

## RECHERCHES SUR L'ECOSYSTEME FORET

SERIE E : FORETS DE HAUTE BELGIQUE

*Contribution n° 5*

### Eléments biogènes de l'édaphotope et phytocénose forestière (\*)

PAR

P. DUVIGNEAUD et A. FROMENT

(Avec 1 dépliant)

---

#### I. INTRODUCTION

1. — Les recherches du Centre d'Ecologie Générale sur la productivité et le cycle des éléments biogènes dans l'Ecosystème Forêt se poursuivent dans deux sites (Virelles et Ferage I) où s'effectue un programme maximum comportant l'étude,

de la structure,  
de la productivité primaire et secondaire,  
des processus climatologiques et édaphologiques de productivité,  
des processus de décomposition de la matière organique,  
du cycle des éléments biogènes.

En outre, une quinzaine de sites de référence ont été choisis, dans les milieux les plus divers, pour fournir aux études approfondies précitées les éléments de comparaison nécessaires à une meilleure compréhension des phénomènes et permettre certaines généralisations.

Parmi ceux-ci, la futaie sur taillis du bois de Wève, à la limite des communes de Wavreille et de Bure, a vraiment servi de cobaye aux

(\*) Programme du Centre d'Ecologie Générale (Bruxelles), subventionné par le Fonds de la Recherche fondamentale collective.

études de biomasse, de productivité, et de cycle des éléments biogènes; des études intensives y ont été poursuivies pendant les six dernières années (DUVIGNEAUD 1968, DUVIGNEAUD et DENAEYER-DE SMET 1968); le choix de cet écosystème forestier, tout à fait particulier au point de vue floristique, a été basé sur des raisons techniques (accès facile, abattage synchronisé de la futaie et du taillis, possibilité d'acheter le taillis et de le débiter soi-même, strate au sol très drue et très variable en fonction du facteur eau, etc.) et sentimentales : le bois de Wève est menacé d'enrénement; avec lui disparaîtrait le seul exemplaire connu d'une forêt famennienne développée sur sol lourd pseudogleyifié riche; à défaut d'obtenir que l'on en fasse une réserve naturelle, il était nécessaire, avant qu'il ne soit trop tard, d'en faire une étude suffisante, pour qu'au moins ce site exceptionnel soit conservé « sur le papier » (1).

2. — Rappelons que l'écosystème forêt est un système biologique fonctionnel constitué d'une biocénose souvent très complexe et très structurée, d'un climatope, et d'un édaphotope (SOUKATCHOV 1950).

Il convient donc de délimiter sur le terrain des biocénoses forestières bien définies (toutes les données sont rapportées à l'ha); homogènes, en équilibre avec le climat local (climatope) et les facteurs du milieu (édaphotope). Au point de vue phytosociologique, il s'agit là d'associations stationnelles au sens de SCHLENKER (1960).

Afin d'obtenir des éléments valables de comparaison, il faut choisir une gamme d'association stationnelles judicieusement réparties dans les conditions de milieu les plus diverses.

Pour éliminer, autant que possible, les différences au niveau du climatope, les 19 sites choisis par le C. E. G. sont concentrés dans le polygone Dinant-Marche-St. Hubert-Paliseul-Chimay, c'est-à-dire dans les territoires écologiques adjacents de la Famenne, de la Calestienne et de l'Ardenne atlantique et occidentale, tels qu'ils ont été décrits par DELVAUX et GALOUX (1962); les caractéristiques climatologiques respectives de ces territoires sont relativement peu différentes (fig. 1), ce qui permet de considérer que les écosystèmes choisis ont, à peu de choses près, le même climatope; ce « à peu de choses près » est néanmoins suffisant pour que, phytosociologiquement parlant, les associations stationnelles choisies se partagent entre plusieurs associations régionales :

- association régionale des forêts de Chênes-Charmes de la Famenne;
- association régionale des forêts de Hêtres et Chênes de l'Ardenne occidentale;
- association régionale des forêts de Hêtres-Chênes et Charmes de l'Ardenne atlantique.

(1) Les protecteurs de la Nature se préoccupent trop exclusivement, à notre avis, de la conservation des zones non boisées (dunes, rochers, landes, tourbières, marais, etc.); les sites forestiers décrits dans les lignes qui suivent pourraient constituer une liste de types forestiers à conserver dans la région considérée.

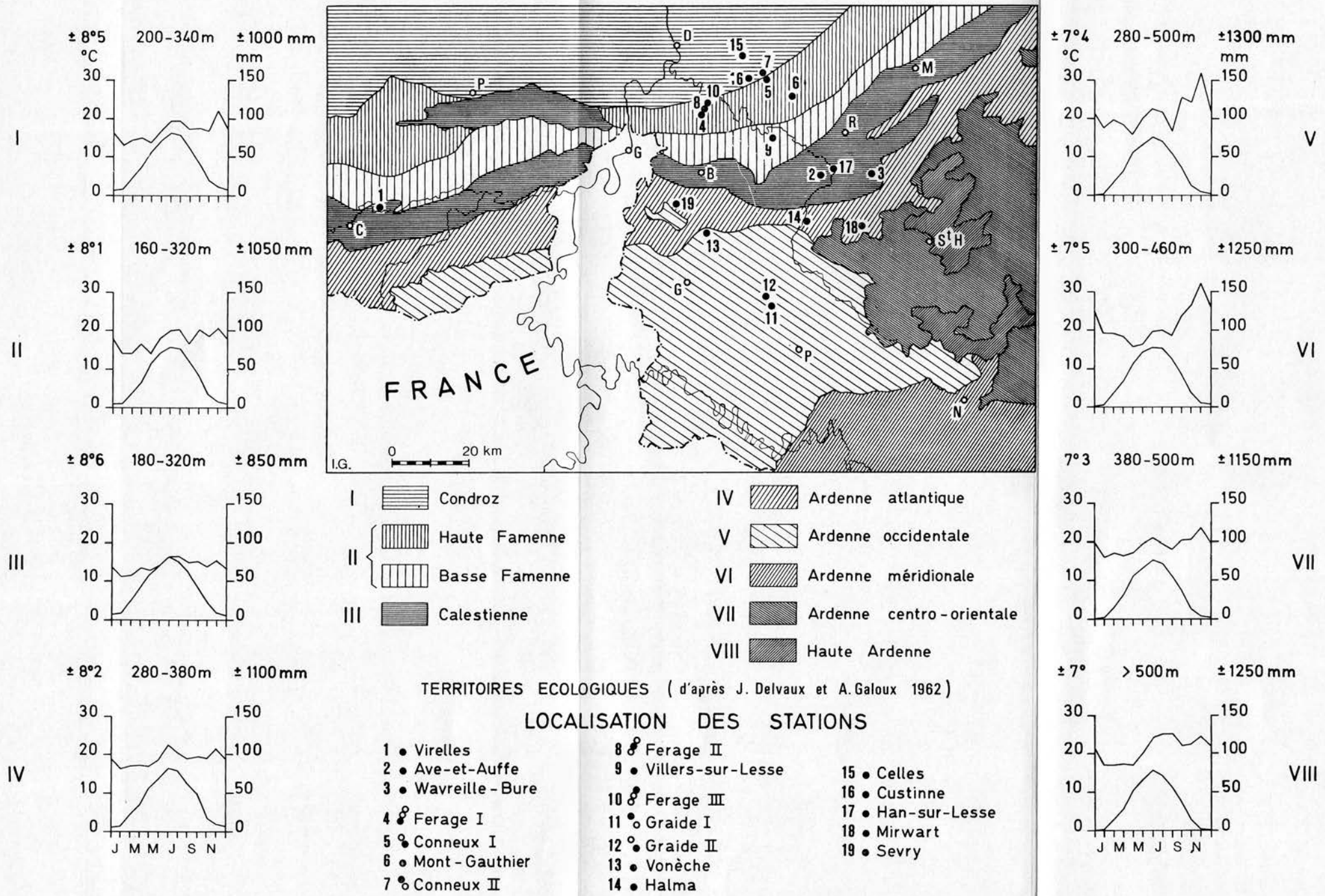
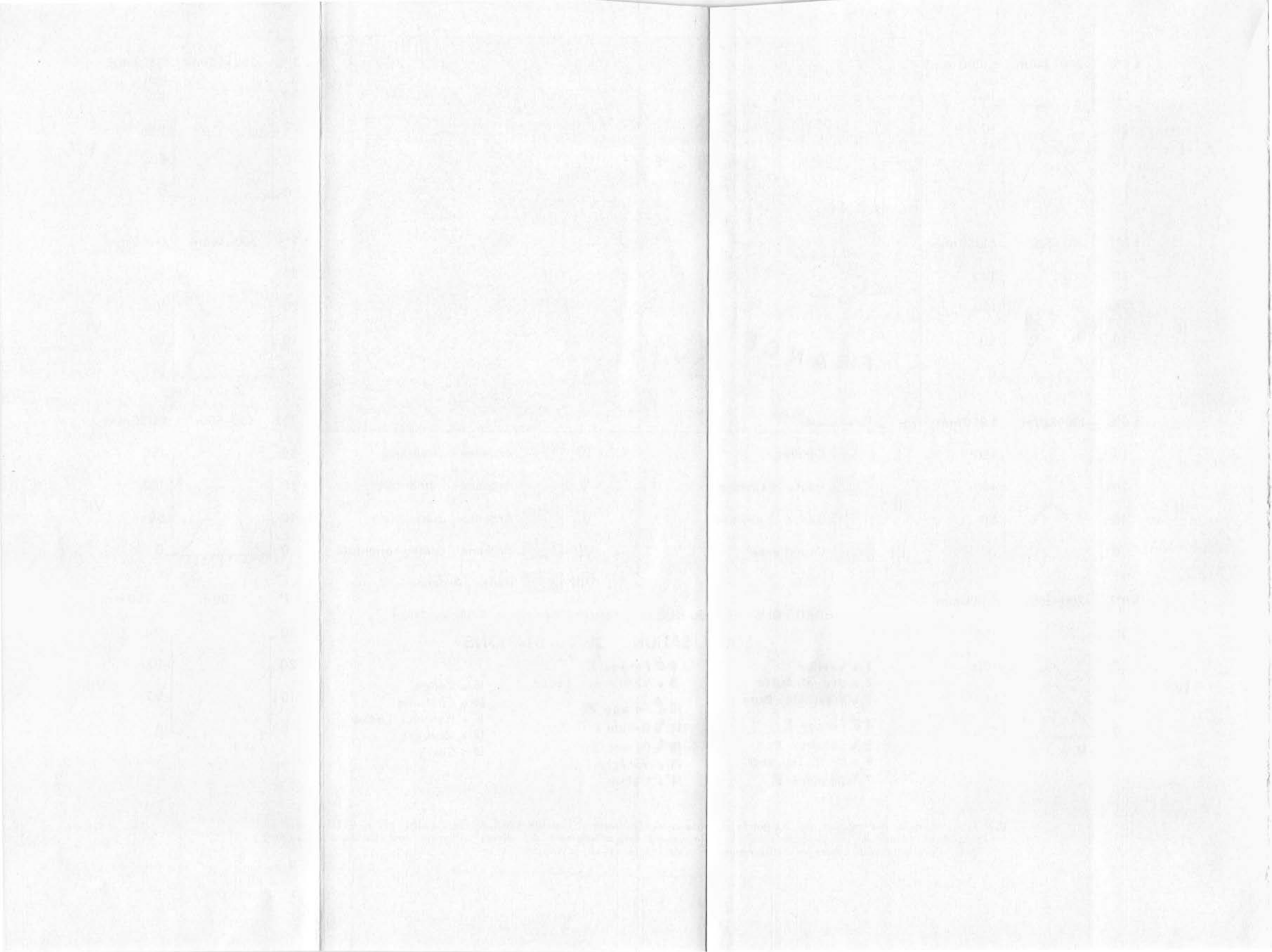


Fig. 1. — Situation, par rapport aux territoires écologiques de DELVAUX et GALOUX 1962, des sites choisis par le C.E.G. pour son programme d'étude de l'Ecosystème Forêt. Les diagrammes ombrothermiques des divers territoires sont indiqués latéralement. Dans le présent travail, seules les stations numérotées de 1 à 14 ont été envisagées.



Rappelons que l'association régionale est la forêt naturelle, ou tout au moins potentielle, en équilibre avec un climat régional déterminé (planaire, collinaire, montagnard, etc.); groupement synthétique abstrait, caractérisé par la présence ou l'absence de différentielles phytogéographiques, l'association régionale (SCHLENKER), qui est à peu près l'association ou la faciétation au sens de CLEMENTS, est composée d'associations stationnelles concrètes (qui ont la valeur d'écosystèmes), se reconnaissant à l'abondance-dominance de certaines essences forestières, et surtout à la dominance, dans la strate herbacée, de groupes écologiques (2) (DUVIGNEAUD 1946) de plantes banales, indicateurs des conditions de l'environnement.

Les groupes écologiques, utilisés par le C. E. G. pour sa cartographie des forêts du Bas-Luxembourg et du Sud-Est de la Belgique, sont dérivés de ceux qui furent définis par DUCHAUFOUR (1957) pour la Lorraine.

Ce sont les groupes :

- du mull calcique : *Primula veris*, *Orchis mascula*, *Mercurialis perennis* (localement), *Carex digitata*,...
- du mull actif : *Ranunculus ficaria*, *Paris quadrifolia*, *Arum maculatum*, *Adoxa moschatellina*, *Primula elatior*, *Ornithogalum pyrenaicum*, *Geum urbanum*,...
- du mull forestier typique (humus doux) : *Lamium galeobdolon*, *Asperula odorata*, *Campanula trachelium*, *Brachypodium sylvaticum*,...
- du mull à large amplitude : *Anemone nemorosa*, *Polygonatum multiflorum*, *Milium effusum*, *Euphorbia amygdaloides*, *Hedera helix*, *Fragaria vesca*,...
- du mull acide : *Viola riviniana*, *Stellaria holostea*, *Luzula pilosa*, *Poa chaixii*, *Poa nemoralis*,...
- du moder : *Luzula luzuloides*, *Teucrium scorodonia*, *Holcus mollis*, *Hypericum pulchrum*,...
- du mor : *Vaccinium myrtillus*, *Deschampsia flexuosa*, *Calluna vulgaris*, *Galium saxatile*,...
- des sols frais légers : *Oxalis acetosella*, *Athyrium filix-femina*, *Dryopteris carthusiana*,...
- des sols frais compacts (énantiohydrie plus ou moins accusée) : *Deschampsia cespitosa*, *Molinia caerulea*, *Succisa pratensis*, *Carex sylvatica*, *C. glauca*, *Ajuga reptans*,...
- des sols humides : *Filipendula ulmaria*, *Angelica sylvestris*, *Lysimachia vulgaris*,...

