte. Verder hebben we gezien uit het I. R. onderzoek dat de verhouding water tot hydroxylgroepen hoger is voor de stalen met een hoog Na^+ gehalte en toch lager oppervlak.

Ter verklaring van deze feiten, stellen we volgende hypotesen.

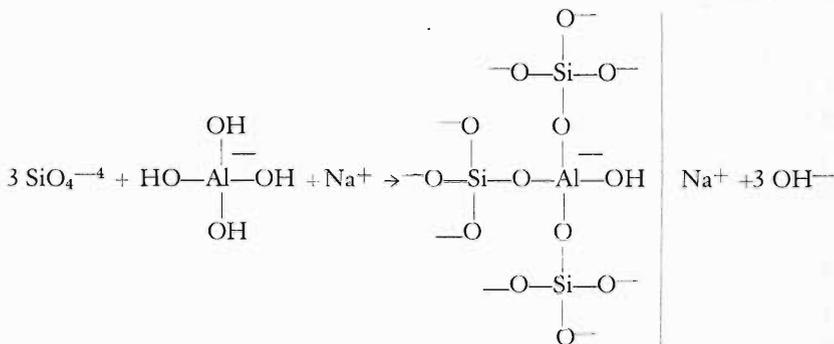
A. Oorzaak van oppervlaktelading en uitwisselingsvermogen

Het ladingsoverschot ($-\Delta \text{HCl}$ in mval/g) dat aan het Al-gehalte (in mmol/g) gelijk is, wijst erop dat tot 35 % alle Al^{+3} ionen in een zuurstoftetraëdernet zijn ingevat, zoals de hen omgevende Si^{+4} ionen. Hierdoor is er in het net per Al^{+3} één overtollige negatieve lading, die door één positief Na^+ ion moet geneutraliseerd worden. Bij ons blijkt dit voor $2/3$ uitwisselbaar te zijn.

De vervanging van Si^{+4} door het wat grotere Al^{+3} ion, staat bij de mineralogen bekend als isomorfe substitutie, zoals bv. bij de veldspaten, waar het compenserende Na^+ ion niet uitwisselbaar is of bij de zeolieten, waar dit wel uitwisselbaar is.

De verzadigingskurve van het mengsel (bv. staal 8 en 9) ligt boven deze van de componenten oplossingen [5]. Dit vindt zijn oorzaak in de vrijgekomen OH^- ionen en tevens in de verhoogde alkaliniteit van zulke complexen ingevolge het zgn. elektrostatisch effect, veroorzaakt door de ophoping van elektrische ladingen bij deze condensatie.

Het condensatiemechanisme kan als volgt geschreven worden :



B. Verklaring van de ladingsdichtheid

De oppervlakteladingsdichtheid is hier veel groter dan bij de kleimineralen (van 1 tot 2 e/100 Å²), en ligt voor de sterkst uitwisselende gelen (4, 5, 6, 7, 8) zelfs ver boven 10 Å² per ion. Dit beschouwen we als een redelijke grens voor ionen op een vrije oppervlakte. Om deze schijnbare ongerijmdheid te kunnen verklaren hebben we hier gedacht aan een verstopte poriënstructuur.

Enerzijds is dit nu de beste uitleg voor het juist tegengesteld veranderen van oppervlakte en ionenuitwisselingsvermogen, en anderzijds treft men een analoog voorbeeld aan bij kristallijne zeolieten als bv. edingtoniet Al₄Si₆O₂₀ · 8 H₂O · Ba₂ met een ionenuitwisselingsvermogen van rond 5 mval/g, dus van dezelfde grootte-orde als ons staal 8; deze uitwisselbare ionen liggen samen met de H₂O molekulen in de kristallijne kanalen van deze poreuze structuur [15].

Dit samengaan van watermolekulen met de ionen wordt ook in onze stalen waarschijnlijk gemaakt uit het onderzoek met I. R. absorptie.

Recente onderzoekingen ondernomen in ons laboratorium schijnen uit te wijzen, dat de evolutie van dergelijke gelen in oplossing en hun kristallisatie het optreden der boven beschreven verschijnselen verzwakt; oppervlaktevermindering en toename in ionenuitwisselingsvermogen worden minder uitgesproken. De extrapolatie hiervan in functie van de tijd zou aldus kunnen leiden tot ook in de natuur voorkomende produkten, waarvan de verhouding van de lading tot de oppervlakte laag en konstant is.

BIBLIOGRAFIE

- [1] VAIL, J. G. — Soluble Silicates, their properties and uses. I (p. 236-248) & II (p. 580-588). Reinhold, New York (1952).

- [2] TAMELE, M. W. — Chemistry of the surface and the activity of Alumina-Silica cracking catalyst. *Discussions Faraday Soc.*, 8, 270, (1950).
- [3] MILLEKAN, J. H., Jr. MILLS, G. A. & OBLAD, A. G. — The chemical characteristics and structure of cracking catalysts. *Discussions Faraday Soc.*, 8, 279, (1950).
- [4] FRIPIAT, J. J. — Propriétés de surface des alumino-silicates. *Bulletin du groupe français des argiles*. C.N.R.S. Paris. Nouvelle série. n° 4, tome IX, 23, (1957).
- [5] BOSMANS, H. — Studie van enkele oppervlakteeigenschappen van $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ gelen. Onuitgegeven verhandeling. Leuven, (1958).
- [6] COREY, R. B. & JACKSON, M. L. — Silicate Analysis by a rapid semi-microchemical system. *Analytical Chemistry*, 25, 624, (1953).
- [7] BRINDLEY, G. N. (Ed.). — X-Ray Identification and Crystal Structure of Clay Minerals. *The Mineralogical Society*. London, (1951).
- [8] MACKENZIE, R. C. (Ed.). — The Differential Thermal Investigation of Clays. *The Mineralogical Society*. London, (1957).
- [9] BEUTELSPACHER, H. — Infrarot-Untersuchungen an Bodenkolloïden. *Rapports VI^e Congrès International de la Science du Sol*, vol. I. 47, 329. Paris, (1956).
- [10] YOUNG, G. J. — Interaction of Water Vapor with Silica Surfaces. *Journal of Colloid Science*, 13, 67, (1958).
- [11] MACKENZIE, R. C. — A micro-method for determination of Cation Exchange Capacity of Clay. *Clay Minerals Bulletin*, I, 203, (1950).
- [12] BRUNAUER, S. — The Adsorption of gases and vapors. Physical Adsorption. Princeton, (1945).
- [13] HARKINS, W. D. & JURA, G. — Surface of Solids, XII, A Vapor Adsorption. Method for the Determination of the Area of a Solid. *J. Am. Chem. Soc.*, 66, 1366, (1944).
- [14] JACOBY, L. & GASTUCHE, M. C. — Transformation de la kaolinite en présence de silice. *Bull. Soc. belge de Physique*, 75, 1-7, (1957).
- [15] MARSHALL, C. E. — The Colloid Chemistry of the Silicate Minerals. (p. 27). Academic Press, New York, (1949).

CAPACITE D'ECHANGE D'IONS ET DENSITE DE CHARGE DE SURFACE DE GELS $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$

Résumé

Une série de gels amorphes $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ ont été préparés en saturant à pH 8 un mélange en proportion variable de solutions d'aluminate et de silicate.

La composition chimique (H_2O , SiO_2 , Al_2O_3) et la structure (microscopie électronique, diffraction d'électrons et de R. X.) ont été déterminées, ainsi que la nature de l'eau liée (D.T.A. et I.R.).

La variation de l'excès de charge de l'assemblage Si, Al, O a été déterminée : elle passe par un maximum (6,2 mval/g) pour un rapport $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ de 35 %. Ceci ressort de la quantité en défaut d'acide employée pour la saturation. La B.E.C. a été mesurée, elle atteint un maximum de 4,2 mval/g et sa variation est comparable à celle de l'excès de charge, mais en moyenne de 2/3 inférieure à cette dernière.

L'explication réside dans la substitution isomorphe d'ions Si^{+4} par des ions Al^{+3} dans un assemblage d'ions oxygène en coordination tétraédrique.

La surface totale, mesurée par les techniques B. E. T. et H. & J. (de 259 à $15 \text{ m}^2/\text{g}$), passe par un minimum pour les échantillons caractérisés par la capacité d'échange maximale. Ceci est expliqué par une structure poreuse, dont les canaux sont bouchés de plus en plus par les molécules d'eau associées aux ions échangeables ou non.

LES SOLS DE LA FAMENNE

par G. HENRARD

Centre de Cartographie des Sols — IRSIA

SOMMAIRE

- I. Situation du secteur étudié
 - II. Délimitation de la Famenne
 - A. Néodevonien inférieur ou Frasnien
 - 1. Assise inférieure ou assise de Fromelennes
 - 2. Assise moyenne ou assise de Frasnes
 - 3. Assise supérieure ou assise de Matagne
 - B. Néodevonien supérieur ou Famennien
 - 1. Nord du synclinorium de Dinant
 - 2. Sud du synclinorium de Dinant
 - C. Conclusions
 - III. Relief
 - IV. Paysage
 - V. Répartition des types de sol
 - A. Sols limoneux nivéo-éoliens
 - B. Sols limono-caillouteux
 - 1. Sols limono-caillouteux
 - 2. Sols argilo-caillouteux
 - C. Sols argileux
 - D. Données analytiques concernant les sols argileux
 - E. Conclusions
 - VI. Climat
 - VII. Conclusions
-

I. SITUATION DU SECTEUR ETUDIE

La Famenne est une vaste région qui s'étire en une longue dépression dans le sud du pays et qui part de Chimay, à l'ouest, pour atteindre Durbuy à l'est. Elle est essentiellement constituée par le Néodevonien, c'est-à-dire par deux étages du Devonien supérieur : le Frasnien à la base et une partie du Famennien au sommet.

Cet article a pour but d'esquisser, dans leurs grandes lignes, les relations qui existent entre ces deux assises et la répartition des sols dans le secteur bien déterminé des planchettes de Rosée 174 E et de Surice 183 E, qui forment, dans le sud-est de l'Entre-Sambre-et-Meuse, un rectangle de 20 km d'axe nord-sud et de 8 km d'axe est-ouest.

La région envisagée comprend les villages de Corenne, Flavion, Rosée, Morville, Soulme, Omezée, Surice, Romedenne, Vodelée, Romerée, Gimnée, Doische, Matagne-la-Petite, Niverlée et Vaucelles.

II. DELIMITATION DE LA FAMENNE

S'il est aisé de dire que la Famenne est comprise entre le Condroz au nord et la bande calcaire qui borde l'Ardenne au sud et, si tout le monde sait que la Famenne fait partie du vaste synclitorium de Dinant, il est autrement difficile d'en déterminer les limites exactes.

La coupe n° 1, faite suivant un méridien qui passe du nord au sud par Flavion, Omezée, Romedenne et Gimnée, indique les limites théoriques du Condroz, de la Famenne et de la bande calcaire du sud.

D'une part, dans le sud du pays, la limite de la région naturelle de la Famenne correspond théoriquement au Frasnien, étage géologique bien déterminé. Pratiquement le passage se fait de façon progressive du Devonien moyen (Couvinien schisto-calcaire et Givetien calcaire) au Devonien supérieur (Frasnien et Famennien), au point que les géologues ont varié d'opinion quant à l'endroit où il convient de placer la coupure(*).

Le passage du Givetien au Frasnien se fait par un changement progressif de la faune dans l'assise inférieure du Frasnien, dite assise de Fromelennes; des espèces apparaissent soudainement, tandis que d'autres cessent d'être représentées.

C'est ainsi par exemple que *Stringocephalus burtini* et *Spirifer*

(*) FOURMARIER : Prodrôme d'une description géologique de la Belgique. Liège, 1954.

TABLEAU 1

CARBONIFERIEU		C
Dinantien		
<i>Viséen</i> : V		O
V3 : assise de Warnant		
V2 : assise de Namêche		
V1 : assise de Dinant		N
<i>Tournaisien</i> : T		
T2 : assise d'Ecaussinnes et de Celles		
T1 : assise d'Hastière		D
<hr/>		
DEVONIEU SUPERIEU OU NEODEVONIEU		
Famennien : Fa		R
<i>Famennien supérieur</i> : Fa2		Psammites
Fa2b : assise d'Evieux		du
Fa2a : assise de Montfort		Condroz
<i>Famennien inférieur</i> : Fa1		Z
Fa1c		} assise de Mariembourg
Fa1b		
Fa1a : assise de Senzeille		Schistes
Frasnien : F		de la
<i>Frasnien supérieur</i> : F3		Famenne
F3b		} assise de Matagne
F3a		
<i>Frasnien moyen</i> : F2		
F2j : récif		M
F2i		} assise de Frasnes
F2h : récif		
F2g		
F2f		
F2e		
F2d : récif		N
F2c		
F2b		
F2a		
<i>Frasnien inférieur</i> : F1		N
F1a		} assise de Fromelennes
F1b		
F1c		
DEVONIEU MOYEU		Bande
Givetien : Gv		calcaire
Couvinien : Co		du sud

mediotextus, caractéristiques du Givetien, ne se rencontrent plus ou deviennent rares et qu'on voit apparaître *Spirifer verneuili*, *Hexagonaria hexagona* et une faune abondante et variée d'algues,

coralliaires, stromatopores, brachiopodes, bryozoaires, vers, échinodermes, lamellibranches, gastéropodes, céphalopodes, crustacés, trilobites et poissons, tous bien représentés.

Jusque ces derniers temps, l'assise de Fromelennes fut placée dans l'étage Givetien suivant la légende adoptée en 1929 par le Conseil Géologique de Belgique. Toutefois, comme la faune de cette assise se rapproche plus de la faune frasnienne que de la faune givetienne, cette assise est actuellement considérée comme la base du Frasnien.

Il est cependant souvent difficile de tracer sur le terrain la limite entre l'assise de Fromelennes et le Givetien proprement dit, à cause notamment de la grande ressemblance lithologique de ces deux formations.

D'autre part, dans le nord du synclinorium de Dinant, la limite de la Famenne est beaucoup plus floue et ne correspond pas à la limite supérieure du Néodevonien, c'est-à-dire à la limite supérieure du Famennien.

La limite supérieure du Néodevonien se voit en général sans difficultés sur le terrain; aux formations essentiellement schisto-gréseuses du sommet du Devonien succède la grande série calcaire du Dinantien (Tournaisien, Viséen).

A. NEODEVONIEN INFÉRIEUR OU FRASNIEU

Dans la bordure sud du bassin de Dinant et dans le massif de Philippeville, *seules parties du Frasnien* qui nous intéresse, l'échelle stratigraphique déterminée par GOSSELET, DUPONT et MAILLEUX comprend 3 assises et 15 zones.

Cette échelle stratigraphique est illustrée par la coupe n° 2 due à MAILLEUX. Elle se situe à Frasnes près de Mariembourg.

MAILLEUX distingue 3 assises (tableau 2).

1. Assise inférieure ou assise de Fromelennes

Cette assise comprend trois zones: F1a, F1b, F1c.

La zone inférieure est formée de schistes calcaires noirâtres. Ces schistes contiennent une grande abondance de *Spirifer tenticulum*. Ces spirifer existent déjà dans la partie supérieure du Givetien, mais leur abondance est telle dans la zone F1a qu'elle indique un nouvel étage.

La zone moyenne F1b et la zone supérieure F1c sont calcaires et sont distinguées par des fossiles différents, stromatopores pour la zone F1b et *Spirifer verneuili*, *Spirifer tenticulum* etc. pour la zone F1c.

Cette assise, dont il a été question plus avant, est donc consi-

TABLEAU 2

Assise de Tronchiennes F₁

F _{1a}	Zone schisto-calcaire
F _{1b}	} Zones calcaireuses
F _{1c}	

Assise de Frasnés F₂

F _{2a}	Zone de transition schisto-calcaire des monstres
F _{2b}	Zone schisteuse à nodules argilo-calcaires
F _{2c}	Zone calcaireuse plus quelques schistes
	F _{2d} 1 ^{er} Récif organogène
	F _{2e} Zone d'envasement schisteux
F _{2f}	Zone de transition schisto-calcaire
F _{2g}	Zone calcaireuse
	F _{2h} 2 ^e Récif organogène
	F _{2i} Zone d'envasement schisteux + quelques bancs calcaires
	F _{2j} 3 ^e Récif

Assise de Matagne F₃

F _{3a}	Fins schistes verts
F _{3b}	Fins schistes violets

dérée actuellement comme la base du Néodévonien. Elle atteint 100 m de puissance à Frasnés et la zone F_{1c} est particulièrement bien visible à la sortie de l'Eau Noire à Nismes.

2. Assise moyenne ou assise de Frasnés

Cette assise comprend 10 zones.

La zone F_{2a}

La zone F_{2a} est également connue sous le nom de zone des monstres à cause de la taille qu'y atteignent les brachiopodes.

Cette zone est formée par des calcaires noduleux et des schistes calcaireux. Elle ne dépasse pas 10 m d'épaisseur et les monstres qu'elle contient, notamment *Spirifer oberlianus*, sont visibles dans les champs situés entre la Caucelle et l'Ermitage à Boussu-en-Fagne.

La zone F_{2b}

La zone F_{2b} sus-jacente est formée par des schistes à nodules argilo-calcaireux souvent verdâtres, parfois brunâtres.

Cette zone d'une épaisseur de 30 m renferme des *Spirifer bisinus* et une grande quantité d'éponges calcaires *Receptaculites neptuni*.

Les zones F2c et F2d

La zone F2c est une zone plus calcareuse; parfois cependant elle peut encore contenir des schistes.

A l'Arche à Frasnes, au-dessus de quelques bancs calcaires F2c d'une dizaine de mètres se développe un calcaire massif (F2d). Sa base est rouge et sa partie supérieure grise ou rosée. C'est le premier récif organogène du Frasnien. Ce récif de calcaire massif présente des lits de stratification soulignés par des terrasses, c'est-à-dire par des lits argileux de 1 mm à 1 cm s'arrêtant au pourtour du récif. Ces récifs calcaires contiennent beaucoup de polypiers et se sont édifiés sur des parties plus élevées de la mer frasnienne. Ils comprennent plusieurs couches et atteignent 100 m de hauteur. Ils sont caractéristiques du Frasnien et forment des dômes dans le paysage; ils sont exploités comme marbre.

Comme les calcaires F2c n'ont qu'une dizaine de mètres d'épaisseur, l'envasement des récifs s'est terminé plus généralement par les schistes de la zone F2e.

Les récifs F2d existent sur le bord du bassin de Dinant à Bailièvre, Chimay, Virelles, Aublain, Lompret, Dailly, Boussu-en-Fagne, Frasnes, Petigny, Revogne, Rochefort, Ny, Humain et Durbuy.

Des récifs existent également à Sautour et à Romedenne.

La zone F2e

Au-dessus de la zone calcaire F2c ou des récifs F2d à Frasnes on peut voir des schistes verts, violets ou noirs, assez fissiles, renfermant des nodules argileux ou calcaro-argileux. La faune est toute différente; les polypiers ont presque disparus, par contre il y a des goniatites, des lamellibranches, des trilobites, des crustacés et des brachiopodes qui indiquent une formation en eau plus profonde.

Cette zone F2e ne dépasse pas 50 m d'épaisseur et est nettement visible dans la voûte à Vodelée. Vers l'est le faciès est plus calcaire.

La zone F2f

Cette zone marque le passage entre la zone schisteuse F2e et la zone calcareuse F2g. Elle se compose de schistes plus calcareux, parfois noduleux avec, au sommet, des bancs minces de calcaire. Sur le bord sud du synclinal de Dinant elle a en moyenne 20 m d'épaisseur.

L'ensemble des zones F2a + b + c + e + f mesure de 90 à 140 m en dehors des récifs et 160 m et plus là où il y a des récifs F2d.

Les zones F2g et F2h

Le calcaire F2g est très continu sur le bord sud du bassin de Dinant; c'est un calcaire à stromatopores. Il contient des polypiers et d'assez nombreux fossiles dans les régions où se développent des récifs organogènes à stromatopores, à polypiers et à brachiopodes F2h.

La zone F2g peut atteindre 100 m aux abords des récifs mais peut se réduire à moins de 50 m à peu de distance.