(2) Ou mieux écosociologiques; la notion de « groupes écologiques », ensembles d'espèces végétales tendant à se rassembler dans des conditions de milieu déterminées, principalement à cause d'une origine phytogéographique commune qui a marqué leur appétance écologique, a été proposée en 1946 par DUVIGNEAUD (inspiré par DU RIETZ 1931 et MEUSEL 1935), et appliquée par celui-ci à l'étude phytosociologique des savanes du Bas-Congo (DUVIGNEAUD 1949). La notion a été reprise, dans la suite, avec des interprétations plus ou moins fluctuantes, par ELLENBERG 1950, POORE 1954, SCAMONI 1955, DUCHAUFOUR 1957, GOUNOT 1961, LE HOUEROU 1961, etc., et tend, aujourd'hui, à se généraliser.

3. — L'ensemble des associations stationnelles conditionnées par le microclimat, la pétrographie, le régime de l'eau, la richesse du sol, l'action humaine, etc., constituant la mosaïque forestière épanouie sous un climat régional déterminé, forme ainsi l'association régionale.

On a choisi, chevauchant les quelques associations régionales susmentionnées, une gamme de stations présentant les roches-mères et les sols les plus variés, permettant ainsi l'étude d'une série de phytocénoses qui, sur la base de la superposition des groupes écologiques indicateurs de leur strate au sol, vont de la plus riche à la plus pauvre et de la plus sèche à la plus humide.

La figure 1 montre la localisation des 19 sites choisis au sein des différents territoires écologiques de Haute Belgique. De ces 19 sites, 14 ont été retenus dans cette étude préliminaire. Il s'agit des 2 sites principaux :

Virelles,  
Ferage I,

et de 12 sites annexes :

Ave-et-Auffe,  
Wavreille-Bure,  
Conneux I,  
Mont-Gauthier,  
Conneux II,  
Ferage II,  
Villers-sur-Lesse,  
Ferage III,  
Graide I et II,  
Vonêche,  
Halma.

4. — La richesse en éléments minéraux nutritifs de chaque site doit, en principe, se refléter dans la composition floristique des strates et dans les groupes écosociologiques qui les constituent. Mais, dans l'état actuel de nos connaissances (DUVIGNEAUD et DENAEYER-DE SMET 1962, 1964, 1969 inédit), ce problème biogéochimique présente encore beaucoup d'aspect empiriques et spéculatifs; ce pourquoi nous avons cherché, dans la présente étude, à préciser l'importance indicatrice de la strate au sol de la forêt par la connaissance objective de l'apport possible du sol correspondant en éléments biogènes (K, Ca, Mg, N et accessoirement en P); nous avons ainsi abordé l'étude de l'édaphotope au point de vue de sa composition chimique et de ses réserves en éléments biogènes (éléments échangeables, éléments totaux).

Ceci nous a amené à établir des quantités totales à l'ha; nous avons considéré le sol à l'exclusion de la roche-mère bien que celle-ci constitue parfois le principal réservoir de l'écosystème en éléments minéraux. Il s'agit là de valeurs qu'on tend parfois à négliger mais dont on ne peut se passer dans l'étude de l'écosystème.

Dans ce qui suit, nous décrirons d'abord brièvement la végétation et les sols des écosystèmes considérés; nous donnerons ensuite un aperçu des rapports entre la végétation et le sol en ce qui concerne les quantités totales d'éléments échangeables et totaux contenus dans celui-ci.

## II. ECOSYSTEMES FORESTIERS CHOISIS POUR LES ETUDES ECOLOGIQUES

Comme dit ci-dessus, les écosystèmes choisis occupent les nœuds d'un réseau établi dans un double gradient de richesse et de degré d'humidité du sol.

Le classement que nous en donnons tient compte nécessairement des associations régionales; les associations stationnelles (écosystèmes) se succèdent cependant, autant que possible, de la plus riche à la plus pauvre.

Dans l'esprit de ce travail, les associations régionales 4 et 5 de la figure 2 (Famenne proprement dite et Région famennienne calcaire) sont intégrées dans l'association régionale de la Famenne. Toutefois, comme la partie de la Famenne située à l'ouest de la Meuse est plus atlantique que celle située à l'est, il y a lieu de distinguer deux associations régionales correspondant à ces zones.

En fait, les deux associations régionales ainsi définies (ouest et est-famennienne) englobent chacune trois sous-régions (territoires écologiques) à climat légèrement distinct et que l'on peut séparer, en gros, par la géologie et les sols, il s'agit de :

- la Haute Famenne (zone de transition entre Condroz et Basse Famenne),
- la Basse Famenne (dépression schisteuse de la plaine famennienne,
- la Calestienne (bande de calcaires compacts).

La nomenclature provisoire employée pour les associations régionales et stationnelles est inspirée de CLEMENTS (1916). L'association régionale forestière est désignée par *hylum*, l'association stationnelle, qui correspond à l'écosystème, par le suffixe *osum* placé à la suite des espèces caractéristiques des groupes écologiques dominants.

A. Association régionale des forêts de *Quercus* et *Carpinus* de la Famenne occidentale, souvent mêlés, sur sols riches, de *Fagus*, *Acer*, *Tilia* et *Fraxinus*.

(*Quercus robur-petraea hylum mixtum occidento-famennienne*).

1. Virelles (Virelles I comparé à Virelles II, III, IV et V) :

Localisation : Bois de Blaimont.

Site : Plateau horizontal dominant la plaine famennienne.

Commune : Virelles.

Altitude : 245 m.

CARTE DES ASSOCIATIONS FORESTIERES REGIONALES.

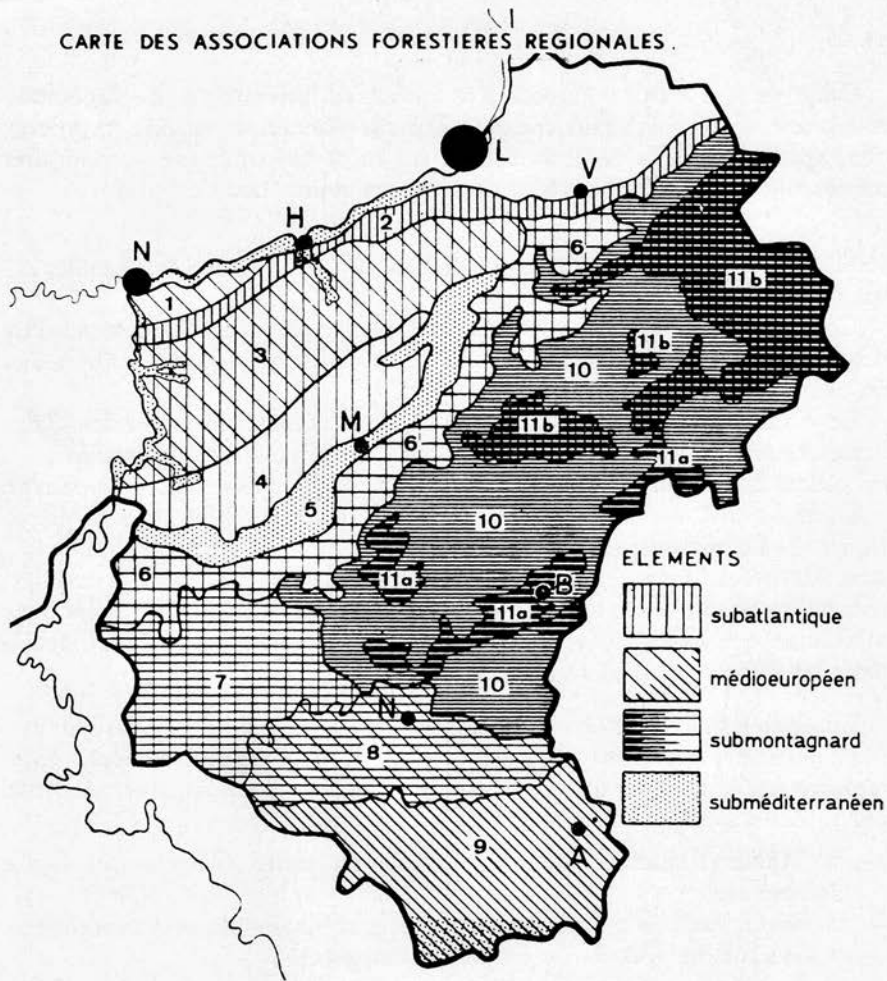


Fig. 2. — Carte des associations forestières régionales du Sud-Est de la Belgique. (Carte et légende provisoires élaborées par les membres du C. N. E. G., sous la direction du Prof. P. DUVIGNEAUD et de M. TANGHE, à la demande du Groupe EQUERRE et publié par celui-ci en 1963 dans le « Programme de développement et d'aménagement du Sud-Est »). Echelle : 1/1.200.000°.

1. Pays meusien : Chênaie ou Hêtraie-Chênaie.
2. Ardenne condrusienne et contreforts de l'Ardenne (Verviers, Eupen) : Chênaie à bouleau à caractère subatlantique.
3. Condroz : Chênaie-Frênaie à coudrier à caractère médioeuropéen.
4. Famenne proprement dite : Chênaie à charme famennienne à caractère subatlantique.
5. Région famennienne calcaire (Calestienne) : forêt mélangée riche en hêtre à caractère subméditerranéen.
6. Ardenne atlantique : Hêtraie-Chênaie à charme subatlantique, submontagnarde.
7. Ardenne occidentale : Hêtraie-Chênaie à houx submontagnarde, subatlantique.
8. Ardenne méridionale : Hêtraie submontagnarde-médioeuropéenne, relativement riche en charme.
9. Lorraine belge : Hêtraie-Chênaie à charme médio-européenne.
10. Lorraine centre-orientale : Hêtraie submontagnarde.
11. Haute Ardenne :
  - a) Hêtraie montagnarde; landes et tourbières à caractère peu océanique.
  - b) Hêtraie montagnarde subatlantique; landes et tourbières à caractère nettement océanique.



Territoire écologique : Calestienne.

Géologie : Calcaire compact du Frasnien (Fr 10), Dévonien supérieur.

Le bois de Blaimont est formé d'une jeune futaie mélangée provenant de la reconversion d'un taillis simple sous futaie. Cette jeune futaie est constituée de baliveaux, de perches sur cépées et d'arbres de divers âges s'étagant entre 8 et 23 m de hauteur.

L'action humaine s'est inscrite de façon plus ou moins intense dans les sols du plateau forestier de Blaimont (FROMENT et TANGHE 1967). C'est ainsi que certaines parties du plateau furent épierrées assez profondément et livrées à la culture périodique après essartage tandis que d'autres ne furent épierrées que très superficiellement. Enfin, le sol de toute la partie occidentale du plateau ne semble pas avoir subi d'influence anthropique.

L'épierrage a eu pour effet d'accélérer artificiellement la pédogenèse de ces sols superficiels sur roche-mère de calcaire compact (rendzine); l'exportation massive de cailloux a ainsi amené localement la genèse d'un sol se rapprochant du type « sol brun forestier calcimorphe ».

A chaque fluctuation importante des caractéristiques édaphiques correspond une phytocénose déterminée. Dans chacune de celles-ci, une parcelle représentative, suffisamment étendue (~ 50 a) a été choisie délimitée, inventoriée et étudiée.

Une de ces parcelles (Virelles I) a été clôturée et réservée pour le programme maximum du C. N. E. G. Elle enclot une Chênaie-Charmaie riche en hêtres, établie sur sol légèrement épierré en surface. C'est cette parcelle que nous avons plus particulièrement étudiée dans le présent travail.

Il est utile cependant de placer cette parcelle dans le contexte forestier du plateau de Blaimont, dont on peut classer la végétation forestière, en fonction du degré d'épierrage, de la manière suivante :

A) Chênaie-Hêtraie-Charmaie, établie sur sol calcaire superficiel, plus ou moins riche en espèces du mull calcique (*Mercurialis perennis*) et en géophytes bulbeuses (*Narcissus pseudonarcissus* et *Scilla bifolia*) :

1) Sol non épierré :

- a) facies à dominance de *Fagus* (Virelles III),
- b) facies riche en *Tilia*, *Acer* et *Fraxinus* (Virelles IV).

2) Sol ayant subi un épierrage peu important :

Chênaie-Charmaie-Hêtraie à flore du mull calcique mais pauvre en géophytes bulbeuses (Virelles I).

B) Chênaie-Charmaie sur sol brun calcimorphe, plus ou moins profondément épierré, à espèces du mull calcique rares; absence de géophytes bulbeuses (*Narcissus pseudonarcissus* et *Scilla bifolia*) :

- 1) Chênaie-Charmaie sur sol épierré de façon intermédiaire entre Virelles I et Virelles V (= Virelles II),
- 2) Chênaie secondaire riche en *Fraxinus*, *Betula* et *Populus tremula*, sur sol profondément épierré (Virelles V).

En gros, la végétation forestière du plateau de Virelles est partagée entre deux écosystèmes (A et B); Virelles I qui est la parcelle considérée dans ce travail, appartient au premier d'entre eux.

Nous croyons utile de décrire ci-dessous les différentes phytocénoses dans la séquence reconnue par FROMENT et TANGHE.

#### Virelles III et IV :

Hêtraie-Charmaie mélangée ouest-famennienne sur calcaire compact. (Fageto-Quercetum mixtum occidento-famennienne calciphytum mercurialo-primulosum veris).

Hêtraie-Charmaie-Chênaie riche en tilleuls (*Tilia platyphyllos*) accompagnés de *Acer campestre*, *A. pseudoplatanus*, *Fraxinus excelsior*, *Prunus avium* et *Ulmus glabra*. La strate arbustive est très dispersée et peu élevée (0,5 à 3 m). Elle est formée de semis de divers arbres et arbustes comme *Crataegus oxyacanthoides*, *Cornus sanguinea* et *Corylus avellana*. La strate au sol se caractérise par l'abondance des géophytes *Narcissus pseudonarcissus* et *Scilla bifolia* et par la dominance des groupes écologiques du mull forestier typique (*Lamium galeobdolon*, *Viola reichenbachiana*, etc. et les bryophytes *Eurhynchium striatum* et *Thuidium tamariscinum*) et du mull calcaïque (*Mercurialis perennis*, *Carex digitata*, *Primula veris*, *Orchis mascula*, *Thamnum alopecurum*, *Ctenidium molluscum*). Les groupes du mull à large amplitude (*Hedera helix*, *Anemone nemorosa*, etc.) et du mull actif (*Arum maculatum*, *Paris quadrifolia*, etc.) sont également bien représentés.