D'après FOURMARIER et MAILLEUX, les récifs F2h qui sont organogènes (c'est-à-dire ont une origine animale ou végétale : coquilles, squelettes, carapaces, feuilles, tiges etc.) et non coralliens (secrétions calcaires des polypiers) peuvent atteindre 150 m d'épaisseur et sont constitués de calcaire très pur; aussi sont-ils exploités pour chaux grasse. A Merlemont, ils sont dolomités et exploités assez activement.

Le marbre gris des récifs F2h est peu exploité. Les récifs F2h se rencontrent dans les voûtes de Villers-en-Fagne, Vodelée, Surice, Sautour, Villers-le-Gambon, Philippeville, Rance, Renlies, Ave et Auffe, Netinne etc.

Les calcaires F2g ont été exploités à Barvaux comme marbre noir et blanc (dit bleu belge), mais malheureusement les stromatopores y font des taches grises.

Les zones F2i et F2j

Dans les carrières de Frasnes on peut voir au-dessus des récifs F2h et du calcaire F2g qui les entoure, des schistes verts noduleux avec accumulation de polypiers qui constituent la zone F2i. Ces schistes de 8 à 10 m d'épaisseur sont surmontés par un récif de petite taille (marbre rouge) qui constitue la zone F2j.

La zone d'envasement F2i est très constante. Il s'agit de schistes verts noduleux qui peuvent cependant contenir des bancs de calcaire noduleux, parfois des calcaires massifs ou au contraire des schistes fins.

Comme toutes les zones d'envasement, la zone F2i présente une forte épaisseur au voisinage des récifs où elle atteint 80 m. Ailleurs sa puissance est de l'ordre de 60 m.

Etant donné que ce phénomène se constate dans toutes les zones et que d'une part les récifs F2d, F2h et F2j superposés peuvent atteindre une puissance de 320 m et que, d'autre part, les zones d'envasement F2c, F2g et F2i ne présentent que 230 m près des récifs et 120 m plus loin, l'aspect des affleurements devrait être dentelé. Or, il n'en n'est rien.

Les zones d'envasement F2e et F2f, qui ne surmontent jamais la zone à récifs F2d, rétablissent une certaine compensation.

On peut également supposer que les zones d'envasement qui s'amincissent à quelque distance des récifs augmentent d'épaisseur plus loin et achèvent ainsi la compensation.

3. Assise supérieure ou assise de Matagne

Cette dernière assise du Frasnien comprend deux zones.

La zone F3a est constituée de schistes fins verts à *Chonetes armata*. Cette zone discontinue et de moins de 10 m d'épaisseur a peu d'importance.

La zone F3b constitue la zone de Matagne. Ce sont des schistes violets, fins, se débitant parfois en forme de grosses boules. Ils sont peu calcaireux et contiennent des nodules bien sphériques calcaireux fossilifères.

Le faciès de Matagne est connu au bord sud du bassin de Dinant depuis la frontière française jusque Han-sur-Lesse. Dans les environs de Barvaux, les schistes sont les mêmes mais ont une autre faune; c'est le faciès de Barvaux. Enfin, plus à l'est, vers Rochefort et Fronville on retrouve le faciès de Matagne.

Dans la région qui nous occupe, le faciès de Matagne est connu dans toutes les voûtes de la région de Philippeville, Renlies etc.

D'après FOURMARIER, l'épaisseur du F3b a souvent été surestimée. Ceci est dû au fait que vers Mariembourg on est frappé par la vaste plaine des Fagnes (qui atteint 3,5 km) qui contraste singulièrement avec les collines du sud du bassin de Dinant. Il faut tenir compte de ce que la base des schistes du Famennien présente la même facilité à la destruction que l'assise de Matagne.

A Romerée, entre le village et la station, l'assise de Matagne n'a que 80 m de large, alors qu'à Matagne elle en a 200; à Lompret plus à l'ouest 120, à Cerfontaine, Senzeille, Soumoy et Renlies (au nord-ouest) elle a moins de 40 m. Nous devons donc supposer que l'épaisseur normale des schistes de Matagne ne dépasse pas 80 m et que cette épaisseur diminue vers l'intérieur du bassin de Dinant et vers l'est dans la région de Rochefort.

Le passage de l'assise de Matagne au Famennien se fait d'une façon insensible dans la région de Matagne. Partout le Famennien débute par des schistes épais fort altérables, mais la faune famennienne est tout à fait différente et les schistes sont généralement plus noduleux.

TABLEAU 3

Famennien supérieur : Fa2

Fa2b : assise d'Evieux

psammites, schistes, macignos ou schistes noduleux

Fa2a : assise de Montfort

psammites et grès à pavés, localement vers le haut psammites lie de vin

Famennien inférieur : Fa1

Falc

Falb

} assise de Mariembourg

↑ Psammites du Condroz

↓ Schistes de la Famenne

niveau Falc : psammites stratoïdes et schistoïdes (psammites d'Esneux) localement la partie supérieure est formée de macignos et schistes à nodules calcaires (macignos de Souverain Pré) très localement, marbre rouge à crinoïdes (marbre de Baelen) vers le sud l'ensemble prend un faciès plus schisteux à nodules calcaires avec nombreux *Spirifer verneuili* et *Rhynchonella dumonti*

niveau Falb : schistes souvent violacés avec minces bancs de psammites, localement oligiste oolithique *Rhynchonella dumonti*

Fala : assise de Senzeille

schistes, souvent verdâtres, fréquemment noduleux

B. NEODEVONIEN SUPERIEUR OU FAMENNIEN

L'étage supérieur du Néodevonien est constitué par le Famennien.

Le terrain famennien affleure en Belgique d'une façon plus ou moins continue dans une vaste région comprenant, d'une part, les deux flancs du synclinorium de Namur et, d'autre part, la majeure partie du synclinorium de Dinant et du bassin de la Vesdre, ainsi que dans la fenêtre de Theux. Son existence a de plus été reconnue, par sondages, sous le terrain houiller de Campine.

Si les limites supérieure et inférieure de l'étage sont assez bien précisées, une subdivision en sous-étages reposant sur des bases paléontologiques reste toujours à établir. L'échelle utilisée actuellement, adoptée par le Conseil Géologique de 1929, est donnée dans le tableau 3.

Le Famennien comporte deux ensembles lithologiquement différents : une série schisteuse à la base dénommée généralement « schistes de la Famenne » Fala, Falb, surmontée d'une série essentiellement psammitique : les psammites du Condroz : Falc, Fa2a, Fa2b.

Cette subdivision a été établie par MOURLON au siècle dernier et est basée surtout sur l'étude de la coupe de la vallée de l'Ourthe.

Mais dans le sud du pays, l'ensemble de la formation tend à prendre un faciès schisteux, de sorte que la limite des sous-étages est assez superficielle ou tout au moins n'a qu'une signification locale. En réalité, le Famennien comprend deux périodes sédimentaires : pendant la première, le dépôt avait un caractère argileux dans toute l'étendue du massif paléozoïque, avec des épaisseurs croissantes vers le sud; pendant la seconde période, sont apparus dans le nord les dépôts arénacés qui ont atteint progressivement des régions de plus en plus méridionales, refoulant vers le sud le faciès argileux.

1. Nord du synclinorium de Dinant

Dans le nord du synclinorium de Dinant, dans la vallée du Hoyoux, les niveaux schisteux Fa1a et Fa1b sont confondus sur une épaisseur de 60 m. Les schistes sont verdâtres, micacés et renferment dans leur partie supérieure des niveaux d'oligiste oolithique.

Ces schistes passent vers le haut, d'une façon progressive, aux psammites stratoïdes d'Esneux Fa1c. Ceux-ci sont constitués de minces bandes de psammites micacés de quelques centimètres au maximum, avec intercalations schisteuses; leur puissance atteint 220 m.

A ces formations succède l'assise de Montfort Fa2a formée de bancs de psammites puissants pratiquement dépourvus d'intercalations schisteuses. Ces bancs se succèdent sur 170 m et sont surmontés par l'assise d'Evieux Fa2b qui montre un complexe de psammites, de schistes et de macignos d'une puissance de 120 m.

Cette coupe donne donc pour tout le Famennien une épaisseur totale de 570 m, soit une soixantaine de mètres pour les schistes de la Famenne et environ 500 m pour les psammites du Condroz. Cette coupe est sensiblement celle que l'on retrouve dans le nord de la planchette de Rosée.

2. Sud du synclinorium de Dinant

Dans le sud du synclinorium de Dinant, il n'est pas possible d'observer une coupe complète du Famennien, la partie supérieure de l'étage ayant été partout enlevée par l'érosion.

Entre la Meuse et Ciergnon, le Famennien inférieur atteint à lui seul 800 m.

Pour retrouver vers le sud une série famennienne complète, il faut aller dans le nord de la France, à Sains. On y observe, nous dit J. BELLIERE, une série de schistes correspondant aux schistes de la Famenne, surmontés d'un paquet de couches argilo-calcareu-

ses qui, sur la base de leur faune, ont été raccordé aux macignos de Souverain Pré, localement présents au sommet du Falc.

Les couches de « macignos » sont surmontées d'une nouvelle série schisteuse, considérée comme l'équivalent de nos psammites du Condroz, et qui prend vers le haut un caractère de plus en plus calcaireux, formant la transition vers le calcaire carbonifère.

C. CONCLUSIONS

De ces brèves considérations sur le Néodevonien, il ressort les conclusions suivantes.

— D'une part, les limites méridionale et septentrionale de la région naturelle de la Famenne sont très difficiles à déterminer.

En effet, la limite sud est déterminée par l'assise de Fromelennes difficilement reconnaissable sur le terrain et la limite nord doit être mise entre les schistes de la Famenne et les psammites du Condroz, c'est-à-dire entre les niveaux Falb et Falc de l'assise de Mariembourg.

Or le niveau Falc présente un faciès plus schisteux à la base, ce qui rend la détermination de la limite très ardue pour les géologues et pratiquement impossible dans le cadre d'une cartographie même détaillée.

Si l'on veut déterminer une limite pratique de la bordure septentrionale de la Famenne, il est plus commode de prendre comme base le premier banc calcaire du Frasnien ou même la première assise du Givetien.