Le sol, du type rendzinoïde, est encombré de cailloux et de blocs calcaires jusqu'en surface. L'horizon humifère riche en matière organique (~ 13 %) est un mull calcaïque typique (C/N = 12,5, pH = 7,5). Il passe vers 20 à 30 cm de profondeur à la zone d'altération de la roche-mère à argile brun vif empâtant les blocs calcaires (fig. 3, profil I).

#### Virelles I :

Chênaie-Charmaie ouest-famennienne sur calcaire compact. (Querceto-mixtum occidento-famennienne calciphytum mercurialo-primulosum veris).

Chênaie-Charmaie mêlée de *Fagus sylvatica*, *Acer campestre* et *Prunus avium*. Les géophytes *Narcissus pseudonarcissus* et *Scilla bifolia* ne se rencontrent qu'en petites plages très localisées du fait de l'épierrage superficiel. Les groupes écologiques sont les mêmes que pour les sols intacts mais le groupe du mull acide est abondant (*Potentilla sterilis*, *Luzula pilosa*,...).

Le sol, faiblement influencé par l'action humaine, a subi un léger épierreage en surface et a probablement été essarté jadis sporadiquement (fig. 3, profil II). Une légère acidification se marque parfois en surface (pH = 6,4 à 7,4) tandis que le rapport carbone/ azote est un peu plus élevé que dans les sols intacts (C/N = 13,3).

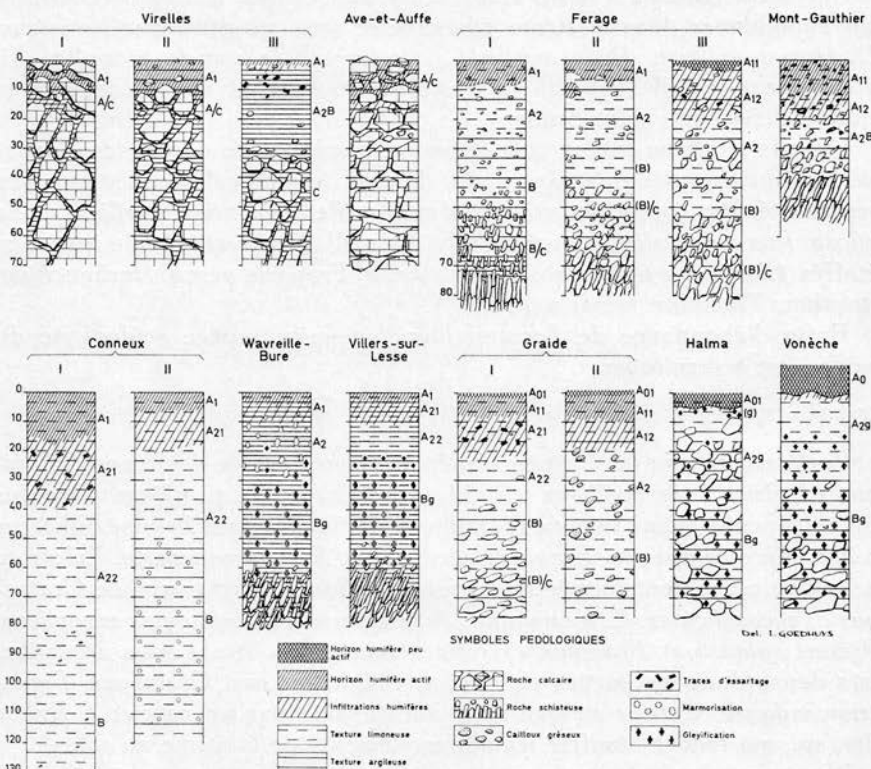


Fig. 3. — Profil des sols des différents écosystèmes forestiers étudiés de Haute Belgique.

Les teneurs en éléments biogènes échangeables et totaux sont données ci-dessous :

Horizon	Epaisseur (cm)	Ca (3) Mg K échangeable (méq/100 g)			Ca Mg K N total (%)			
		Ca (3)	Mg	K	Ca	Mg	K	N
A <sub>1</sub>	10	(50)	1,51	0,35	2,80	0,56	0,94	0,53
A/C	40	(50)	0,40	0,25	16,0	0,40	2,90	0,15

(3) Le Ca échangeable comprend en fait une partie non échangeable solubilisé par le liquide d'extraction employé (Acétate d' $\text{NH}_4$  à pH 7).

Les 2 écosystèmes suivants ont été définis dans la partie du plateau ayant subi un épierrage assez important (Virelles II) et très important (Virelles V).

#### Virelles II :

Chênaie-Charmaie à taillis assez dense de *Corylus*; caractérisée surtout par l'abondance dans la strate arbustive et sous-arbustive de *Crataegus*, *Ligustrum vulgare*, *Rosa arvensis*,... indiquant la nature pionnière du groupement installé sur sol moyennement épierré et soumis jadis à la culture périodique après brûlis.

Dans la strate au sol, on note l'absence complète des géophytes *Narcissus pseudonarcissus* et *Scilla bifolia*; de plus, le mull calcique est très peu représenté. Par contre, le groupe du mull acide (*Potentilla sterilis*, *Luzula pilosa*, *Poa nemoralis*) et surtout celui du mull à large amplitude sont bien étoffés (*Anemone nemorosa*, *Hedera helix*, *Fragaria vesca*, *Eurhynchium striatum*, *Thuidium tamariscinum*,...).

Enfin, l'abondance de *Lonicera periclymenum*, espèce acidophyte du moder, est à remarquer.

#### Virelles V :

Forêt secondaire de Chênes (*Quercus robur*), mêlée de frênes (*Fraxinus excelsior*), de bouleaux (*Betula pendula*) et de peupliers (*Populus tremula*); cette futaie domine un taillis élevé de *Carpinus betulus*, *Quercus robur*, *Acer campestre*, *Fraxinus excelsior* et *Sorbus aucuparia*. La strate arbustive est surtout formée de *Corylus avellana*, accompagné de *Crataegus oxyacanthoides*, *C. monogyna*, *Acer campestre*, *Euonymus europaeus*, *Prunus spinosa* et *Fraxinus excelsior* (recrû). La strate sous arbustive, très dense dans les parties clairières, comporte aussi *Crataegus*, *Ligustrum vulgare*, *Cornus sanguinea* et est envahie par un roncier à *Rubus* div. sp., qui tend à étouffer les autres éléments de la strate au sol.

Le groupe écologique du mull calcique est absent et celui du mull typique réduit. Par contre, le groupe du mull acide (*Luzula pilosa*, *Potentilla sterilis*, *Poa nemoralis*), les acidophytes à large amplitude (*Lonicera periclymenum*), de même que les espèces des sols compacts, sont bien représentées.

Le sol a subi un épierrage en règle et a été mis en culture après essartage comme en témoigne encore le billonnage régulier de sa surface et les nombreuses traces de brûlis dans le profil. Le sol est formé d'une couche de 30 à 40 cm de terre fine, pratiquement dépourvue de cailloux, à texture argileuse (argile = 54 %), parfois nettement acidifiée (pH varie de 5 à 6,5) (fig. 3, profil III).

B. Association régionale des forêts de *Quercus* et *Carpinus* de la Famenne orientale, souvent mêlée, sur sols riches, de *Fagus*, *Acer*, *Tilia* et *Fraxinus*.

(*Quercus robur*-*petraea hyliaum mixtum oriento-famennense*).

## 2. Ave-et-Auffe :

Chênaie-Hêtraie mélangée est-famennienne sur calcaire compact.  
(*Fageto-Quercetum mixtum oriento-famenniense calciphytum mercurialo-primulosum veris*).

Localisation : Bois Niau.

Site : Plateau horizontal.

Commune : Ave-et-Auffe.

Altitude : 275 m.

Territoire écologique : Calestienne.

Géologie : Calcaires stratifiés massifs et noduleux de l'étage frasnien du Dévonien supérieur (FR 10).

Jeune futaie de reconversion culminant à 15 m, à base de chênes (*Quercus robur*, *Q. petraea* et hybrides), mêlée de hêtres (*Fagus sylvatica*), de tilleuls (*Tilia platyphyllos*), de frênes (*Fraxinus excelsior*), d'érables (*Acer campestre*, *A. pseudoplatanus*) et de *Sorbus aria*.

Le taillis dense (4 à 8 m) est constitué de *Carpinus betulus*, de *Acer campestre*, de *Cornus mas* et de *Sorbus torminalis*.

La phase vernale de la strate herbacée est formée de *Narcissus pseudonarcissus* dominant, accompagné d'*Anemone nemorosa*, *Orchis mascula* et *Primula veris*. La strate estivale est composée d'espèces du mull calcaïque (*Mercurialis perennis*, *Polygonatum odoratum*, *Carex digitata*) et d'espèces du mull forestier typique peu abondantes (*Viola reichenbachiana*, *Polygonatum multiflorum*, *Campanula trachelium* et *Lamium galeobdolon*).

La strate muscinale est riche et abondante; des espèces calcolithophytes, avec dominance de *Ctenidium molluscum*, couvrent les pierres calcaires de tapis étendus, auxquels se mêlent des touffes d'espèces plus directement liées à la terre argileuse entre les pierres : *Eurhynchium striatum*, *E. swartzii*, *Thuidium tamariscinum*,...

Le sol est très superficiel, à profil A/C, avec des cailloux et blocs calcaires jusqu'en surface. Le pH de l'horizon humifère superficiel est de 6,8.

Les teneurs en éléments échangeables et totaux sont données ci-dessous :

Horizon	Épaisseur (cm)	Ca	Mg	K	Ca	Mg	K	N
		échangeable (mécq/100 g)			total (%)			
A/C	20	(47)	—	0,66	1,59	0,25	1,79	0,55

## 3. Wavreille-Bure :

Chênaie-Frênaie mélangée famennienne sur argile riche, pseudogleyifié.  
(*Querceto-Fraxinetum famenniense argilophytum ornithogalo-geosum rivalis*).

Localisation : Bois de Wève.

Site : Dépression schisteuse, pente douce (Ouest).

Communes : Wavreille et Bure.

Altitude :  $\pm$  255 m.

Territoire écologique : Terroir intégré à la Calestienne mais à rattacher à la Basse Famenne.

Géologie : Schistes et calcaires de Couvin (Cob) de l'étage couvinien du Dévonien moyen.

Futaie de chênes (*Quercus robur*), d'un âge moyen de 150 ans, dominant un taillis de coudriers (*Corylus avellana*) et de charmes (*Carpinus betulus*) de 22 ans. Le recrû de frênes (*Fraxinus excelsior*) est important et indique que le type forestier est en réalité une Chênaie-Frênaie.

La strate au sol, dense et drue, est constituée par un mélange des groupes écologiques indiquant l'humidité, la compacité et la richesse du substrat. En fait, une microtopographie ondulante conditionne un tapis végétal mosaïqué : les légères surélévations cependant très fraîches, portent un mélange de sarcogéophytes : *Ornithogalum pyrenaicum*, *Narcissus pseudonarcissus*, *Allium ursinum*, *Anemone nemorosa*, tandis que les légères dépressions très humides sont occupées par des populations denses de *Geum rivale*; partout, en quantités pour ou moins grandes, se mêlent en plus :

- des espèces du groupe du mull actif : *Ranunculus ficaria*, *Primula elatior*, *Paris quadrifolia*, *Circaea lutetiana*, *Stachys sylvatica*.
- des espèces du groupe du mull typique : *Lamium galeobdolon*, *Viola reichenbachiana*, *Polygonatum multiflorum*, *Pulmonaria officinalis*, etc.
- des Bryophytes du mull et de la fraîcheur : *Eurhynchium swartzii*, *E. praelongum*, *Fissidens taxifolius*, *Plagiochila asplenioides*, *Thuidium tamariscinum*, etc.

L'action de la topographie peut être plus importante : dans les dépressions plus fortes et très humides, l'association sort de son cadre, et sous la futaie de *Quercus robur*, se développe des populations opulentes d'*Alnus glutinosa* et *Fraxinus excelsior* qui surmontent une strate au sol dense et haute l'été de *Filipendula ulmaria*; de telles dépressions peuvent aussi être marquées par un bas taillis de *Prunus spinosa*. Dans les surélévations plus marquées, à sol plus sec, encore que frais, on passe à une Chênaie d'un type plus mélangé : à *Quercus robur* et *Fraxinus excelsior* se mêlent *Prunus avium* et *Acer campestre*; *Geum rivale* disparaît de la strate au sol, alors que *Allium ursinum* y atteint sa valeur accumulative maximale; *Hedera helix* y développe des tapis sempervirents

souvent très denses et *Thamnium alopecurum* devient abondant dans la strate muscinale.

Une telle fluctuation entre plusieurs associations stationnelles dans ce qui paraît, à première vue, un écosystème homogène est fréquente, et nécessite une étude approfondie, notamment en ce qui concerne les transferts d'une association à l'autre.

Le sol est profond de 55 cm en moyenne et repose sur des schistes redressés bleuâtres du Couvinien supérieur contenant des nodules calcaires. Il est pseudogleyifié à partir de 30 cm de profondeur : sa texture argileuse très compacte (près de 60 % d'argile et 30 % de limon fin) retient une nappe perchée pendant une grande partie de l'année : l'hydratation décroît avec la profondeur, le pH est de 6,2 dans l'horizon A<sub>1</sub> et atteint près de 7 au niveau de la zone de décomposition de la roche-mère.

Les teneurs en éléments échangeables et totaux sont données ci-dessous (voir profil fig. 3) :

Horizon	Épaisseur (cm)	Ca Mg K échangeable (méq/100 g)			Ca Mg K N total (%)			
		Ca	Mg	K	Ca	Mg	K	N
A <sub>1</sub>	3	18,1	3,24	1,00	0,75	0,69	2,47	0,89
A <sub>2</sub>	20	9,6	1,21	0,36	0,42	0,78	2,82	0,32
Bg	30	12,5	1,44	0,25	0,65	0,81	3,08	0,10

Le bois de Wève, unique en son genre dans la région considérée par la dominance de deux espèces très rares : *Ornithogalum pyrenaicum* et *Geum rivale*, est l'homologue « riche » de la Chênaie famennienne « pauvre » caractéristique de toute la plaine famennienne, sur sols argileux pseudogleyifiés sur roche-mère schisteuse (9 Villers).

#### 4. Ferage I : (voir fig. 4, bisect phytogéochimique).

Chênaie à *Corylus* de Haute Famenne, hygrophYTE, sur limon frais, à mull actif.

(*Querceto-Coryletum alto-famennense hygrophytum ficario-oxalidosum*).

Localisation : Bois dit taille Cathelène.

Site : Plateau subhorizontal en éperon, dominant le ruisseau de Veaulx, au sud.

Commune : Mesnil - Eglise.

Altitude : ± 240 m.

Territoire écologique : Haute Famenne.

Géologie : Schistes noduleux calcarifères de l'assise de Souverain-Pré (Fa1d), Dévonien supérieur, Famennien inférieur.

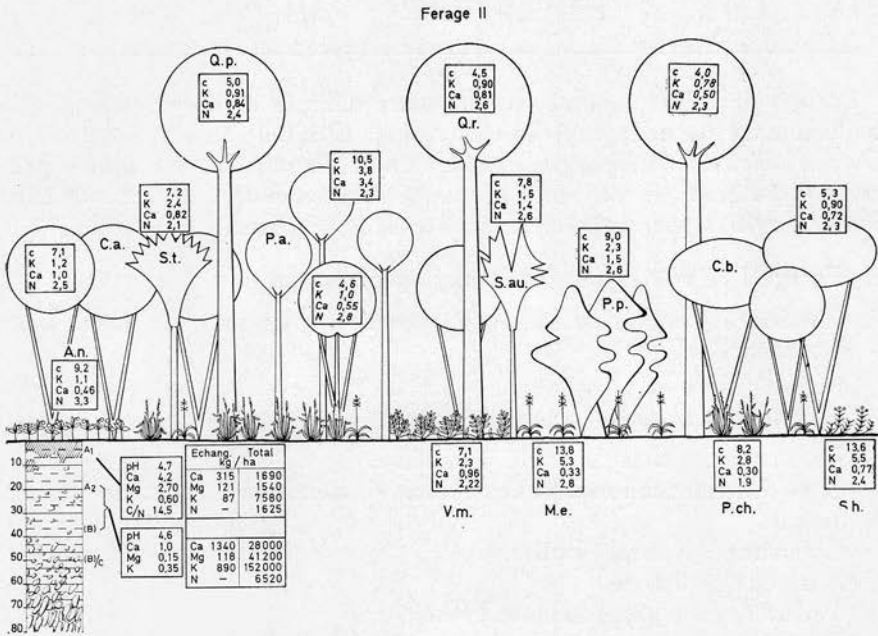
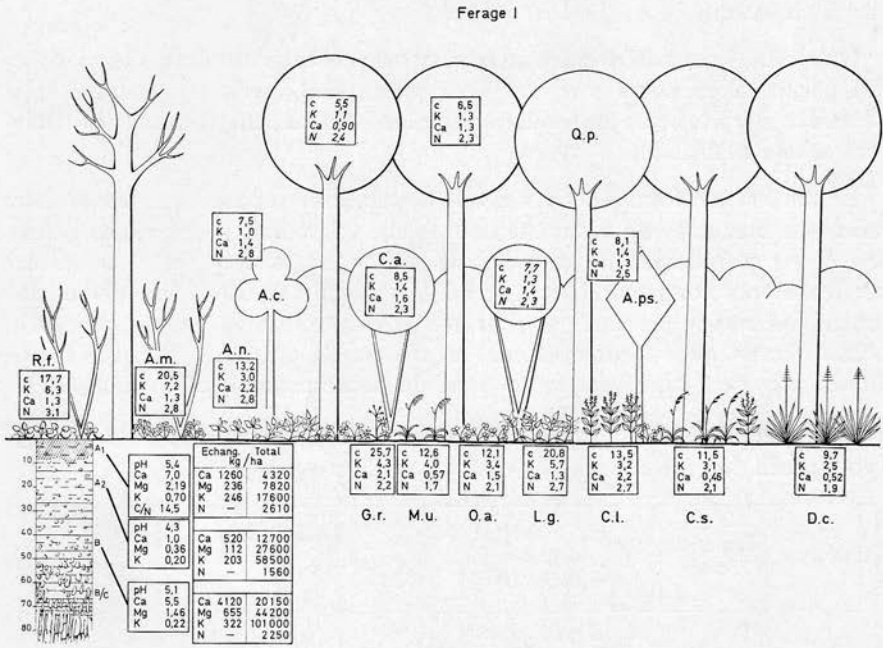
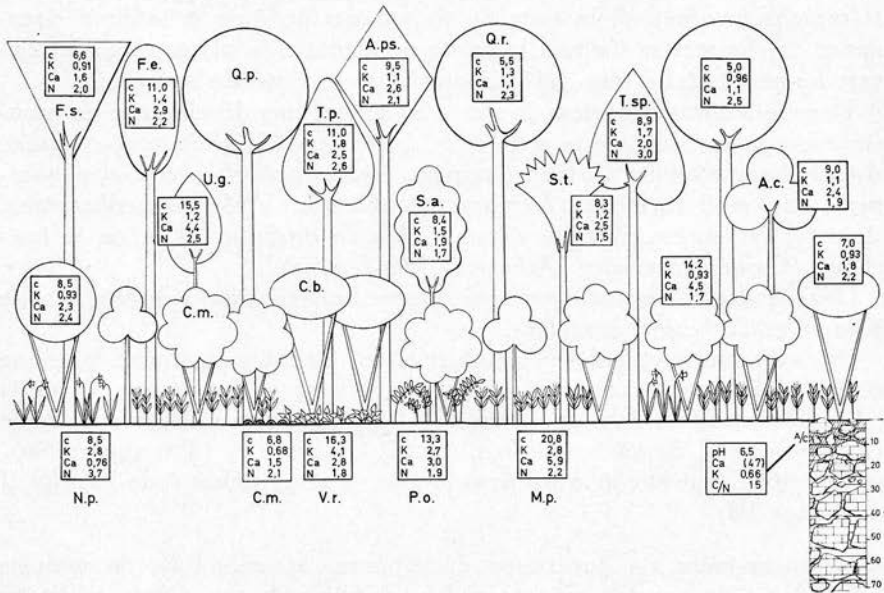


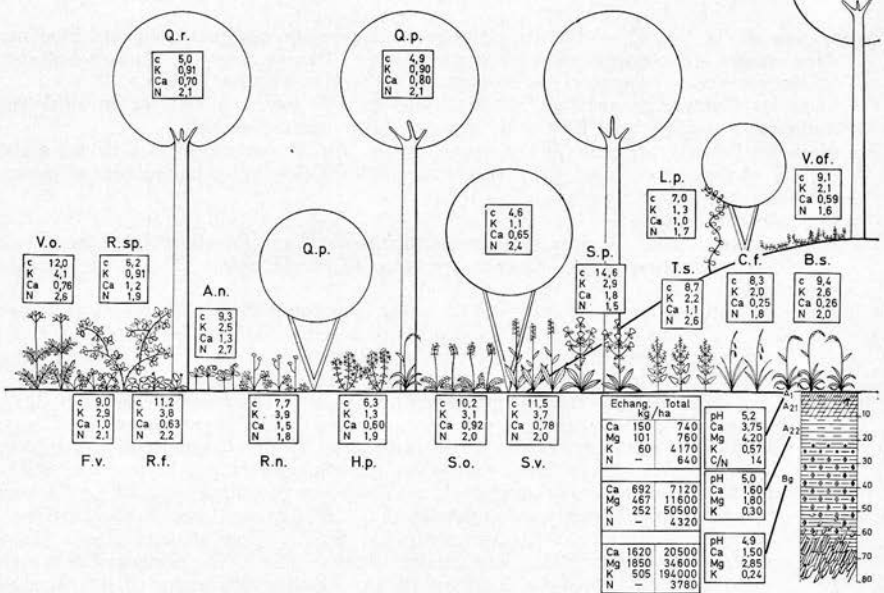
Fig. 4.



Ave-et-Auffe



Villers-sur-Lesse



(Voir légende ci-après)

Belle futaie de chênes où domine *Quercus petraea*, de 24 à 30 m de hauteur, sur taillis dense de coudriers (*Corylus avellana*) ou de charmes (*Carpinus betulus*). A la suite du traitement forestier, le taillis à dominance de charmes se limite à la partie occidentale du plateau où son couvert fermé empêche tout développement de la flore du sous-bois.

Dans le faciès à coudriers, la strate au sol est bien développée; les groupes écologiques dominants sont ceux du mull actif (*Ranunculus ficaria*, *Adoxa moschatellina*, *Circaea lutetiana*, *Paris quadrifolia* et *Geum urbanum*), du mull forestier (*Lamium galeobdolon*, *Viola reichenbachiana*, *Anemone nemorosa*, *Milium effusum*, *Melica uniflora*,...) et de la fraîcheur (*Oxalis acetosella*, *Athyrium filix-femina*).

Dans la strate muscinale, on note surtout *Eurhynchium swartzii*, *Mnium hornum* et *Catharinea undulata*.

Une certaine fluctuation peu s'observer en fonction du régime hydrique et des modifications chimiques de la roche-mère. C'est ainsi que sur la crête du plateau on note une zone à roche-mère moins riche, à mull acide (*Poa nemoralis*, *Stellaria holostea*, *Viola riviniana*,...) (TANGHE et FROMENT 1968), qui annonce les associations « moins riches » de Ferage II et Ferage III.

La roche-mère est constituée de schistes, accompagnés de nodules calcaires et de passées gréseuses. Le sol très riche en débris schisteux altérés, est moyennement profond et du type sol brun légèrement lessivé.

Explication de la fig. 4. — Bisects phytogéochimiques de quelques éléments biogènes dans quatre des écosystèmes forestiers étudiés : Ferage I et II, Ave-et-Auffe et Villers-sur-Lesse (d'après DUVIGNEAUD et DENAEYER-DESMET 1964).

Dans les plantes, les analyses suivantes ont été effectuées en 1962 et en 1963 (en italiques) : cendres (c), K, Ca, N (en % de la matière sèche).

Dans les horizons de sols : pH, teneurs en Ca, Mg, K (en méq/100 g de sol séché à l'air) et rapport carbone/azote; quantités totales d'éléments échangeables et totaux calculées à l'hectare (kg/ha).

Légende des espèces :

Strate arborescente : A. ps. : *Acer pseudoplatanus*; F. e. : *Fraxinus excelsior*; F. s. : *Fagus sylvatica*; Q. p. : *Quercus petraea*; Q. r. : *Q. robur*; T. p. : *Tilia platyphyllos*; T. sp. : *Tilia* sp.

Strate arbustive et sous-arbustive : A. c. : *Acer campestre*; A. ps. : *A. pseudoplatanus*; C. a. : *Corylus avellana*; C. b. : *Carpinus betulus*; C. m. : *Cornus mas*; Q. p. : *Quercus petraea*; P. a. : *Prunus avium*; P. p. : *P. padus*; S. a. : *Sorbus aria*; S. au. : *S. aucuparia*; S. t. : *S. torminalis*; U. g. : *Ulmus glabra*.

Strate au sol : A. m. : *Adoxa moschatellina*; A. n. : *Anemone nemorosa*; B. s. : *Brachypodium sylvaticum*; C. f. : *Carex flacca*; C. l. : *Circaea lutetiana*; C. m. : *Ctenidium molluscum*; C. s. : *Carex sylvatica*; D. c. : *Deschampsia cespitosa*; F. v. : *Fragaria vesca*; G. r. : *Geranium robertianum*; H. p. : *Hypericum pulchrum*; L. g. : *Lamium galeobdolon*; L. p. : *Lonicera periclymenum*; M. e. : *Milium effusum*; M. p. : *Mercurialis perennis*; M. u. : *Melica uniflora*; N. p. : *Narcissus pseudonarcissus*; O. a. : *Oxalis acetosella*; P. ch. : *Poa chaixii*; P. o. : *Polygonatum odoratum*; R. f. : *Ranunculus ficaria*; R. n. : *R. nemorosus*; R. sp. : *Rubus* sp.; S. h. : *Stellaria holostea*; S. o. : *Stachys officinalis*; S. p. : *Succisa pratensis*; S. v. : *Solidago virgaurea*; T. s. : *Teucrium scorodonia*; V. m. : *Vinca minor*; V. r. : *Viola reichenbachiana*; V. o. : *Valeriana officinalis*; V. of. : *Vernonia officinalis*.

Très localement, lorsque le drainage est contrarié, on note une gleyification de l'horizon inférieur.

L'horizon humifère grumeleux, d'une dizaine de centimètres (C/N = 14,5; pH = 5,4), surmonte un A<sub>2</sub> limoneux brun jaunâtre et un B textural enrichi en argile (35 %), à charge caillouteuse importante augmentant avec la profondeur.

Les teneurs en éléments échangeables et totaux sont données ci-dessous :

Horizon	Épaisseur (cm)	Ca Mg K			Ca	Mg	K	N
		échangeable (méq/100 g)						
A <sub>1</sub>	10	7,00	2,19	0,70	0,48	0,87	1,96	0,29
A <sub>2</sub>	20	1,00	0,36	0,20	0,49	1,06	2,25	0,06
B	25	5,50	1,46	0,22	0,54	1,18	2,69	0,06

Cette forêt « riche » fait partie d'un complexe de Chênaies à *Corylus* où le sol passe progressivement du mull au moder (voir Ferage II et III), ce qui entraîne une végétation mosaïquée, formant un complexe fluctuant d'associations stationnelles.

##### 5. Conneux I :

Chênaie à *Corylus* de Haute Famenne, hygrophYTE, sur limon frais à mull.

(*Querceto-Coryletum alto-famenniense hygrophytum galeobdolo-oxalidosum*).

Localisation : Bois de Haute Taille.

Site : Plateau horizontal, en bordure de la route Conneux - Custinne.

Commune : Conneux.

Altitude : 300 m.

Territoire écologique : A la limite du Condroz et de Haute Famenne, à rattacher à cette dernière.

Géologie : Plaquage épais de limon quaternaire.

Belle futaie de chênes (*Quercus robur*) de près de 23 m de hauteur en moyenne, mêlée de *Fagus sylvatica*, *Betula pendula*, *Acer pseudoplatanus*. La strate arbustive, fermée, dense (taillis), est formée essentiellement de *Corylus avellana*.

Le groupe du mull forestier est surtout représenté par *Lamium galeobdolon* atteignant un recouvrement de 75 %; le groupe de la fraîcheur douce (espèces hygrophytes de sol léger, pas trop acide), *Oxalis acetosella*, *Athyrium filix-femina*, *Dryopteris carthusiana*, est codominant.