— D'autre part, les dépôts frasniens, qui sont une longue suite d'alternances de bancs calcaires, schisto-calcaires, schisteux nodulaires et schisteux, et les dépôts famenniens également riches en fossiles ont été repris par des mouvements tectoniques et ont subi une érosion très intense.

III. RELIEF

Les mouvements tectoniques et l'érosion intense qui ont affecté le Néodevonien ont eu pour conséquence la formation du relief actuel, représenté dans la coupe n° 1.

Cette coupe montre très clairement l'effondrement de la Famenne dans le secteur étudié.

En la parcourant du nord au sud, on rencontre successivement les 2 derniers tiges du Condroz. Le tige le plus septentrional, passant au nord de Flavion et de Corenne, est constitué de psammites et de grès à pavés du Famennien supérieur Fa2. Le second tige, dernier du Condroz, passe par Rosée et est constitué principale-

ment par le niveau supérieur psammitique Fa1c de l'assise de Mariembourg et par les psammites et les grès de l'assise de Montfort Fa2a.

Ces deux tiges sont séparés par un synclinal qui marque le début du Dinantien. On peut notamment suivre la limite entre le Tournaisien et le Famennien dans la tranchée de la grand-route Dinant-Philippeville.

Les deux tiges du Condroz atteignent respectivement 286 et 311 m d'altitude; le niveau du synclinal calcaire est de 245 m.

A 2 km au sud de l'église de Rosée commence la grande dépression de la Famenne. On passe du niveau de 300 m à celui de 215 m sur une distance de 800 m à peine. Ce niveau correspond à la dernière assise schisteuse du Famennien Fa1a et aux alternances des bancs frasniens et givetiens. Ces assises forment un plateau de 3 km de largeur qui englobe les villages de Surice, Omezée et Souleme et s'étend jusqu'au clocher de Romedenne.

A cet endroit on découvre la basse Famenne qui s'étend sur une distance de 3,5 à 4 km jusqu'aux clochers de Romérée et de Gimnée. La basse Famenne a une altitude moyenne de 155 m, soit 150 m en moins que le dernier tige du Condroz. Elle est formée par les schistes famenniens inférieurs Fa1a et Fa1b et par les schistes de l'assise de Matagne F3 (Frasnien supérieur).

Dans le centre de la dépression, l'affleurement d'un récif frasnien F2j et le relèvement des schistes d'envasement forment un petit plateau (190 m).

Le bord sud de cette dépression se relève assez brusquement avec les assises inférieures du Frasnien et les assises supérieures du Givetien.

Le Givetien calcarifère et le Couvinien schisto-calcaire, qui se succèdent plus au sud, forment un plateau de 250 m d'altitude.

IV. PAYSAGE

Tout au long de ce parcours, on est frappé par les différences de paysage qui s'offrent à la vue.

Le tige septentrional du Condroz est à demi boisé, à demi sous culture. Le synclinal du Dinantien est entièrement cultivé et le dernier tige condruzien est très fortement boisé, surtout sur son versant sud, en raison principalement de la topographie et de l'éloignement des agglomérations de Rosée et de Morville.

Le plateau intermédiaire de Surice, qui marque le début de la Famenne, est entièrement cultivé; on y rencontre même quelques houblonnières assez propères.

La basse Famenne, qui s'étend donc de Romedenne à Gimnée, est couverte de pâturages et de chênaies à charmes rabougris.

Le haut plateau givetien et couvinien du sud est cultivé là où les sols sont assez profonds et boisé ou enrésiné, là où les bancs calcaires affleurent.

V. REPARTITION DES TYPES DE SOL

Les sols des planchettes de Rosée et de Surice peuvent être classés en trois catégories texturales qui regroupent respectivement :

- les sols limoneux nivéo-éoliens,
- les sols limono-caillouteux,
- les sols argileux.

A. SOLS LIMONEUX NIVEO-EOLIENS

Pour autant que nous avons pu en juger d'après de nombreuses observations in-situ, il existe au moins deux limons superposés du nord au sud de la région étudiée.

Ces limons sont nettement visibles près du champ d'aviation de Florennes, dans une ancienne fosse d'extraction de lignite (centre d'un synclinal Dinantien) et dans plusieurs sondages effectués à Flavion, Romedenne, Niverlée etc.

Voici à titre d'exemple une brève description de profil de Florennes.

En d'autres endroits, notamment à Flavion et Romedenne, le limon supérieur jouit d'un drainage imparfait. Les horizons B2 et B3 sont gleyifiés; ils reposent sur un horizon de transition Cg quelque peu induré, également gleyifié. Par contre, le limon inférieur BII présente de nombreuses taches grises et ocreuses en forme de

<i>Hor.</i>	<i>Epaiss.</i>	<i>Description</i>
Ap	19 cm	Limon léger, brun à brun foncé (10 YR 4/3) ^(*) ; structure feuilletée grossière, moyennement développée; pH 6,5 (Truog); limite inférieure abrupte et régulière.
	11 cm	Limon léger, brun à brun foncé (10 YR 4/3); structure feuilletée moyenne, assez fortement développée; pH 6,5/7 (Truog); limite inférieure abrupte et régulière.
A2	20/25 cm	Limon léger, brun jaunâtre foncé (10 YR 4/4); structure polyédrique subangulaire fine, moyennement développée, à grumeleuse très fine, moyennement développée; pH 6,5/7 (Truog); limite inférieure distincte et ondulée.
B2	25 cm	Limon lourd, brun vif (7.5 YR 5/6), coatings bruns (7.5 YR 5/4), langues brun pâle (10 YR 6/3) et rouge jaunâtre (5 YR 5/8); structure en colonne moyenne, moyenne-

(*) Indice de couleurs d'après le *Munsell Soil Color Charts* (Baltimore 1946).

		ment développée, à polyédrique subangulaire fine à moyenne, faiblement développée; pH 7 (Truog); limite inférieure graduelle et régulière.
B3g	30 cm	Limon lourd à limon, brun vif (7.5 YR 5/6), gley jaune rougeâtre (7.5 YR 6/8), bandes gris rosé (7.5 YR 6/2); structure polyédrique subangulaire grossière, très faiblement développée; pH 6,5 (Truog); limite inférieure distincte et régulière.
BCg	37/48 cm	Limon léger, brun jaunâtre (10 YR 5/6), gley jaune rougeâtre (7.5 YR 6/8), bandes gris rosé (7.5 YR 6/2); structure massive, localement grandes faces de structure polyédrique subangulaire faiblement développée; pH 6 (Truog); limite inférieure abrupte et ondulée.
AII	20/35 cm	Limon léger, brun jaunâtre (10 YR 5/6), plus schistes; structure massive; pH 5,5 (Truog); limite inférieure graduelle et ondulée.
BII	30 cm	Limon brun jaunâtre (10 YR 5/6) + limon lourd brun jaunâtre (10 YR 5/4-6) + schistes, coatings brun jaunâtre foncé (10 YR 3/4), structure massive à polyédrique subangulaire grossière, faiblement développée; pH 6 (Truog).

langues, dont la partie supérieure est inclinée dans le sens de la solifluxion de l'horizon de transition.

Si les sols limoneux cartographiés présentent des analogies frappantes quant à la texture et au développement de profil avec les limons hesbayens, il convient toutefois de remarquer que les horizons B2 sont généralement moins épais et que par conséquent le régime hydrique est moins favorable.

Ces limons ont cependant une valeur agricole très élevée; ils présentent sensiblement les mêmes aptitudes que les limons hesbayens. Toutefois, les conditions climatiques limitent le choix des variétés et conditionnent les opérations culturales.

Dans la zone condruzienne, les limons éoliens épais sont assez peu étendus; ils sont surtout localisés dans les synclinaux dinantiens.

Dans la haute Famenne du plateau de Surice et dans le sud (bandes frasniennes, givetiennes et couviniennes), chaque commune, à l'exception de Romerée, a son plateau limoneux. Ces plateaux, assez étendus, sont exclusivement cultivés. Les principales cultures sont: les froments d'hiver et de printemps, l'avoine, les légumineuses et les betteraves fourragères. A Romedenne et à Surice quelques hectares de houblonnières existent depuis 6 ans. Le houblon est de très bonne qualité et la culture est rentable grâce à l'égrenage à domicile.

B. SOLS LIMONO-CAILLOUTEUX

Les limons éoliens formant des placages plus ou moins étendus, les sols peu profonds qui les entourent ont une texture hétérogène formée d'une fraction éolienne plus ou moins importante, mélangée à une fraction argilo-limoneuse et à une fraction caillouteuse d'altération.

Ces sols forment ce qu'il est convenu d'appeler les sols limono-caillouteux. Leur texture varie avec la nature du substrat.

Sur les roches arénacées, psammites et grès, sur les calcaires durs du Viséen et du Givetien de même que sur les calcaires et les calcschistes frasniens, les sols caillouteux peu profonds ont généralement une texture limoneuse.

Par contre, sur les schistes du Famennien inférieur Fala - b, sur les schistes frasniens et couviniens et sur le Tournaisien, les sols caillouteux ont une texture plus argileuse.

On peut donc distinguer 2 groupes de sols caillouteux :

- les sols limono-caillouteux au sens strict et
- les sols argilo-caillouteux.

1. Sols limono-caillouteux

Par leur texture, par leur situation topographique en pente moyenne à forte et par la nature même de leurs substrats, les sols limono-caillouteux jouissent généralement d'un drainage externe, d'une perméabilité et d'un drainage interne favorables à excessifs.

Ils ne présentent des horizons gleyifiés que sur des replats où le substrat psammitique a subi une altération très poussée et est constitué par une argile sableuse bigarrée d'altération plus imperméable.

Les développements de profils varient avec la texture plus ou moins sableuse du limon, avec la profondeur du sol et avec la nature et la richesse du substrat.

Les sols de plus de 70 cm de profondeur sont généralement très peu caillouteux. Ils comprennent une fraction limoneuse éolienne importante et présentent un horizon B textural épais très net. Sous forêt, ils sont généralement acides (pH 4,5-5).

Par contre, les sols moins profonds appartiennent généralement au groupe des *sols bruns*.

On ne rencontre jamais de sols bruns ocreux, ni de podzols.

Les sols bruns sur psammites sont assez oligotrophes, les sols bruns sur calcaires viséen et givetien sont eutrophes et les sols bruns sur calcschiste et calcaire frasnien sont eutrophes, voire même calcaires quand ils sont très superficiels. En certains en-

droits, ils peuvent être classés dans le groupe des rendzines dégradées à structure nuciforme des Français.

Il semble donc que parmi les roches calcaires, ce soient les calcschistes frasniens qui donnent les sols les plus saturés.

Bien que ne présentant de gley que dans les conditions topographiques citées plus avant, les sols limono-caillouteux ont un régime hydrique déficitaire. Ils reposent, en effet, sur des roches perméables à nappe phréatique profonde et sont généralement trop peu épais pour jouir d'une réserve d'eau suffisante.

Là où ils dépassent 40 cm d'épaisseur et où les conditions topographiques le permettent, ils sont cultivés. Par contre, lorsqu'ils sont très caillouteux, trop superficiels ou en trop forte pente, ils sont boisés.

Sur les tiges du Condroz, les sols bruns sur psammites sont généralement assez peu caillouteux et sont par conséquent cultivés. Toutefois, le versant sud du dernier tige, en pente plus forte, est boisé. L'éloignement des villages joue évidemment un rôle important dans cette répartition des bois.

La forêt est une chênaie sessiliflore à charmes. La strate herbacée est abondante et là où elle est bien traitée, comme dans le bois des Culées, la futaie atteint 30 m.

Sur le plateau de Surice et sur la bande calcaire du sud, les sols limono-caillouteux sur calcschiste frasnien et sur calcaire givetien sont peu profonds et sont boisés. Ce sont soit d'assez pauvres chênaies (manque d'eau), soit des pineraies de pins noirs d'Autriche sur les affleurements.

2. Sols argilo-caillouteux

Les sols argilo-caillouteux sont liés d'une part aux schistes de la Famenne, c'est-à-dire aux schistes frasniens (schistes de Matagne) et aux schistes famenniens (assises de Senzeille et de Mariembourg Fala et Falb), et d'autre part aux schistes couviniens.

Ces sols, généralement situés en pente douce, sont caractérisés par une texture argilo-limoneuse mélangée à une très forte proportion de fragments schisteux. Ces derniers sont très petits ($\varnothing < 1/2$ cm) et très altérés sur les assises de Matagne, de Senzeille et de Mariembourg, c'est-à-dire sur les schistes de la Famenne. Par contre, ils sont plus gros ($\varnothing \pm 1$ cm) et moins altérés sur les schistes couviniens.

Etant donné leur texture et leur situation topographique, dans la dépression famennienne ou sur le plateau méridional, les sols argilo-caillouteux, généralement peu profonds (40-50 cm), jouissent d'une perméabilité lente, d'un drainage externe moyen et d'un drainage interne lent à très lent.

On ne rencontre donc pratiquement que les classes de drainage d et h, qui sont caractérisées par un horizon gleyifié situé à plus ou à moins de 20 cm de profondeur.

La nappe d'eau permanente étant à plusieurs mètres de profondeur dans les schistes, le gley est toujours dû à un engorgement plus ou moins long du sol et on ne rencontre jamais d'horizon réduit.

Ces sols jouissent d'un régime hydrique excessif. Ils sont gorgés d'eau dès le mois de novembre mais, étant donné leur faible pouvoir de rétention (faible profondeur), ils sont frais dès le mois de mars et secs dès le mois de juin.

Ces sols sont donc très froids et humides au printemps; par contre, la végétation manque rapidement d'eau. Ces alternances d'humidité raccourcissent sensiblement la période de végétation et provoquent des arrêts successifs dans la croissance. Bien qu'anciennement cultivés, ces sols ont une vocation prairiale certaine.

C. SOLS ARGILEUX

La dernière catégorie de sols famenniens comprend les sols argileux autochtones et les sols argileux allochtones (colluviaux et alluviaux).

Les sols argileux ont une grande extension dans la basse Famenne et sont liés aux « schistes de la Famenne » à topographie plane.

La carte à 1/10 000 de Matagne-la-Petite montre la grande extension prise par les sols argileux dans cette région.

Elle se situe entre la route qui va de Doische à Mariembourg en longeant la dernière assise calcaire frasnienne et le chemin de fer qui relie Givet à Mariembourg.

La coupe n° 3, longue de 2 km, est faite au moyen des données fournies par les sondages effectués lors de la cartographie.

Elle nous montre un microrelief assez accidenté, qui n'apparaît pas sur les cartes militaires et qui est difficilement décelable pour des personnes habituées aux collines environnantes. Ce microrelief est cependant en relation avec des types de sol très différents.

Un second aspect des sols argileux, mis en évidence par la coupe, est leur faible profondeur. A part les sols limoneux des levées naturelles qui bordent le ruisseau central et les sols de la dépression argileuse de l'ouest, la majorité des sols atteignent environ 80 cm de profondeur.

Une couche épaisse d'argile d'altération de schiste recouvre uniformément le substrat schisteux. Cette argile est très lourde quoique assez caillouteuse.

Les fragments schisteux sont peu nombreux et très fortement altérés dans les couches supérieure et moyenne. Ils sont très abondants, très petits et peu altérés dans les 15 cm qui surmontent le schiste.

Sur les petits replats où elles affleurent, les argiles d'altération de schiste présentent une couche humifère, brun grisâtre légèrement plus légère, toujours gleyifiée vers 25 cm de profondeur.

Sous cet Ap, elles ont une texture très lourde et une structure polyédrique subangulaire assez fortement développée, avec des revêtements argileux sur les faces de structure.

Elles sont fortement bigarrées et, en profondeur, ont une macrostructure schistoïde soulignée par des plans gris et ocreux, dus aux processus physico-chimiques d'altération de la roche. Vers 60-70 cm apparaît un horizon très finement caillouteux de couleur violacée sur les schistes de Matagne et de Mariembourg et verdâtre sur les schistes de Senzeille.

Les versants des replats sont recouverts d'une couche d'argile limoneuse plus légère, qui renferme des débris de charbon de bois, des cailloux roulés et qui présente de-ci de-là des lits de petits coquillages quaternaires. Il semble donc que ces sols aient une origine colluviale, voire localement alluviale.

L'argile limoneuse repose entre 40 et 80 cm de profondeur, le plus souvent vers 45-50 cm, sur l'argile lourde d'altération de schiste fortement bigarrée. Cette dernière est souvent moins épaisse que sur les plateaux et le schiste apparaît vers 70 cm de profondeur. Toutefois, aux abords des dépressions, l'épaisseur de l'argile d'altération augmente et le schiste se situe à plus de 125 cm de profondeur.

Les sols en place et les sols des sommets de pentes jouissent d'un meilleur drainage que les sols des bas de pentes. Ceux-ci jouissent d'un drainage pauvre (h) et sont gleyifiés dès la surface, alors que les premiers jouissent d'un drainage imparfait (d) et ne sont gleyifiés qu'à plus de 20 cm de profondeur.

Le centre des dépressions est occupé par les alluvions à texture argileuse très lourde dès la surface (texture U). Cette argile repose localement sur l'argile plus légère des pentes, ou repose directement sur l'argile d'altération de schiste.

L'argile très lourde alluviale se distingue de l'argile d'altération de schiste par son adhésivité et sa plasticité plus fortes. Par contre, elle ne présente pas de macrostructure schistoïde et pas de taches grises et ocreuses en plans.

Les traces de gleyification sont très petites et réparties dans toute la masse. Les concrétions ferro-manganeuses sont abondantes et la couche humifère est généralement paratourbeuse.

Localement, un horizon réduit gris-bleu peut apparaître en profondeur, soit entre 30 et 60 cm de profondeur dans la classe de drainage f, soit à plus de 60 cm de profondeur dans la classe de drainage e.

D. DONNEES ANALYTIQUES CONCERNANT LES SOLS ARGILEUX

Analyse granulométrique

D'après 45 analyses granulométriques de couches superficielles, effectuées tant à Gand qu'à Gembloux, les textures des sols argileux varient du limon lourd à l'argile très lourde et se répartissent comme suit :

- 7 argiles très lourdes U
- 12 argiles lourdes U
- 2 argiles à argiles lourdes E — U
- 18 argiles limoneuses E
- 1 argile à limon lourd E — A
- 5 limons lourds A.

En outre, 4 de ces échantillons renferment de 19 à 31 % d'éléments supérieurs à 2 mm et ont donc une texture caillouteuse G.

Degré de saturation en bases

Au point de vue du degré de saturation en bases (valeur V, méthode de MEHLICH modifiée) des sols argileux de la Famenne, sur 43 échantillons dont 15 sous prairie et 28 sous bois, on constate que :

- les 15 échantillons sous prairie ont un % de saturation compris entre 60 et 95 %,
- sur 28 échantillons sous bois :
 - 15 ont un % de saturation inférieur à 26 %,
 - 13 ont un % de saturation compris entre 30 et 74 %.

On peut donc dire que 65 % des échantillons sont fortement saturés (plus de 30 %).

pH

Sous prairie :

- les pH/H₂O oscillent entre 6,5 et 8,2,
- les pH/KCl oscillent entre 4,9 et 6,9 avec une majorité vers 5,6.

Sous bois :

- les pH/H₂O oscillent entre 4,9 et 6,
- les pH/KCl oscillent entre 3,8 et 4.

Capacité de sorption totale

Si l'on considère la capacité de sorption totale T_t pour les ions H^+ et les bases Na^+ , Ca^{++} , K^+ et Mg^{++} , exprimées en milliéquivalents par 100 g de terre, et si l'on ramène les valeurs T_t à 100 g d'argile, on constate que :

sous prairie :

- dans 5 sols de texture U (contenant 41 à 51 % d'argile) la capacité de sorption totale ramenée à 100 g d'argile, varie de 44,69 à 68,57 milliéquivalents,
- dans 3 sols de texture E (35,4 à 43 % d'argile) cette valeur varie de 49,5 à 58 milliéquivalents;

sous bois :

- dans 2 sols de texture U (39,4 et 40,3 % d'argile) cette valeur est de 41,79 et 37,75 milliéquivalents,
- dans 5 sols de texture E (26,5 à 30,6 % d'argile) cette valeur varie de 44 à 57 milliéquivalents.