Sol brun acide, lessivé, profond, à horizon organo-minéral A<sub>1</sub> d'une vingtaine de cm d'épaisseur (mull forestier, C/N = 12,3), à texture limoneuse et structure grumeleuse. Il repose sur un horizon A<sub>2</sub> se défaisant en polyèdres anguleux (limons 68 %, argile 15 %) et passant vers 50 cm de profondeur à un B textural, limono-argileux, compact, avec des taches de marmorisation bien marquées (limons 37 %, argile 50 %).

Les teneurs en éléments échangeables et totaux sont données ci-dessous :

Horizon	Epaisseur (cm)	Ca Mg K échangeable (még/100 g)			Ca Mg K N total (%)			
		A <sub>11</sub>	5	3,30	1,72	0,84	0,47	0,27
A <sub>12</sub> } A <sub>2</sub> }	45	0,84	0,76	0,41	0,52	0,30	1,78	0,13
B	50	3,90	2,02	0,22	0,57	0,55	2,32	0,04

#### 6. Mont-Gauthier :

Chênaie à *Corylus* de Haute Famenne, mésophyte, sur limon, à mull-moder.

(*Querceto-Coryletum alto-famenniense pulmonario-melicosum uniflorae*).

Localisation : Bois d'Austrouffe.

Site : Plateau sub-horizontale.

Commune : Mont-Gauthier.

Altitude : ± 285 m.

Territoire écologique : Haute Famenne.

Géologie : Dévonien supérieur — Famennien inférieur (Fa1) : Schistes et psammites.

Chênaie pionnière peu élevée (± 17 m) de *Quercus petraea* à taillis dense de *Corylus avellana*, accompagné de *Carpinus betulus*, *Fraxinus excelsior*, *Frangula alnus* et de *Prunus spinosa*, *Crataegus*, *Mespilus*, etc. reliques d'un stade anthropique de fruticée.

Dans la strate au sol, on observe un mélange complexe de groupes écologiques divers. La flore du mull acide est importante avec *Poa nemoralis*, *P. chaixii*, *Stellaria holostea*, *Viola riviniana*, *Fragaria vesca*, *Scrophularia nodosa* et *Rhytidadelphus triquetrus*. Le mull à large amplitude est surtout représenté par *Anemone nemorosa*, le moder par *Holcus mollis*, *Teucrium scorodonia*, *Lonicera periclymenum* et le groupe des sols lourds par *Valeriana procurrens* et *Brachypodium sylvaticum*. A cela s'ajoute

un certain nombre d'espèces du mull typique : *Melica uniflora* (en plages souvent étendues), *Carex sylvatica*, *Galium mollugo* et, surtout, *Pulmonaria angustifolia*.

Par action humaine, cette forêt peut être transformée en Frênaie.

Le sol, du type sol brun forestier, est assez superficiel (roche-mère schisteuse, à plus ou moins 30 cm de profondeur), densément enraciné et finement grumeleux en surface. Le profil est encombré de débris de schistes altérés et a une texture limono-argilo-sableuse (limons : 41 %, argile 35 %, sables 24 %).

L'horizon  $A_1$  noirâtre, se scinde en  $A_{11}$  et  $A_{12}$  d'après l'enracinement et la structure; le  $A_{11}$  ainsi distingué correspondant, à peu de chose près, à l'horizon humifère ( $C/N = 15$ ,  $pH = 4,5$ ).

Un horizon  $A_2B$ , peu épais, brun clair, fait transition avec la roche-mère de schistes délités.

Les teneurs en éléments échangeables et totaux sont données ci-dessous :

Horizon	Épaisseur (cm)	Ca Mg K			Ca	Mg total	K	N
		échangeable (méq/100 g)						
$A_{11}$	5	7,14	1,10	0,95	0,40	0,61	2,00	0,56
$A_{12}$	15	2,14	0,70	0,35	0,41	0,85	2,42	0,43
$A_2B$	20	1,17	0,90	0,24	0,41	0,90	3,08	0,14

Cette forêt paraît convenir pour l'étude du cycle de Mn, vue la richesse assez grande du sol en cet élément. Les cendres des feuilles de la plupart des espèces analysées pour l'étude biogéochimique sont vertes, ce qui indique un cycle de Mn important.

## 7. Conneux II :

Chênaie à *Corylus* de Haute Famenne, hygrophYTE, sur limon frais, à moder.

(*Querceto-Coryletum alto-famennienne hygrophytum pterido-oxalidosum*).

Localisation : Bois de Haute Taille.

Site : Pente Ouest (10 %).

Commune : Conneux.

Altitude :  $\pm$  290 m.

Territoire écologique : A la limite du Condroz et de la Haute Famenne, à rattacher à cette dernière.

Géologie : Plaquage épais de limon quaternaire sur Famennien supérieur.

Site très apparenté à Conneux I et sur même roche-mère limoneuse. Futaie de *Quercus robur* allant jusqu'à 25 m de haut, sur taillis assez dense de coudriers (*Corylus avellana*, accompagné de *Carpinus betulus* et *Sambucus racemosa*). Dans la futaie, *Quercus* est accompagné de *Fagus sylvatica*, *Betula pendula* et plus rarement de *Acer pseudoplatanus*.

Une strate sous-arbustive à *Rubus* div. sp. est généralement très abondante.

Ce type forestier est souvent transformé par l'homme en Frênaie pure.

Le groupe du moder est surtout représenté par une strate herbacée supérieure à *Pteridium aquilinum* accompagné, dans la strate inférieure, de *Teucrium scorodonia*, *Holcus mollis*, *Polytrichum formosum*, etc. La fraîcheur du sol se traduit par l'abondance du groupe des hygrophytes avec *Oxalis acetosella*, *Athyrium filix-femina*, et *Dryopteris carthusiana*. On note, en outre, des représentants du mull acide : *Fragaria vesca*, *Stellaria holostea* et *Luzula pilosa*.

Sol limoneux profond ayant subi anciennement la pratique de l'essartage (A<sub>21</sub>) qui se marque par des traces de brûlis et un enrichissement en humus jusqu'à 35 cm de profondeur. Cet horizon surmonte une couche épaisse (A<sub>22</sub>) de limon ocre moucheté de taches plus claires (limons 65 à 70 %, argile 17 à 26 %), vers 1 m de profondeur, passage à un horizon plus rougeâtre d'une dizaine de centimètres qui fait transition avec l'horizon B limono-argileux, compact et à charge sableuse assez importante vers le bas ( $\pm 25$  %), allant au moins jusqu'à 1,50 m de profondeur.

Les teneurs en éléments échangeables et totaux sont données ci-dessous :

Horizon	Epaisseur (cm)	Ca Mg K échangeable (méq/100 g)			Ca Mg K N total (%)			
		Ca	Mg	K	Ca	Mg	K	N
A <sub>1</sub>	15	1,0	1,72	0,40	0,51	0,14	1,36	0,32
A <sub>2</sub>	100	0,65	0,16	0,20	0,34	0,34	1,62	0,04
B	40	2,50	2,02	0,22	0,43	1,01	2,38	0,02

8. Ferage II : (voir fig. 4, bisect phytogéochimique).

Chênaie à *Corylus* de Haute Famenne, mésophyte sur sol limono-argileux, à mull acide-moder.

(*Querceto-Coryletum alto-famennense stellario-miliosum*).

Localisation : Bwes del Priesse.

Site : Plateau sub-horizontale, marqué d'un vallon plus frais.

Commune : Mesnil - Eglise.

Altitude :  $\pm$  245 m.

Territoire écologique : Haute Famenne.

Géologie : Assise d'Esneux : schistes micacés verdâtres (Fa1), Dévonien supérieur, Famennien inférieur.

Futaie de chênes (*Quercus robur* et *Q. petraea*), atteignant 25 m de haut sur taillis bien fourni à base de *Corylus avellana* ou de *Carpinus betulus*, accompagné de *Prunus avium*, *P. spinosa*, *Crataegus monogyna*, *Sorbus aucuparia* et, localement, de *Prunus padus* signalant des endroits plus humides. Le hêtre (*Fagus sylvatica*) est également présent dans la strate arborescente.

Au sol, le groupe des espèces du mull à large amplitude est bien représenté par *Milium effusum* dominant et *Anemone nemorosa*, *Euphorbia amygdaloides*, *Vinca minor*, *Polygonatum multiflorum*, etc. Il est mêlé au groupe du mull acide, avec *Poa nemoralis*, *P. chaixii*, *Stellaria holostea* et *Viola riviniana*, et quelques espèces à l'état dispersé du groupe du moder telles que *Teucrium scorodonia*, *Lonicera periclymenum* et *Holcus mollis*. Cette présence d'espèces acidoclines s'accompagne de l'absence quasi totale de *Lamium galeobdolon* et de *Ranunculus ficaria* (différence avec la phytocénose de Ferage I); on note également, dans la strate muscinale, *Eurhynchium swartzii*, *Brachythecium rutabulum* et *Plagiothecium denticulatum*.

Le sol, du type brun acide, à texture limoneuse, moyennement profond, est établi sur roche-mère schisteuse. La décomposition de la litière est relativement bonne (mull acide); l'horizon humifère, peu développé ( $\sim$  5 cm) (C/N = 14,5, pH = 4,7), surmonte un horizon A<sub>2</sub> brun clair passant progressivement vers 40 cm à un B structural à charge importante de débris de schistes micacés verdâtres.

Les teneurs en éléments échangeables et totaux sont données ci-dessous :

Horizon	Épaisseur (cm)	Ca Mg K échangeable (méq/100 g)			Ca Mg K N total (%)			
		Ca	Mg	K	Ca	Mg	K	N
A <sub>1</sub>	5	4,2	2,70	0,60	0,45	0,41	2,02	0,50
A <sub>2</sub>	45	1,0	0,15	0,35	0,43	0,63	2,33	0,10
B								

9. Villers : (voir fig. 4, bisect phytogéochimique).

Chênaie famennienne à épineux sur argile pauvre, pseudogleyifiée.  
(*Querceto-Crataegetum famenniense argilophy-*  
*tum succiso-brachypodiosum sylvaticae*).

Localisation : Bois de Villers, à l'ouest du carrefour forestier en  
« étoile ».

Site : Dépression schisteuse de la Famenne, pente faible.

Commune : Villers-sur-Lesse.

Altitude :  $\pm$  160 m.

Territoire écologique : Basse Famenne.

Géologie : Assise de Senzeilles : schistes verdâtres (Fa1a), Dévonien  
supérieur, Famennien inférieur.

Chênaie famennienne typique à *Quercus robur*, *Q. petraea* et hybrides, peu productive, d'une vingtaine de mètres de hauteur, sur taillis de chênes assez dense et, à l'état dispersé, de *Crataegus*, *Betula pubescens*, *Cornus sanguinea* et *Prunus spinosa*. Cette dernière espèce constitue localement des fourrés denses et infranchissables, reliques d'une action anthropique récente.

Les groupes écosociologiques dominants sont ceux du mull acide avec *Potentilla sterilis*, *Viola riviniana*, *Rhytidiadelphus triquetrus* et du moder avec *Teucrium scorodonia*, *Lonicera periclymenum*, *Veronica officinalis*, *Hypericum pulchrum* et *Deschampsia flexuosa*. Ils sont accompagnés d'un groupe écologique traduisant la compacité argileuse fraîche, composé de *Succisa pratensis*, *Carex flacca*, *Cirsium palustre*, *Ranunculus nemorosus* ainsi que de *Valeriana officinalis* et *Ajuga reptans*. L'abondance de *Brachypodium sylvaticum*, espèce à tendances méditerranéennes, et la présence locale d'espèces du mull calcique comme *Primula veris* et *Orchis mascula* nous paraissent liées aux propriétés enantiohydriques des sols. On note encore l'abondance de représentants du groupe du mull à large amplitude comme *Anemone nemorosa*, *Fragaria vesca* et *Euphorbia amygdaloides*.

Le sol, très argileux, compact et à pseudogley, est relativement profond et provient de la décomposition des schistes famenniens. La surface du sol présente une ondulation régulière due aux billons d'essartage. L'humification et la minéralisation de la litière est rapide et l'horizon organominéral, peu marqué, a généralement 1 à 3 cm, parfois 5 cm d'épaisseur (crypto-mull); le rapport C/N est de 14 et le pH de 5,2. L'horizon A<sub>2</sub>, chargé de traces de brûlis à sa partie supérieure, surmonte un Bg gris bleuté, fortement gleyifié et très compact. L'analyse granulométrique indique que l'horizon profond est exclusivement constitué d'éléments fins : 62 % d'argile et 34 % de limon fin.



Les teneurs en éléments biogènes échangeables et totaux sont données ci-dessous :

Horizon	Épaisseur (cm)	Ca Mg K			Ca	Mg	K	N
		échangeable (még/100 g)						
A <sub>1</sub>	2	3,75	4,20	0,57	0,37	0,38	2,09	0,32
A <sub>2</sub>	18	1,60	1,80	0,30	0,33	0,54	2,34	0,20
B <sub>g</sub>	40	1,50	2,85	0,24	0,38	0,64	3,60	0,07

Une particularité de ce sol est la dominance de Mg, tant total qu'échangeable, sur Ca; le phénomène a d'ailleurs des répercussions biogéochimiques; les espèces de la strate au sol font dans leurs feuilles une consommation de luxe de Mg (étude non publiée de DUVIGNEAUD et DENAEYER-DE SMET).

La forêt de la dépression famennienne sur argile pauvre a un homologue sur argile riche : la forêt 3 Wavreille-Bure, extrêmement localisée et caractérisée par sa flore spéciale et la beaucoup meilleure productivité de ses chênes. Comme la forêt « riche » la forêt « pauvre » fluctue en fonction de la topographie. Le site choisi par nous se situe dans une dépression d'une catena de sols, qui ne comporte que 3 ondulations, mais qui est la seule vraie catena que nous connaissions dans la région, faisant penser à celles de l'Afrique tropicale; les longs maillons de la chaîne, dont 9 Villers caractérise le complexe illuvial, portent à leur sommet un complexe éluvial de chênaies sèches, acidifiées, à sol peu profond, où domine les groupes du moder et du moder-mor (*Deschampsia flexuosa* généralement dominant); les pentes (complexe colluvial) ont une végétation intermédiaire (simple différence dans la quantité relative des groupes écologiques).

#### 10. Ferage III :

Chênaie à *Corylus* de Haute Famenne, mésoxérophyte, sur sol limono-argileux sec, à mull acide-moder, anthropogène.

(*Querceto-Coryletum alto-famenniense* *poosum chaixii-nemoralis*).

Localisation : Bwes del Priesse.

Site : Plateau horizontal faisant suite vers le nord à Ferage II.

Commune : Mesnil-Eglise.

Altitude : 245 m.

Territoire écologique : Haute Famenne.

Géologie : Idem Ferage II.