Si l'on fait les mêmes calculs pour des terres-à-briques de la région de Gembloux, on obtient pour des limons lourds, qui contiennent de 18,8 à 21,7 % d'argile, des capacités de sorption totale T_t ramenées à 100 g d'argile qui varient entre 60,31 et 72,38 milliéquivalents. Sur 10 échantillons

- 2 ont des capacités de 60,5 milliéquiv.,
- 3 ont des capacités variant entre 64,4 et 66,4,
- 2 ont des capacités variant entre 67 et 68,2,
- 3 ont des capacités variant entre 71,3 et 72,4.

Si l'on compare ces chiffres avec ceux de la Famenne, on constate que 80 % des argiles de Hesbaye ont des capacités de sorption totale supérieures à 64 milliéquivalents par 100 g, alors que les argiles de la Famenne ont des capacités comprises entre 37,75 et 58 milliéquivalents par 100 g.

D'après ces quelques données analytiques, on peut constater que les sols argileux de la Famenne ont une tendance à avoir des capacités de sorption totale assez faibles, mais sont fortement saturés (plus de la moitié sont saturés à plus de 50 %).

E. CONCLUSIONS

Les sols de la Famenne sont donc caractérisés par :

- leur faible profondeur (généralement inférieure à 80 cm),
- leur texture argileuse lourde à très lourde,
- leur drainage imparfait, pauvre ou très pauvre (classes de drainage d, h, e ou f),

- leur haute saturation en bases et leur capacité de sorption assez basse,
- leur régime hydrique excessif.

Ces sols sont en effet très rapidement saturés d'eau, à tel point que, dès le mois de novembre, l'eau est presque partout à 30 cm et les canaux de drainage donnent à plein rendement. Vers les mois de décembre et février, les prairies sont transformées en étangs et les eaux d'inondation atteignent parfois 1 m de hauteur.

Ces sols sont donc très froids au printemps et à l'automne; de plus, les argiles alluviales se défoncent très facilement. Il en résulte un piétinement intense par le bétail et un retard important de la végétation. Tous ces facteurs militent en faveur d'un drainage profond de ces sols.

Par contre, dès le mois de mai la réserve d'eau du sol commence à diminuer et vers la fin du mois de juin les prairies commencent à roussir.

Si ces sols souffrent donc d'un excès d'humidité très nocif au départ de la végétation et quelquefois lors de violents orages en été, ils souffrent principalement et très fortement d'un déficit en eau pendant une grande partie de la période de végétation. Préjudice qui, semble-t-il, est au moins aussi important que l'excès d'humidité, car il apparaît très tôt.

VI. CLIMAT

Du point de vue climatique(*), la Famenne est caractérisée par un climat froid et brumeux.

Si l'on compare les climogrammes de Gembloux, Maredsous (Condroz) et Forge - Scroumont (Chimay) on constate que (fig. 4) :
 — pendant les mois de juin, juillet et août les trois régions ont des climats très semblables; l'écart des pluies ne dépasse pas 6 mm/mois entre la région la plus sèche (Gembloux) et la plus humide (Forge) et les températures moyennes vraies ne varient que de 0,2°C;

— le mois de septembre est généralement plus chaud à Scroumont et à Gembloux qu'à Maredsous et les pluies sont sensiblement égales;

— au mois d'octobre il pleut 20 mm en plus à Scroumont qu'à Gembloux et 12 mm en plus qu'à Maredsous et l'écart de température commence à se creuser (1°);

— au mois de novembre les pluies sont sensiblement égales partout mais la température moyenne vraie n'est plus que de 3,7°C

(*) D'après L. PONCELET et H. MARTIN : Esquisse climatographique de la Belgique. *Inst. Royal Météor. Belg.*, mém. XXVII. Bruxelles, 1947.

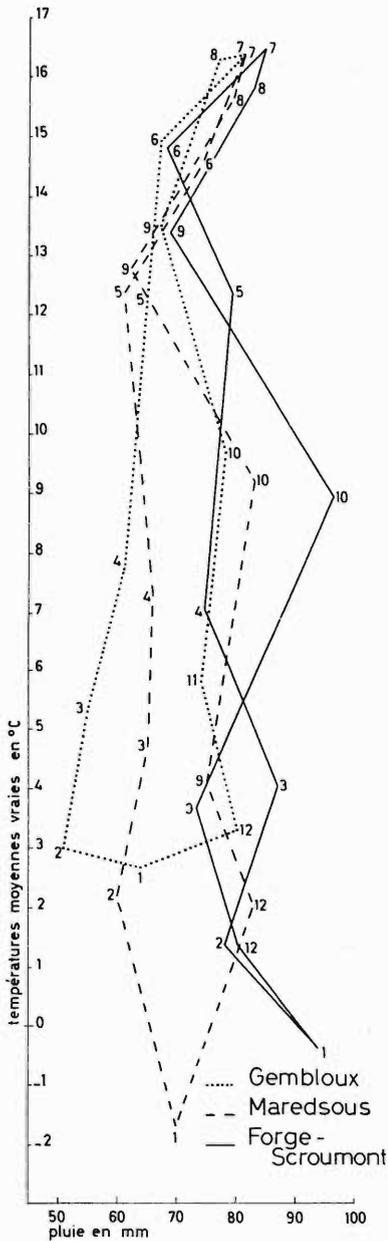


Fig. 4. — Climogrammes.

- 1 = janvier
- 2 = février
- etc.

à Scroumont, alors qu'elle est encore de 6°C à Gembloux;

— pendant les mois de décembre et janvier les écarts de pluie et de température augmentent; en janvier les neiges abondent à Scroumont et la température moyenne descend à -0,5°; par contre, il fait sec et plus froid à Maredsous (25 mm d'eau en moins et température moyenne de -2°) et moins froid et plus sec à Gembloux (30 mm d'eau en moins qu'à Scroumont et température moyenne de + 2,5°);

— en février l'écart des températures diminue: -0,8° à Scroumont, + 2,2° à Maredsous, + 3° à Gembloux, mais l'écart des pluies reste important: 78 mm à Scroumont, 60 mm à Maredsous, 52 mm à Gembloux;

— en mars les écarts de pluie et de température s'accroissent: il pleut 86 mm à Scroumont, 65 mm à Maredsous, 55 mm à Gembloux, et les températures moyennes vraies sont respectivement de 4°, 5° et 5,5°;

— en avril et en mai les écarts de températures diminuent: 7° à Scroumont, 7,5° à Maredsous, 7,8° à Gembloux; par contre les écarts de pluie restent importants: 75 mm à Scroumont, 62 mm à Maredsous et à Gembloux.

Les précipitations abondantes au printemps et en automne

et les températures assez basses retardent donc nettement la végétation dans la Famenne.

Il faut de plus noter les grandes différences de nombre de jours de brouillard : 72 à Scroumont, 23 à Maredsous et à Gembloux.

VII. CONCLUSIONS

Tous ces facteurs climatiques importants, joints aux propriétés des sols, font de la Famenne une région d'aspect pauvre.

Les forêts, généralement des chênaies à charmes, ont un port rabougri; les prairies rousses en été et les buissons épineux qui envahissent les tiennes calcaires jettent une note de tristesse sur le paysage.

Il ne faut pourtant pas s'y tromper car, si les chênes ne s'accroissent que d'un cm par an, la qualité du bois est exceptionnelle et, là où le cultivateur travaille ses prairies, les draine et les irrigue, fait beaucoup trop rare malheureusement, il peut obtenir de bons rendements et vivre suivant un standing honorable.

Si, du point de vue forestier, les chênaies n'ont rien à envier aux autres régions, par contre les sols de cultures et surtout les prairies, généralement fortement saturées en bases, réclament une politique de drainage et surtout d'irrigation bien étudiée.

DE BODEMS VAN DE FAMENNE

Samenvatting

De Famenne vormt een langgerekte depressie in het zuiden van het land, tussen Chimay in het westen en Durbuy in het oosten.

In deze bijdragen worden, in grote trekken, de verhoudingen tussen het Frasniaan en het Famenniaan, enerzijds, en de verspreiding van de bodem, anderzijds, op de kaartbladen Rosée 174 E en Surice 183 E nagegaan.

De zuidgrens van de Famenne wordt gevormd door de assise van Fromelennes, de basis van het Frasniaan. Deze schiefer-kalksteen assise, die op het terrein moeilijk herkenbaar is, onderscheidt zich van de kalksteenzone van het zuiden door het veelvuldig voorkomen van *Spirifer tentaculum*. De noordgrens van de Famenne is onduidelijker en komt niet overeen met de bovengrens van het Famenniaan; ze bevindt zich inderdaad tussen de schiefers en de schieferachtige psammieten van de assise van Mariembourg, de tweede assise van het Onder-Famenniaan.

De primaire sokkel van de Famenne bestaat uit een afwisseling van schiefer- en schiefer-kalksteenbanken met kalksteenriffen van het Frasniaan, en uit de schiefers van het Onder-Famenniaan.

Het reliëf en het landschap van het bestudeerd gebied worden weergegeven in fig. 1 waarop de inzinking van de Famenne duidelijk tot uiting komt met een denivellatie van 150 m t.o.v. de laatste condruische « tige ».

De Famenne heeft een koud en vochtig klimaat.

De bodems kunnen in drie textuurklassen gegroepeerd worden, die hieronder beschreven worden.

De niveo-eolische leemgronden

In de streek van Florennes, Flavion en Romedenne werden twee opeenvolgende leemlagen gevonden. Het bovenste leem lijkt sterk op dit van Haspengouw; de textuur B horizont schijnt echter gemiddeld minder dik te zijn en de waterhuishouding is minder gunstig.

De landbouwwaarde is hoog, maar de cultuurmogelijkheden worden beperkt door het klimaat.

In de Condrusische zone liggen de eolische lemen vooral in de Dinantiaansynclinalen. In de hoge Famenne bezit elke gemeente een leemplateau; in de lage Famenne komt geen leem voor.

De stenig-leemgronden

Op zandsteen en kalksteen zijn de gronden stenig lemig; op schiefgesteenten zijn ze stenig kleiig.

De stenig-leemgronden zijn oligotrofe bruine gronden op psammiet, eutrofe bruine gronden op kalksteen en plaatselijk kalkhoudende bruine gronden op frasnianse kalkschiefers. Deze gronden liggen onder cultuur indien ze diep zijn; de oppervlakkige gronden zijn beplant met *Pinus nigra austriaca*.