Ce type forestier paraît résulter de celui de Ferage II par dégradation anthropique (coupes trop extensives, taillis à écorce, clairières à gibier, ...). Il s'agit d'une « forêt claire » peu élevée (15-20 m) de chênes (*Quercus petraea* et *Q. robur*) sur taillis peu dense de chênes, de coudriers (*Corylus avellana*), accompagné de *Sorbus aucuparia* et de *Prunus avium*.

La strate au sol est constituée surtout par les espèces du moder, principalement *Holcus mollis* indiquant les endroits perturbés par l'essartage, *Deschampsia flexuosa*, *Teucrium scorodonia*, *Anthoxanthum odoratum*, *Lonicera periclymenum*, *Melampyrum pratense* et *Pleurozium schreberi*. Le mull acide est représenté par *Viola riviniana*, *Stellaria holostea*, *Poa chaixii*, *P. nemoralis* et le mull à large amplitude par *Anemone nemorosa* abondant, *Fragaria vesca*, *Euphorbia amygdaloides*, etc. Dans la strate muscinale on note les espèces ubiquistes *Hypnum purum* et *Catharinea undulata*.

Le sol est du type brun acide, limono-argileux et moyennement profond. L'humus, un moder coprogène de 3 à 5 cm d'épaisseur, forme la partie supérieure ( $A_{11}$ ) de l'ancien horizon d'essartage ( $A_{12}$ ), brun foncé, allant jusqu'à une vingtaine de cm de profondeur ( $A_{11}$  : C/N = 14,2; pH = 5,2;  $A_{12}$  : C/N = 10,9; pH = 4,6). L'horizon  $A_2$ , brun clair, à charge caillouteuse assez importante, passe vers 50 cm, à un horizon B structural, fortement chargé de schistes micacés verdâtres et vers 60 cm de profondeur à la zone d'altération de la roche-mère.

Les teneurs en éléments échangeables et totaux sont données ci-dessous :

Horizon	Epaisseur (cm)	Ca Mg K échangeable (méq/100 g)			Ca Mg K N total (%)			
		Ca	Mg	K	Ca	Mg	K	N
$A_1$	15	3,6	0,52	0,90	0,36	0,49	2,28	0,46
$A_2$ } (B) }	35	0,3	0,17	0,25	0,43	0,56	2,49	0,10

C. Association régionale des Hêtraies-Chênaies de l'Ardenne occidentale. (*Fagus-Quercus hylum occidento-arduennense*).

#### 11. Graide I :

Hêtraie-Chênaie ardennaise riche à *Ilex* et *Vaccinium*, sur limon pauvre, à moder-mor.

(*Fageto-Quercetum occidento-arduennense ilico-vaccinosum*).

Localisation : Bois de Grainchy.

Site : Versant sud-ouest, pente moyenne (5 %).

Commune : Graide.

Altitude :  $\pm$  385 m.

Territoire écologique : Ardenne occidentale.

Géologie : Dépôt limoneux de pente, surmontant schistes et grès de l'étage gedinnien du Dévonien inférieur.

Belle futaie de hêtres (*Fagus sylvatica*) atteignant 28 m de hauteur mêlée de chênes sessiles (*Quercus petraea*). La strate arbustive est constituée surtout de fourrés de houx (*Ilex aquifolium*) (4) caractéristique des forêts de l'Ardenne occidentale; cette espèce forme des populations étendues et denses auxquelles l'action humaine ne permet pas de dépasser une hauteur de 2 à 4 m. A l'état dispersé on trouve le hêtre, chêne et sorbier (*Sorbus aucuparia*). Dans la strate sous-arbustive, on note des plages formées de trois espèces de ronce: *Rubus affinis*, *R. sprengelii* et *R. bellardii*. La flore au sol est très pauvre. Les groupes du moder et du mor sont dominants avec la canche flexueuse (*Deschampsia flexuosa*), la myrtille (*Vaccinium myrtillus*) et *Polytrichum formosum*. Ce type forestier correspond au *Luzulo-Fagetum Vaccinietosum* des phytosociologues.

Le sol brun acide, relativement profond, a une texture limoneuse et un drainage favorable (horizon (B) : argile 20 %, limons 58 %, sables 22 %).

Un humus brut, moder-mor ( $A_{01}$ ) de quelques cm, surmonte l'horizon d'essartage. A la partie supérieure de ce dernier s'est différencié, depuis la cessation de cette pratique, une couche plus foncée enrichie en matières humiques ( $A_{11}$  : C/N = 17,2; pH = 4,7).

Les teneurs en éléments échangeables et totaux sont données ci-dessous :

Horizon	Epaisseur (cm)	Ca Mg K			Ca	Mg	K	N
		échangeable (méq/100 g)						
A <sub>1</sub>	10	2,75	0,12	0,20	0,39	0,41	1,45	0,35
A <sub>2</sub>	30	0,47	0,40	0,08	0,35	0,50	1,82	0,07
(B)	30	0,46	0,42	0,05	0,34	0,57	1,84	0,05

(4) Selon une communication orale de ELLENBERG, serait l'indice d'un surpâturage sous forêt au siècle dernier.

## 12. Graide II :

Chênaie sessiliflore ardennaise sèche à *Vaccinium myrtillus*, sur limon pauvre à moder.

(*Querceto-Vaccinietum occidento-arduennense ilicosum*).

Localisation : Les francs-bois.

Site : Plateau sub-horizontale.

Commune : Graide.

Altitude : 395 m.

Territoire écologique : Ardenne occidentale.

Géologie : Idem Graide I.

Futaie de 17 à 22 m de hauteur de *Quercus petraea* mêlée de *Q. robur* et de *Fagus sylvatica*. La strate arbustive dispersée est à base de chênes, hêtres, sorbiers (*Sorbus aucuparia*), bourdaines (*Frangula alnus*) et de houx (*Ilex aquifolium*). Le tapis herbacé est constitué essentiellement par les acidophytes du moder-mor *Deschampsia flexuosa*, *Vaccinium myrtillus* et par quelques espèces du groupe du moder telles que *Pteridium aquilinum*, *Lonicera periclymenum*, *Melampyrum pratense*, *Holcus mollis*, *Polytrichum formosum*, *Hypnum purum*, etc.

Le sol relativement profond, du type brun acide, a une texture limoneuse (horizon (B) : argile 19 %, limons 53 %, sables 28 %).

L'humus est un moder floconneux ( $A_{01}$  : C/N = 15,1; pH = 3,5) surmontant un horizon d'essartage brun rougeâtre d'une vingtaine de cm de profondeur. L'horizon  $A_2$ , brun clair, à structure finement grumeleuse, passe vers 50-60 cm à un B structural plus compact, fortement chargé de cailloux gréseux bigarrés vers 90 cm de profondeur.

Les teneurs en éléments échangeables et totaux sont données ci-dessous :

Horizon	Epaisseur (cm)	Ca Mg K échangeable (mégq/100 g)			Ca Mg K N total (%)			
		$A_1$	20	0,67	0,26	0,34	0,32	0,35
$A_2$	30	0,36	0,23	0,06	0,31	0,63	1,54	0,05
(B)	40	0,48	0,46	0,06	0,33	0,59	1,63	0,03

## 13. Vonèche :

Chênaie sessiliflore ardennaise, humide et pauvre, sur argile pseudo-gleyifiée à mor.

(*Querceto-Betuletum pubescentis occidento-arduennense molinio-luzulosum sylvaticae*).

Localisation : Virée de Vonèche.

Site : Plateau horizontal.

Commune : Vonèche.

Altitude : 390 m.

Territoire écologique : Ardenne occidentale.

Géologie : Assise de St-Hubert du Gedinnien supérieur (G2b), facies quartzo-phylladeux.

Une futaie de *Quercus petraea* d'une vingtaine de mètres de hauteur, parfois accompagné de *Fagus sylvatica*, domine une strate arbustive clairsemée à base de *Betula pubescens*, *Corylus avellana* et *Frangula alnus*.

La strate au sol est constituée surtout de *Vaccinium myrtillus* (mor), *Luzula sylvatica* (hygrophyte) et *Molinia caerulea* (espèce des sols lourds), en populations mosaïquées. La molinie et la luzule occupent les dépressions tandis que la myrtille colonise les parties plus sèches. Le groupe du moder est bien représenté avec *Deschampsia flexuosa*, abondant, et *Lonicera periclymenum*, *Luzula luzuloides*, *Agrostis vulgaris* et *Polytrichum formosum*. On note également le groupe des hygrophytes telles que *Oxalis acetosella*, *Athyrium filix-femina* et *Dryopteris carthusiana* et, dans les dépressions humides, les sphaignes *Sphagnum palustre*, *S. recurvum*, ainsi que *Polytrichum commune*.

Le sol est du type podzolique à pseudogley. En surface, il comporte une couche assez spectaculaire de mor, de 10 à 15 cm d'épaisseur, témoignant de la lenteur avec laquelle se décompose la matière organique (C/N = 19, pH = 3,5). Un mince horizon d'infiltrations humiques marque la partie supérieure de l'horizon éluvial cendreuse, moucheté de fines taches de rouille (A<sub>2g</sub>). Celui-ci précède un horizon fortement panaché de taches décolorées et de taches de rouille, compact, constitué de 65 % d'éléments fins (argile et limon fin).

Les teneurs en éléments échangeables et totaux sont données ci-dessous :

Horizon	Épaisseur (cm)	Ca Mg K échangeable (méq/100 g)			Ca Mg K total (%)			N
		Ca	Mg	K	Ca	Mg	K	
A <sub>0</sub>	10	0,55	0,54	0,44	0,25	0,06	0,67	0,72
A <sub>2g</sub>	20	0,03	0,04	0,05	0,27	0,14	1,38	0,06
B <sub>g</sub>	50	0,03	0,18	0,06	0,40	0,18	1,84	0,03

D. Association régionale des Hêtraies-Chênaies à charmes de l'Ardenne atlantique.

[ *Fagus-Quercus hylum atlantico-arduennense* (*festuco altissimae-poosum chaixii*) ].

14. Halma :

Hêtraie-Chênaie à charmes atlantico-ardennaise, sur limon frais à mull-moder.

(*Fageto-Quercetum atlantico arduennense des-champsio-festucosum altissimae*).

Localisation : Bois de Chanly.

Site : Versant occidental du massif forestier, large replat à pente faible : (2-3 %).

Commune : Chanly.

Altitude :  $\pm$  240 m.

Territoire écologique : Ardenne atlantique.

Géologie : Colluvion de pente sur schistes et grès de Mirwart de l'étage Coblencien (Dévonien inférieur).

Futaie de *Fagus sylvatica*, *Quercus robur* et *petraea* et *Carpinus betulus*, d'âge variable, de 20 à 22 m de hauteur en moyenne, parfois accompagnés de *Betula pendula*. La strate arbustive assez lâche est formée de perches sur cêpées de *Carpinus betulus* et d'îlots de régénération de *Fagus sylvatica*.

L'abondance des espèces médioeuropéennes submontagnardes : *Carpinus betulus*, *Festuca altissima*, *Luzula luzuloides*, *Polygonatum verticillatum* et surtout *Poa chaixii* est caractéristique de ce type forestier. Elles forment la florule de base du sous-bois avec l'espèce des sols lourds et frais *Deschampsia cespitosa*. On note en plus quelques représentants du mull à large amplitude (*Anemone nemorosa*, *Hedera helix*), du mull acide (*Luzula pilosa*, *Viola riviniana*) et surtout du moder (*Deschampsia flexuosa*, *Pteridium aquilinum*, *Polytrichum formosum*, *Mnium hornum*).

Le type forestier a été décrit pour cette région par A. THILL en tant que variante à *Poa chaixii* de la sous-association à *Festuca altissima* de l'association Hêtraie à luzule blanche (*Luzula luzuloides*).

Le groupement est établi sur un sol développé sur colluvion de pente, riche en cailloux et blocs gréseux et quartziteux. Le sol est du type brun acide, à pseudogley en profondeur et, localement à microogley (g) en surface. L'horizon organo-minéral est peu développé (5 cm) et l'humus est un mull acide évoluant vers un moder ( $A_{01}$ , C/N = 14,8; pH = 4,4). En dessous se trouve un horizon beige ocre, de 15 cm d'amplitude moyenne, passant vers 30-40 cm à un horizon B<sub>g</sub> gris bleuté fortement panaché, compact et imperméable (argile 43 %, limons 46 %, sables 11 %).

Les teneurs en éléments échangeables et totaux sont données ci-dessous :

Horizon	Épaisseur (cm)	Ca Mg K échangeable (méq/100 g)			Ca Mg K total (%)			N
A <sub>01</sub>	5	1,85	0,70	0,56	0,13	0,32	0,91	0,50
A <sub>2g</sub>	25	0,06	0,35	0,09	0,23	0,27	1,88	0,10
B <sub>g</sub>	25	0,20	0,32	0,10	0,43	0,27	2,48	0,05

### III. APPROCHE DE L'EDAPHOTOPE, QUANTITES D'ÉLÉMENTS BIOGÈNES À L'HECTARE

On trouvera au chapitre précédent des données concernant la texture, la structure et le profil pédologique des sols des écosystèmes étudiés. L'analyse chimique de chaque horizon pédologique a porté sur les teneurs en principaux cations biogènes échangeables et totaux ainsi que sur l'azote total (5). L'évaluation de l'épaisseur, de la densité apparente et, lorsqu'il y avait lieu, de la pierrosité de chaque horizon, ont permis de calculer les quantités d'éléments échangeables et totaux à l'hectare dans chaque horizon (tabl. 1) et pour l'ensemble du profil (tabl. 2).

Il nous a paru intéressant, pour des comparaisons plus précises, vu d'importantes différences dans la profondeur des sols, de calculer aussi les quantités totales des mêmes éléments par 100 tonnes de sol (tabl. 3).

(5) Les éléments biogènes échangeables (Ca, Mg, K) sont extraits par percolation de 10 (20) g de terre fine au moyen de 250 ml d'acétate d'ammonium normal à pH 7. Le calcium et le potassium sont déterminés par spectrophotométrie de flamme et le magnésium par complexométrie.

Les éléments totaux (Ca, Mg, K) sont déterminés après solubilisation de 0,1 à 0,5 g de sol finement broyé par de l'acide fluorhydrique et perchlorique (JACKSON 1958). Le K est dosé au spectrophotomètre à flamme, le Ca et le Mg par complexométrie.

La solubilisation par un mélange de HF et HClO<sub>4</sub> est préférable à la méthode de fusion par la soude. BEHM (1964), déterminant le K, Ca, P et Mg total des sols forestiers par ces deux méthodes, estime que la solubilisation est plus reproductible et plus rapide que la fusion; par cette dernière méthode on trouve, par exemple, des valeurs trop élevées de Ca dues à l'excès d'ions Na.

Le dosage du K (et du Na) donne des résultats très reproductibles; pour le dosage du Ca et du Mg, par contre, les doubles sont moins satisfaisants à cause des interférences dues à l'Al, le Fe, les phosphates et les sulfates. C'est pourquoi on doit procéder à l'élimination de la plupart de ces ions gênants par double précipitation suivie de filtration (Agronomy monographs n° 9).

L'azote total est déterminé, après minéralisation, par distillation à l'appareil de KJELDAHL.

Le P assimilable est obtenu par la méthode DUCHAUFOUR et BONNEAU; le P total par digestion à HClO<sub>4</sub> (JACKSON).

TABLEAU 1

Poids de sol (en t/ha) et quantités de Ca, Mg, K échangeable et total et N total (en kg/ha), dans les horizons de sol de différents types d'écosystèmes forestiers de Haute Belgique.

Stations	Horizon	Poids sol	Calcium		Magnesium		Potassium		Azote total
			échang.	total	échang.	total	échang.	total	
Virelles : Querceto-mixtum mercurialo-primulosum veris.	A <sub>1</sub>	640	6.400	17.900	116	3.580	87	6.020	3.400
	A/C	720	7.200	115.000	35	2.880	70	20.800	1.080
Wavreille-Bure : Querceto-Fraxinetum ornithogalo-geosum rivalis.	A <sub>1</sub>	18	65	150	7	120	7	450	160
	A <sub>2</sub>	3.400	6.550	14.300	500	26.500	475	95.800	10.700
	B <sub>g</sub>	2.900	7.250	18.850	500	23.500	285	89.200	2.900
Ferage I : Querceto-Coryletum ficario-oxalidosum.	A <sub>1</sub>	900	1.260	4.320	236	7.820	246	17.600	2610
	A <sub>2</sub>	2.600	520	12.700	112	27.600	203	58.500	1.560
	B	3.750	4.120	20.150	655	44.200	322	101.000	2.250
Conneux I : Querceto-Coryletum galeobdolo-oxalidosum.	A <sub>11</sub>	450	297	2.120	80	1.215	147	7.430	1.530
	A <sub>12</sub>	4.950	832	25.600	450	14.750	792	88.000	6.455
	A <sub>2</sub>								
	B	5.500	4.290	31.400	810	30.200	472	127.500	2.200
Mont-Gauthier : Querceto-Coryletum pulmonario-melicosum uniflorae.	A <sub>11</sub>	425	607	1.700	56	2.600	157	8.500	2.380
	A <sub>12</sub>	1.275	546	5.220	107	10.850	174	30.900	5.475
	A <sub>2</sub> B	2.200	514	9.000	238	19.800	206	67.800	3.080
Conneux II : Querceto-Coryletum pterido-oxalidosum.	A <sub>1</sub>	1.350	270	6.880	276	18.900	210	18.400	4.320
	A <sub>2</sub>	11.000	1.430	37.400	212	37.400	858	178.000	4.400
	B	4.200	2.100	18.100	1.020	42.300	359	100.000	840



TABLEAU 1 (suite et fin)

Stations	Horizon	Poids sol	Calcium		Magnesium		Potassium		Azote total
			échang.	total	échang.	total	échang.	total	
Ferage II : Querceto-Coryletum stellario-miliosum.	A <sub>1</sub>	375	315	1.690	121	1.540	87	7.580	1.875
	A <sub>2</sub> (B)	6.520	1.340	28.000	118	41.200	890	152.000	6.520
Villers : Querceto-Crataegetum succiso-brachypodiosum sylvaticae.	A <sub>1</sub>	200	150	740	101	760	45	4.170	640
	A <sub>2</sub>	2.160	692	7.120	467	11.600	252	50.500	4.320
	B <sub>g</sub>	5.400	1.620	20.500	1.850	34.600	505	194.000	3.780
Ferage III : Querceto-Coryletum poosum chaixii-nemoralis.	A <sub>1</sub>	1.500	1.080	5.400	95	7.350	526	34.200	6.900
	A <sub>2</sub> (B)	4.900	294	21.100	100	27.400	490	122.000	4.900
Graide I : Fageto-Quercetum ilico-vaccinosum.	A <sub>1</sub>	600	330	2.340	86	2.460	47	8.700	2.100
	A <sub>2</sub>	2.850	268	9.950	137	16.250	89	51.800	2.000
	(B)	2.850	262	9.700	144	18.200	56	52.400	1.425
Graide II : Querceto-Vaccinietum ilicosum.	A <sub>1</sub>	1.600	214	5.120	50	5.600	213	21.000	8.300
	A <sub>2</sub>	3.750	270	11.600	103	23.600	88	57.800	1.870
	(B)	6.000	576	19.800	331	35.400	140	98.000	1.800
Vonèche : Querceto-Betuletum pubescentis molinio-luzulosum sylvaticae.	A <sub>0</sub>	600	66	1.500	39	360	103	4.020	4.320
	A <sub>2g</sub>	2.800	17	7.560	13	3.920	55	38.600	1.680
	B <sub>g</sub>	7.500	45	30.000	162	13.500	175	138.000	2.250
Halma : Fageto-Quercetum deschampsio-festucosum altissimae.	A <sub>01</sub>	175	65	228	15	560	38	1.590	875
	A <sub>2g</sub>	3.250	39	7.450	136	8.750	114	61.100	3.250
	B <sub>g</sub>	3.750	150	16.120	144	10.150	146	93.000	1.875

TABLEAU 2

Quantités totales à l'hectare (en kg/ha) de Ca, Mg, K échangeable et total et N total dans le sol de différents types d'écosystèmes forestiers de Haute Belgique.

Stations	Poids sol (en t/ha)	Calcium		Magnesium		Potassium		Azote total
		échang.	total	échang.	total	échang.	total	
Virelles : Querceto-mixtum mercurialo-primulosum veris.	1.360	13.600	132.900	151	6.460	157	26.820	4.480
Wavreille-Bure : Querceto-Fraxinetum ornithogalo-geosum rivalis.	6.318	10.865	33.300	1.007	50.120	767	185.450	13.760
Ferage I : Querceto-Coryletum ficario-oxalidosum.	7.250	5.900	37.170	1.003	79.620	771	177.100	6.420
Conneux I : Querceto-Coryletum galeobdolo-oxalidosum.	10.900	5.419	59.120	1.340	46.165	1.411	222.930	10.185
Mont-Gauthier : Querceto-Coryletum pulmonario-melicosum-uniflorae.	3.900	1.667	15.920	401	33.250	537	107.200	10.935
Conneux II : Querceto-Coryletum pterido-oxalidosum.	16.550	3.800	62.380	1.508	98.600	1.427	296.400	9.560
Ferage II : Querceto-Coryletum stellario-miliosum.	6.895	1.655	29.690	239	42.740	977	159.580	8.395
Villers : Querceto-Crataegetum succiso-brachypodiosum-sylvaticae.	7.760	2.462	28.360	2.418	46.960	802	248.670	8.740
Ferage III : Querceto-Coryletum poosum-chaixii-nemoralis	6.400	1.374	26.500	195	34.750	1.016	156.200	11.800
Graide I : Fageto-Querquetum ilico-vacciniosum.	6.300	860	21.990	367	36.910	192	112.900	5.525
Graide II : Querceto-Vaccinietum ilicosum.	11.350	1.060	36.520	484	64.600	441	176.800	11.970
Vonêche : Querceto-Betuletum pubescentis molinio-luzulosum sylvaticae.	10.900	128	39.060	214	17.780	333	180.620	8.250
Halma : Fageto-Querquetum deschampsio-festucosum altissimae.	7.175	254	23.800	295	19.460	298	155.690	6.000

TABLEAU 3

Quantités totales d'éléments échangeables et totaux, calculées par rapport à 100 tonnes de sol (kg/100 t), dans différents types d'écosystèmes forestiers de Haute Belgique.

Stations	Calcium		Magnesium		Potassium		Azote total
	échang.	total	échang.	total	échang.	total	
Virelles : Querceto-mixtum mercurialo-primulosum veris.	1.000	9.800	11,1	476	11,5	1.970	330
Ave-et-Auffe : Querceto-mixtum mercurialo-primulosum veris.	940	1.590	—	250	26,0	1.790	± 350
Wavreille-Bure : Querceto-Fraxinetum ornithogalo-geosum rivalis.	172	528	16,2	840	12,1	2.940	220
Ferage I : Querceto-Coryletum ficario-oxalidosum.	81,5	513	13,8	1.100	10,6	2.450	88,6
Conneux I : Querceto-Coryletum galeobdolo-oxalidosum.	50,0	542	12,3	423	13,0	2.100	95,0
Mont-Gauthier : Querceto-Coryletum pulmonario-melicolum uniflorae.	42,7	408	10,3	845	13,8	2.750	280,0
Conneux II : Querceto-Coryletum pterido-oxalidosum.	23,0	377	9,1	596	8,6	1.790	58,0
Ferage II : Querceto-Coryletum stellario-miliosum.	24,0	430	3,5	620	14,2	2.320	121,5
Villers : Querceto-Crataegetum succiso-brachypodiosum sylvaticae.	31,7	370	31,2	605	10,3	3.200	113,0
Ferage III : Querceto-Coryletum poosum chaixii-nemoralis.	21,5	414	3,1	543	15,9	2.440	185,0
Graide I : Fageto-Quercetum ilico-vacciniosum.	13,6	349	5,8	585	3,1	1.790	88,0
Graide II : Querceto-Vaccinietum ilicosum.	9,1	322	4,3	570	3,8	1.560	105,0
Vonèche : Querceto-Betuletum pubescentis molino-luzulosum sylvaticae.	1,2	358	2,0	164	3,0	1.660	75,7
Halma : Fageto-Quercetum deschampsio-festucosum altissimae	3,5	332	4,1	271	4,1	2.190	83,8

## 1. Calcium

Il convient d'abord d'insister sur l'énorme excès de Ca assimilable (échangeable ou facilement soluble) dans la terre fine et plus ou moins humifère des sites calcaires; avec, en plus, possibilité pour les plantes d'utiliser aussi en partie le squelette du sol ( $\text{CaCO}_3$ ).

La Chênaie mélangée sur calcaire de Virelles contient, dans un sol cependant peu profond, 14.000 kg  $\text{Ca}^{++}$ /ha; celle de Ave-et-Auffe en contient à peu près autant. Les Chênaies à *Carpinus* et à *Corylus* établies sur schistes calcarifères (Wavreille-Bure, Ferage I) ou sur limon épais et riche (Conneux I) contiennent de 11.000 à 5.000 kg  $\text{Ca}^{++}$ /ha, ou mieux de 170 à 50 kg  $\text{Ca}^{++}$ /100 t de sol.

Cette abondance est marquée, dans la strate au sol, par l'importance des groupes écosociologiques du mull calcaïque (sur calcaire compact), du mull actif, et du mull typique.

Cette excellente relation entre la végétation et la teneur du sol en  $\text{Ca}^{++}$  se retrouve dans les sites plus pauvres en ce cation.

Les Chênaies à *Milium*, *Stellaria*, *Poa nemoralis* et *Viola*, de Ferage I et II, où s'épanouissent les groupes écosociologiques du mull acide et du moder, ne contiennent plus en moyenne que 1.500 kg  $\text{Ca}^{++}$ /ha dans leur sol.

Il en va de même pour la Chênaie de la plaine famennienne de Villers où l'on trouve 2.400 kg de  $\text{Ca}^{++}$ /ha. Établie sur sol argileux pseudogleyifié, provenant de la décomposition de schistes très pauvres, cette forêt a une strate herbacée où dominent les espèces du mull acide et du moder, mêlées bien sûr à des espèces des sols frais et compacts; la présence d'espèces à tendances thermocalciphytes (*Primula veris*, *Orchis maculata*, *Brachypodium sylvaticum*) nous paraît liée à l'énantiohydrie du milieu; mais il se pourrait que les agréables quantités de  $\text{Ca}^{++}$ , et aussi de  $\text{Mg}^{++}$ , y soient aussi pour quelque chose.

Avec les Hêtraies-Chênaies de l'Ardenne occidentale et atlantique, Hêtraies-Chênaies à houx et myrtille, la teneur en  $\text{Ca}^{++}$  tombe à environ 1.000 kg/ha, ce qui est bien rendu par la strate herbacée réduite à quelques espèces frugales.

Enfin, dans la même région, le sol de la Chênaie tourbeuse à *Betula pubescens*, *Molinia caerulea*, *Vaccinium myrtillus*, *Luzula sylvatica* et *Sphagnum* ne contient, malgré son mor épais, que 128 kg  $\text{Ca}^{++}$ /ha, et ce, malgré une teneur en Ca total (non ionisé) de 39.000 kg/ha, voisine de celle des sols les plus riches à végétation de mull; la strate au sol a la composition la plus oligophytique qui soit.

A ce changement régulier de végétation des sols les plus riches aux sols les plus pauvres en Ca échangeable, il y a une exception : la Hêtraie-Chênaie à charmes de Halma, climax de la bordure nord-ouest atlantique du massif ardennais aux altitudes moyennes, qui présente dans sa strate herbacée une belle flore graminéenne de *Festuca altissima*, *Poa chaixii*, et *Deschampsia cespitosa* avec certaines espèces du mull-moder, ne contient

dans son sol que 254 kg  $\text{Ca}^{++}$ /ha; mais ce sol est aussi assez pauvre en Ca total : 23.878 kg/ha. Un facteur de compensation écologique semble bien être ici la fraîcheur du sol; aussitôt qu'une aire de dessiccation apparaît dans la forêt considérée, on observe en effet le passage abrupt à la Chênaie sessiliflore à myrtille et *Leucobryum*, espèces rendant mieux compte que les précédentes de l'extrême pauvreté en  $\text{Ca}^{++}$  du sol.

La remarquable coïncidence constatée entre les groupes écociologiques caractéristiques des associations stationnelles (et par là les associations stationnelles elles-mêmes) et la quantité de  $\text{Ca}^{++}$  échangeable contenue dans l'édaphotope est encore plus nette si on utilise la valeur standard kg  $\text{Ca}^{++}$ /100 t de sol (voir tabl. 3).

Mais il est un autre point capital à souligner : la réserve du sol en Ca total est sans grande importance dans le choix et le développement des associations stationnelles : le  $\text{Ca}^{++}$  échangeable lessivé n'est pas remplacé en fonction de sa disparition par du Ca qui proviendrait de l'immense réserve de Ca insoluble.