De stenig-kleigronden liggen op zwakke hellingen en een slechte natuurlijke drainering. Ze zijn met water verzadigd in de herfst, in de winter en in het begin van de lente; 's zomers zijn ze echter droog. Deze gronden liggen onder bos of weide.

De kleigronden

De kleigronden van de lage Famenne zijn ondiep en hebben een matige, slechte of zeer slechte natuurlijke drainering. Ze hebben een hoge basenverzadiging en een eerder lage sorptiecapaciteit. Hun waterhuishouding is zeer onregelmatig. Deze gronden zijn bebost of liggen onder weide.

BODEMS UIT DE LIMBURGSE KEMPEN

door D. LAMBERTS

Centrum voor bosbiologie in de Limburgse Kempen — Bokrijk-Genk⁽¹⁾

De bedoeling van deze mededeling is een kort overzicht te geven van de bodems die ontmoet werden tijdens het bodemonderzoek, uitgevoerd door het Centrum voor Bosbiologie in de Limburgse Kempen (Bokrijk-Genk). Dit onderzoek is beperkt tot de gronden bestemd voor de bosbouw en omvat tot op heden slechts een paar duizend hektaren, verspreid in de hoge en lage Kempen.

Voor de bodemkundige is de naam « Limburgse Kempen » natuurlijk nauw geassocieerd met het begrip podzol. En inderdaad, de overgrote meerderheid van de gronden, en zeker van de bosgronden, vertoont een podzolprofielontwikkeling. Nochtans werden ook andere bodemgroepen aangetroffen, en dit in belangrijker mate dan veelal vermoed wordt.

Op de zandgronden, die het overgrote gedeelte van de oppervlakte beslaan in de Limburgse Kempen, wordt steeds een podzolprofiel gevonden, wanneer zij voldoende oud zijn.

In de lage Kempen, waar op geringe diepte blijvend grondwater aanwezig is, vindt men meestal een heidepodzol met morfologische kenmerken, afhankelijk van de grondwatertafeldiepte, en die door Ir. F. DE CONINCK reeds beschreven werden⁽²⁾.

In het kort kunnen ze als volgt getypeerd worden. Op hooggelegen plaatsen (zomerwatertafel op meer dan 2 m diepte) heeft zich, onder een zwarte A₀-horizont, een grijze tot licht paarse A₂-horizont gevormd, waarvan de dikte meestal tussen 15 en 20 cm varieert. Hieronder is een humus-B-horizont ontwikkeld, donkerzwart en scherp van de A₂-horizont gescheiden. De onderbegrenzing is meer geleidelijk en plaatselijk onregelmatig met diepe uitstulpingen die tot in het C-materiaal kunnen reiken. De normale dikte van de humus-B-horizont ligt ook tusshen 10 en 15 cm. Dieper treedt nog humusafzetting op in de vorm van zwarte, onregelmatig

(1) Gesubsidieerd door het Instituut tot Aanmoediging van het Wetenschappelijk Onderzoek in Nijverheid en Landbouw (I.W.O.N.L.).

(2) DE CONINCK, F.: Différences dans la morphologie des podzols, suivant l'humidité (Campine Anversoise). *Actes et Comptes Rendus du V^e Congrès International de la Science du Sol*, vol. IV. Léopoldville, 1954.

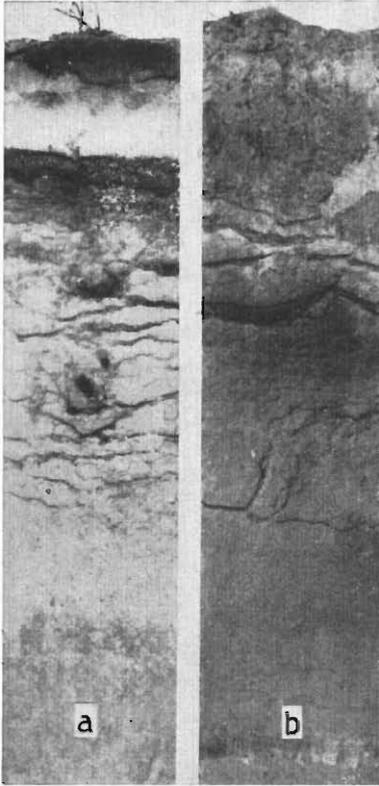


Foto 1.

- Normale heidepodzol op zand.
 a. Met diepe grondwaterstand.
 b. Met hoge grondwaterstand.

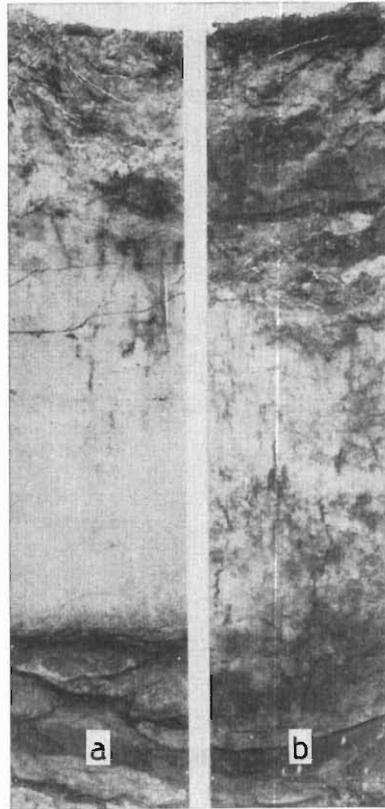


Foto 2.

- Sterk ontwikkelde podzol op zand.
 a. 80 cm diepe A_2 -horizont.
 b. Diepe A_2 -horizont, nog tamelijk humusrijk; sekundaire humus-B-horizont afgetekend in de diepte.

golvende bandjes, die zich doorheen de onderliggende horizonten ontwikkelen, meestal tot in het C-materiaal. De aaneengesloten humus-B-horizont is tamelijk verhard.

Onder de B_{21} -horizont wordt in de droge heidepodzolen een oranje-gele, met ijzer aangerijkte B_{22} -horizont gevonden, die zeer geleidelijk overgaat in een geelachtig C-materiaal.

De tijdelijk met water oververzadigde zone is roestig-grijs gevlekt. Naarmate de grondwaterstand dichterbij het oppervlak komt, ziet men deze vlekken stijgen van in het C-materiaal tot aan de onderkant van de B_{21} -horizont. Ligt deze laatste in de tijdelijk



Foto 3.

Sterk ontwikkelde podzol op zand.
Midden rechts : behouden brok van
oorspronkelijke B-horizont.

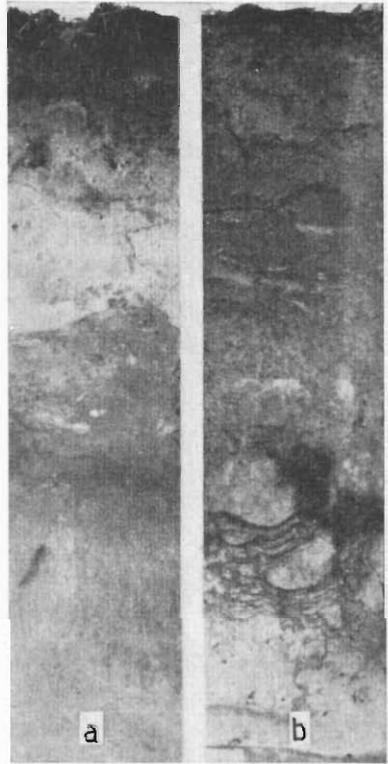


Foto 4.

- a. Zwak gepodzolisearde Low
Humie Gley-bodem op zand;
kompakte textuur-B-horizont
(hoofdzakelijk ijzeraanrijking).
b. Bruine plaggengrond.

oververzadigde zone, dan gaat de kleur van zwart naar donkerbruin en de horizont zelf wordt dikker, terwijl de bandjes minder duidelijk worden. Een nog hogere watertafel veroorzaakt verving van A_1 - en A_2 -horizonten; deze laatste kan door verving zelfs volledig gemaskeerd worden. Het zand, dat blijvend met water oververzadigd is, heeft een oruingroene reductiekleur.

Tijdens de kartering van het provinciedomein Bokrijk werden echter podzolen gevonden, die morfologisch sterk afwijken van voornoemde « heidepodzolen ».

Een eerste groep omvat podzolen die blijkbaar veel sterker ont-

wikkeld zijn. Ze zijn gekarakteriseerd door een afbraak van de B-horizonten en een heropbouw van een humus-B-horizont op grote diepte onder een zeer dikke A_2 -horizont. Deze laatste kan tot 80 en soms zelfs 100 cm diepte reiken. De kleur van de A_2 -horizont is dan grijs, zonder de licht paarse tint der heidepodzolen, en de humus-B-horizont is, ook in de droge varianten, donkerbruin. Op de lager gelegen plekken is de sekundaire humus-B-horizont dikwijls zeer vaag. Dit ontwikkelingsstadium is niet overal bereikt en op korte afstand kan de morfologie in deze bodems sterk wisselen. Men vindt regelmatig nog brokstukken van de vroegere B-horizonten; soms is de A_2 -horizont nog doorlopen door verticale, humeuze strengen; plaatselijk heeft de bodem nog een bijna normaal voorkomen en zijn enkel kleurveranderingen op te merken.

Buiten deze sterk ontwikkelde podzolen werd in het provinciedomein ook de aanwezigheid vastgesteld van slechts zeer zwak gepodzoliseerde, laaggelegen zandgronden, met een Low Humic Gley profiel. De polzoliseatie is hierbij beperkt tot de ontwikkeling van een zwakke, bruine humus-B-horizont onder de bouwvoor, in de uitgeloopte A_2 -horizont van de Low Humic Gley bodem. Onder laatstgenoemde horizont, zeer scherp ervan gescheiden, is een harde, kompakte en gevlekte textuur-B-horizont ontwikkeld, die plaatselijk relatief sterk kleiig aanvoelt door uitgesproken aanrijking, hoofdzakelijk aan ijzerkolloïden. Men kan een kleitoe name vinden van 1-2 % in de A_2 -horizont, tot 5 en zelfs 10 % in de B-horizont.

Voor de lage Kempen blijven nog de venige gronden te vermelden. Deze blijken niet steeds oligotroof te zijn; er worden ook mesotrofe en zelfs eutrofe gronden gevonden.

In de hoge Kempen wordt het geologische substraat gevormd door Maasterrasafzettingen. Deze sedimenten wisselen nogal sterk in granulometrische samenstelling: doorgaans zijn ze steen- of grinthoudend, veelal zwak lemig, soms zelfs zandlemig.

Op de plaatsen waar dit materiaal niet met eolisch zand overdekt werd en min of meer leemhoudend is, vindt men niet een podzol, maar een Brown Podzolic-profielontwikkeling, ofwel slechts met een uitgesproken ijzer-B-horizont, ofwel met een zwakke humus-B-horizont, ontwikkeld in voornoemde. Op de Maasterrasafzettingen werden zelfs licht-zandleemgronden gevonden, met een gevlekte textuur-B-horizont, die slechts zeer oppervlakkig gepodzoliseerd zijn (profielontwikkeling als aangeduid door het symbool C door het Centrum voor Bodemkartering; sol polzolique).

In de hoge, droge Kempen zijn het trouwens voornamelijk deze relatief rijke gronden, die in kultuur genomen zijn, en de niet-podzolbodems nemen er een redelijk grote uitbreiding.

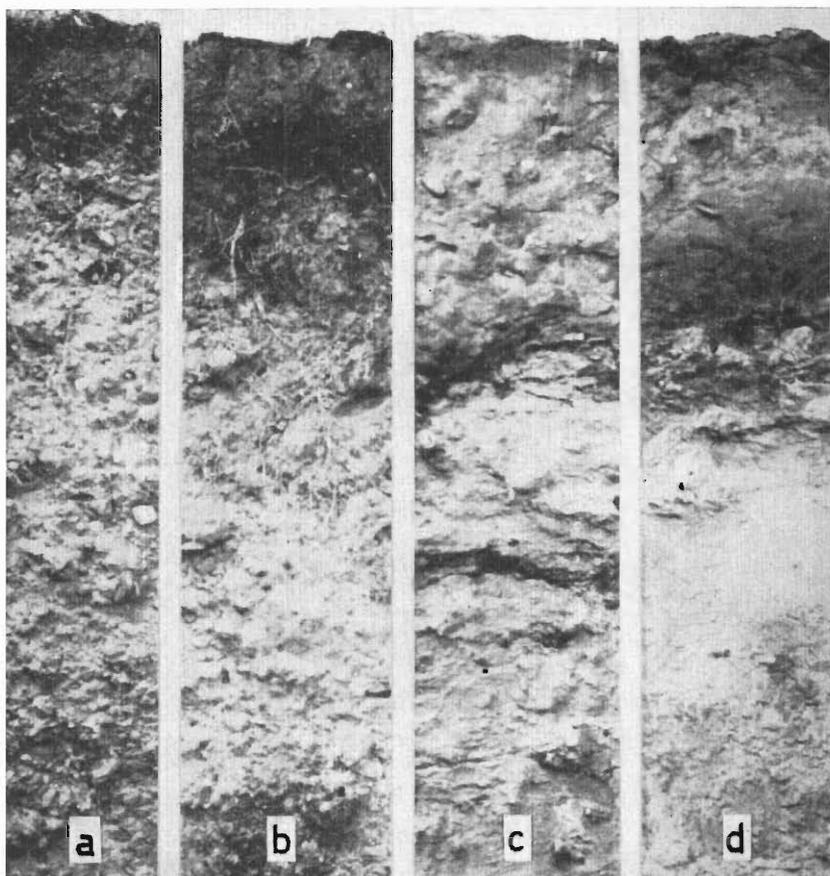


Foto 5.

Bodems op Maasterrasafzettingen; kleiig-zandsubstraat op ca. 90 cm.

- a. Brown Podzolic-bodem.
- b. Overgang Brown Podzolic-podzol, met oppervlakkige humus-B-horizont
- c. Podzol met gleyverschijnselen tot aan de onderkant van de B-horizonten.
- d. Podzol met gleyverschijnselen tot in de B-horizonten, die zeer sterk verkit zijn.

Waar de Maasafzettingen zeer zandig zijn of waar een oude zand-overdekking gevonden wordt, treden natuurlijk weer podzolen op.

Bij het bodemonderzoek van het proefveld, aangelegd door het Centrum voor Bosbiologie op het grondgebied van de gemeente Mechelen a/Maas, werden podzolen gevonden, ontwikkeld in zandige Maasafzettingen en rustend op een weinig permeabele onder-

grond van kleilig zand. Op dit substraat ontstaat in perioden van sterke neerslag een tijdelijke watertafel. De podzolen gevormd in zulke omstandigheden van tijdelijke wateroverlast onderscheiden zich door een sterk verharde B-horizont, met een duidelijk ontwikkeld ijzerplaatje aan de onderkant van de humus-B-horizont op de hoger gelegen plaatsen, en een 10-15 cm dikke, zeer sterk verkitte ijzer-B-horizont in de lager gelegen delen (waarin tijdelijke vennen kunnen gevonden worden). Op deze sterk verkitte B-horizonten blijft het regenwater stagneren, zodat bij grote neerslag het water vlug tot aan de oppervlakte komt. Op deze onder water staande gronden kan men dan nog volledig droge putten vinden, die tot onder de B-horizonten uitgegraven zijn. Bij de aanleg van het proefveld werd trouwens rekening gehouden met deze speciale toestand op gebied van waterhuishouding. Na het opbreken van deze ondiepe, waterophoudende B-horizonten, komen deze gronden ook niet meer onder water in de winterperiode.

Vervolgens moeten de stuifzandgronden vermeld worden, die zowel in de lage als in de hoge Kempen aanwezig zijn. Zijn deze voldoende oud, dan vindt men een normale heidepodzol. Er worden echter afzettingen van allerlei ouderdom aangetroffen. Op sommige plaatsen kan men zelfs twee volledig ontwikkelde podzolen vinden onder een recentere zandbedekking. Zandverstuiving en -afzetting treden ook heden nog op.

Op zulke stuifzanden vindt men dan ook allerlei tussenstadia tussen regosol en heidepodzol. Podzolontwikkeling blijkt aan te vangen met een humusinfiltratie en een ijzermobilisatie in de bovenste centimeters. Vervolgens begint zich meer en meer een A₂-horizont af te tekenen, en accentueert zich geleidelijk een humus-B-horizont. Deze laatste treedt in het beginstadium dikwijls slechts vleksgewijze op, om pas later aaneen te sluiten. In het eerste stadium is de B-horizont veelal bruinachtig en weinig compact.

Van de tertiaire zanden met profielontwikkeling is eerst het Diestiaan te vernoemen met een Brown Podzolic bodem, en vervolgens het Bolderiaan waarop droge podzolen waargenomen werden met een uitzonderlijk dikke humus-B-horizont, die rust op een fossiele illuviatieband. De humus-B-vorming gebeurt dan gedeeltelijk normaal en gedeeltelijk door accumulatie van humuskolloïden op zulke harde en weinig permeabele band. Er ontstaan zo twee accumulatiezones die kunnen ineengroeien en een dikke, aaneengesloten humus-B-horizont vormen, in een wit, mikahoudend zand, doorlopen met fossiele okergele bandjes.

Ten slotte moeten nog vermeld worden de diep humeuze plaggengronden. Dit zijn oude kultuurgronden, soms bruin, soms zwart.

De humusrijke laag kan meer dan 100 cm dik zijn. Zwarte, diepe plaggengronden werden tamelijk veelvuldig aangetroffen op Diestiaan, rustend op een zandige klei-ondergrond.

SOLS DE LA CAMPINE LIMBOURGEOISE

Résumé

Cet exposé donne un aperçu des sols rencontrés lors d'études pédologiques, effectuées par le Centre de Recherches en Biologie Forestière de Bokrijk.

Généralement un podzol de bruyère s'est développé dans les sables éoliens anciens; dans les sables plus récents, on trouve différents stades de transition entre le régosol et le podzol. Citons aussi des podzols à horizon A2 très épais et des sols podzoliques à horizon B textural. Sur les terrasses mosanes, les sols à développement de profil du type « Brown-Podzolic » sont relativement fréquents.

	p.-blz.
Composition du bureau pour 1958	3
Samenstelling van het bestuur voor 1958	3
Assemblée générale (30 janvier 1958)	4
Algemene vergadering (30 januari 1958)	5
Première séance ordinaire (30 janvier 1958)	12
Eerste gewone zitting (30 januari 1958)	12
CLOOS, P. & FRIPIAT, J. J. — L'acétylation de la kaolinite	13
HALLET, H. — Pédologie : science de base du remembrement et de la bonification foncière	25
Deuxième séance ordinaire (27 février 1958)	37
Tweede gewone zitting (27 februari 1958)	38
DE LEENHEER, L. & VAN HOVE, J. — Détermination de la teneur en carbone organique des sols. Etude critique des méthodes titrimétriques	39
Troisième séance ordinaire (24 avril 1958)	78
Derde gewone zitting (24 april 1958)	78
LARUELLE, J. — Micromorphologie des sols de la Belgique	79
Excursion pédologique dans le Hageland septentrional le 23 mai 1958	103
Bodemkundige excursie in Noord-Hageland op 23 mei 1958	103
TAVERNIER, R. & SCHEYS, G. — Verslag over de excursie in Noord-Hageland	104
Quatrième séance ordinaire (29 octobre 1958)	125
Vierde gewone zitting (29 oktober 1958)	126
DELECOUR, F. & MANIL, G. — Contribution micromorphologique à l'étude de l'humification dans les sols bruns acides des Ardennes belges	127
TAVERNIER, R. & MARECHAL, R. — Carte des associations de sols de la Belgique	134
Cinquième séance ordinaire (19 décembre 1958)	183
Vijfde gewone zitting (19 december 1958)	183
BOSMANS, H. & FRIPIAT, J. — Ionenuitwisselingsvermogen en oppervlakteladingsdichtheid van SiO ₂ -Al ₂ O ₃ gelen	184
HENRARD, G. — Les sols de la Famenne	199
LAMBERTS, D. — Bodems uit de Limburgse Kempen	224