Les sols des associations stationnelles ardennaises étudiées portent une végétation oligocalciphytique correspondant à un appauvrissement très grand en  $\text{Ca}^{++}$ , malgré une très importante réserve de Ca total.

L'importance de  $\text{Ca}^{++}$  échangeable apparaît encore lorsqu'on compare des écosystèmes alignés sur un même transect.

Le transect de Ferage comporte :

- a) Une forêt fraîche sur sol riche, à mull (Ferage I : Chênaie à *Ranunculus ficaria* et *Oxalis*) avec dominance des groupes du mull actif et du mull typique. On trouve dans son sol 5.900 kg  $\text{Ca}^{++}$ /ha, soit 81,5 kg  $\text{Ca}^{++}$ /100 t de sol.
- b) Une forêt fraîche sur sol moins riche, à mull-moder (Ferage II : Chênaie à *Stellaria* et *Milium*), avec dominance des groupes du mull et du mull acide. On trouve dans son sol 1.655 kg  $\text{Ca}^{++}$ /ha, soit encore 24 kg  $\text{Ca}^{++}$ /100 t de sol.
- c) Une forêt sèche, correspondant à la précédente mais dégradée par l'action humaine, avec sol également dégradé, à sous-bois de graminées : *Holcus mollis*, *Deschampsia flexuosa*, *Poa nemoralis*, *Poa chaixii* (Ferage III : Chênaie à *Poa*). On trouve dans son sol 1.374 kg  $\text{Ca}^{++}$ /ha, soit encore 21,5 kg  $\text{Ca}^{++}$ /100 t de sol.

Le transect de Conneux comporte une Chênaie à *Corylus* sur limon frais et « riche » (à *Lamium galeobdolon* et *Oxalis*), et une Chênaie à *Corylus* adjacente sur même limon frais mais moins riche (à *Pteridium aquilinum* et *Oxalis*); l'apparente richesse ou pauvreté, telle qu'on la dégage de l'observation de la flore herbacée, se vérifie par l'analyse du sol :

- 5.419 kg Ca<sup>++</sup>/ha (50 kg Ca<sup>++</sup>/100 t de sol) à Conneux I,
- 3.800 kg Ca<sup>++</sup>/ha (23,0 kg Ca<sup>++</sup>/100 t de sol) à Conneux II.

Si on compare les quantités totales de calcium échangeable et total, en dehors des sols calcimorphes gorgés de Ca<sup>++</sup> et de Ca actif ou soluble de Ave-et-Auffe (Niau) et Virelles (Blaimont), on constate que la Ca<sup>++</sup> échangeable représente 33 % du Ca total dans le sol de l'écosystème de Wavreille-Bure. Ce pourcentage s'abaisse régulièrement en même temps que la richesse des sols diminue; c'est ainsi qu'à Ferage I (Chênaie à *Ranunculus ficaria* et *Oxalis*) le pourcentage Ca échangeable/total est d'environ 16 %, à Conneux I (Chênaie à *Lamium galeobdolon* et *Oxalis*) il est de 9 %, à Ferage II et III, de près de 5 %. Enfin, pour les sols ardennais, il descend à environ 3 % (Graide I et II) et tombe à 1 et 0,3 %, respectivement dans les sols de Halma et Vonèche.

## 2. Potassium

a) On sait que le K ne se trouve qu'en petite quantité dans la solution du sol, et à l'état absorbé sur le complexe colloïdal. Les teneurs en K échangeable trouvées dans les sols correspondants aux diverses associations stationnelles étudiées vont de 0,4 à 0,95 méq/100 g. Les valeurs les plus importantes caractérisent les horizons humifères; quant aux horizons minéraux, leur teneur est généralement voisine de 0,3 méq, sauf pour les sols des quatre stations ardennaises où elle s'abaisse à moins de 0,1 méq.

De nombreux auteurs ont étudié les formes du K dans les sols (McLEAN et SIMON 1958, MALQUORI et RADAELLI 1959, WEBER et CALDWELL 1965, etc.). Ils ont montré qu'il existe des états d'équilibres entre les diverses formes de K, en particulier entre le K échangeable, adsorbé à l'état de cations à la surface des micelles colloïdales et une fraction de K non échangeable (K fixé) retenu entre les feuillettes des minéraux argileux (illites...).

Il semble bien qu'une partie du K fixé puisse être absorbé directement par les plantes et plusieurs méthodes tendant à déterminer la capacité de fixation du K ont été mises au point (REICHENBACH et SCHROEDER 1960).

En soumettant les sols à des réactifs d'extraction de plus en plus puissants, on libère des quantités croissantes de potassium. On distingue ainsi généralement :

K soluble	: extrait par H <sub>2</sub> O.
K échangeable	: extrait par NH <sub>4</sub> Ac N.
K fixé	: extrait par HNO <sub>3</sub> N.
K total	: extrait par HF.

Le tableau 4 donne un exemple des teneurs de K trouvées dans le sol de Ferage I par différents réactifs. Le K extractible par HCl concentré (méthode DUCHAUFOUR) a également été déterminé.

Tableau 4: Valeurs du K obtenues par différentes méthodes d'extraction dans le sol de Ferage I (en méq/100 g).

Station	Hori- zon	Echangeable NH <sub>4</sub> Ac N	extractible par			Total HF
			HNO <sub>3</sub> 0,5N	HNO <sub>3</sub> N	HCl conc.	
Ferage I:	A <sub>1</sub>	0,80	1,46	1,50	2,31	46,5
Querceto-Coryletum	A <sub>2</sub>	0,20	0,74	1,00	4,03	58,0
	B	0,24	0,74	0,87	7,55	77,2

On voit que le K échangeable, comprenant le K soluble, ne constitue qu'une petite partie du K total (1,7 % dans l'horizon A<sub>1</sub>, 0,3 % en A<sub>2</sub> et B). De même, le K extrait par HCl concentré ne forme respectivement que 5-7 et 10 % du K total des horizons A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub> et B.

SCHILLING (1957) a montré, pour trois types de sols très différents de l'Allemagne centrale, que 80 % du K, inclus dans le réseau des silicates primaires, ne peut être mis en solution par l'attaque à l'acide chlorhydrique.

Les grandes quantités de K prélevées par les écosystèmes forestiers (EHWALD 1957, OVINGTON 1962, DUVIGNEAUD 1968, DUVIGNEAUD et al., 1969) montrent que la détermination du K échangeable donne une mesure trop faible de l'assimilation de cet élément. C'est pourquoi, on admet de plus en plus la valeur du K extrait par l'acide nitrique comme valeur du K mise à la disposition de l'écosystème (K « fixé » ou utilisable, K supplying power, nachlieferbare K).

WHITE et LEAF (1964) trouvent, par exemple, de très bonnes relations entre les quantités de K fixé (extrait par différentes concentrations de HNO<sub>3</sub>) et la hauteur totale de *Pinus resinosa* dans l'état de New York.

La fixation d'une partie du K échangeable empêche le lessivage et doit être considérée comme un fait intéressant au point de vue de la fertilité des sols (VAN DER MAREL 1959).

Il convient toutefois de voir si la quantité de K échangeable ne permet pas une estimation détournée de la quantité de K réellement assimilable.

b) Dans les sites étudiés par nous en Haute Belgique, on constate deux minima de la quantité de K<sup>+</sup> échangeable qui sont aux deux extrêmes de la série végétale : dans les écosystèmes forestiers sur calcaire compact et dans les écosystèmes forestiers caractérisés par la flore du moder-mor.

Dans les Chênaies mélangées sur calcaire, les relativement faibles quantités de K total et K échangeable mises à la disposition de la végétation proviennent d'une teneur moyenne du sol relativement basse, et d'une quantité de sol beaucoup moins grande; les phénomènes se passent dans un environnement édaphique où l'antagonisme K/Ca est en faveur de Ca, ce qui est aussi vrai d'ailleurs pour Mg.

Alors que K total se tient entre 3.000 et 1.500 kg/100 t de sol, c'est-à-dire entre 100.000 et 300.000 kg/ha pour l'ensemble des écosystèmes étudiés, ce qui paraît énorme (tous les sols ont une importante composante limono-argileuse), la quantité de K<sup>+</sup> échangeable permet de classer les écosystèmes en deux groupes :

- dans les écosystèmes à flore de mull (actif, typique, acide), K<sup>+</sup> échangeable se tient bien : 8-16 kg K<sup>+</sup>/100 t de sol (ou 500 à 1.400 kg K<sup>+</sup>/ha);
- dans les écosystèmes à flore de moder-mor, K<sup>+</sup> échangeable s'effondre : 3-4 kg K<sup>+</sup>/100 t de sol (ou 200 à 400 kg K<sup>+</sup>/ha).

Le pourcentage de K échangeable par rapport au K total est de 0,65 % en moyenne pour le sol des stations les plus riches; il atteint à peine 0,18 % dans le cas des sols très désaturés de Graide, Halma et Vonêche.

### 3. Magnesium

a) La réserve en Mg total des sols étudiés est généralement plus importante que celle en Ca, sauf dans les sols calcaires (ce cas particulier ne va pas « tellement de soi », car on peut imaginer une forte proportion de dolomie dans la roche-mère); mais, par contre, la réserve en Mg<sup>++</sup> échangeable est en général nettement plus faible que celle en Ca<sup>++</sup>, ce qui s'expliquerait par une mobilité plus grande de Mg<sup>++</sup> et dès lors un lessivage plus important.

La quantité totale de Mg par 100 t de sol est très variable selon les écosystèmes, que l'on peut classer en trois catégories à ce point de vue :

- 800-1.100 kg/100 t de sol, dans les Chênaies à *Corylus* de Ferage I (mull actif) et de Mont-Gauthier (mull, mull acide, moder);
- 420-600 kg/100 t de sol dans la plupart des autres forêts étudiées;
- 150-300 kg/100 t de sol dans la Hêtraie-Chênaie à charmes de l'Ardenne atlantique (Halma) et dans la Chênaie à bouleaux sur sol très acide de l'Ardenne occidentale (Vonêche).

En ce qui concerne Mg<sup>++</sup> échangeable, qui ne « suit » pas Mg total, la composition du sol est importante dans les groupements sur mull (9-16 kg Mg<sup>++</sup>/100 t sol), beaucoup moins importante dans les groupements sur moder-mor (2-6 kg Mg<sup>++</sup>/100 t sol).



Une exception : la Chênaie famennienne (31 kg Mg<sup>++</sup>/100 t de sol, 2.418 kg Mg<sup>++</sup>/ha) qui bat tous les records, avec un contenu du sol en Mg<sup>++</sup> qui est le double de celui des autres meilleurs sols; il est nécessaire d'en poursuivre l'étude, car sa strate au sol où s'accumulent les espèces du mull acide et du moder ne correspond pas plus, à première vue, à la teneur en Mg qu'à celle de Ca (voir § 1); provisoirement, nous sommes amenés à considérer la Chênaie famennienne comme correspondant à un sol hydriquement énantiomorphe et chimiquement à dominance magnésienne.

Il s'agit là de données fort intéressantes, capables peut-être de servir de base à la délimitation en Haute Belgique de territoires biogéochimiques (voir VINOGRADOV 1959, RODIN et BAZILEVICZ 1967); nos données, trop peu nombreuses, devraient être reprises et étendues.

b) Les valeurs que nous avons trouvées correspondent assez bien aux données de la littérature. SCHROEDER et ZAHIROLESLAM (1963) ont étudié le Mg dans les sols de culture du Schleswig-Holstein. Ils notent que le Mg total varie de 50 kg à 500 kg pour 100 t dans les 20 premiers cm de sols (sols alluviaux). En Allemagne également SCHROEDER (cité par SCHROEDER et ZAHIROLESLAM 1963) trouve de 300 à 500 kg/100 t dans les sols au sud de Hanovre tandis que MICHAEL et SCHILLING indiquent 500 kg/100 t dans les loess de l'Allemagne centrale et plus de 700 kg/100 t dans certains sols argileux. Enfin, POPP et CONTZEN mettent en évidence, en moyenne 240 kg de Mg total pour 100 t de sol dans le cas de 68 sols limoneux contre 96 kg/100 t seulement pour une série de 73 sols sableux.

BITTON et OUELETTE (1968), étudiant le Mg échangeable et total de 29 séries de sols du Québec, trouvent que la variation du Mg total va de 26 à 160 kg/100 t de couche de sol de 0 à 20 cm; tandis que dans la couche comprise entre 20 et 40 cm il varie de 49 à 1.686 kg/100 t. Le contenu moyen en Mg total des sols bruns acides boisés est respectivement de 554 et 586 kg/100 t dans la couche arable et la couche sous-jacente.

#### 4. Azote

La teneur en N total de l'horizon organo-minéral est de l'ordre de 0,30 % dans les stations à mull forestier, de 0,50 % dans les stations à mull calcique, mull acide, moder et moder-mor. Elle atteint 0,72 % dans l'horizon d'accumulation (mor) de Vonèche et près de 0,9 % dans le A<sub>1</sub> de Wavreille-Bure.

La teneur en N total des horizons minéraux est faible, voisine de 0,05 %. Cependant, lorsque l'on rapporte ces teneurs au poids de sol à l'hectare, on est saisi de voir l'importance de la réserve de N dans la partie purement minérale du sol. Cette réserve est souvent plus grande dans la couche minérale que dans l'horizon humifère. C'est ainsi qu'à Villers, la quantité de N des horizons minéraux est 12,5 fois plus importante; elle est

4 fois plus importante à Ferage II (Chênaie à *Milium effusum*), 6 fois à Halma, etc.

Ainsi, la réserve d'azote total est énorme; elle varie de 4.480 à 11.800 kg/ha pour la gamme des écosystèmes que nous avons étudiés.

D'après une étude d'ensemble d'EMBERGER (1964), effectuée sur 44 sols de la Bavière, les quantités de N total se situent, en général, entre 2.000 et 16.000 kg/ha. OVERTON (1965) trouve de 1.700 à 7.600 kg/ha d'azote total dans les sols de divers types forestiers en Angleterre, les quantités les plus importantes caractérisant les sols sous forêt de feuillus.

Le phénomène paraît assez général et ces quantités importantes d'azote total dans les sols forestiers ont aussi été signalées par DUVIGNEAUD et DENAEYER-DE SMET (1964). De même ZÖTTL (1958, 1965) cite les quantités extrêmes de 100 kg/ha dans une moraine très pauvre de Haute-Bavière et de 35.000 kg/ha, observé par JENNY (1958), dans un sol de forêt colombienne profond de 50 cm.

Plusieurs des écosystèmes étudiés ont des réserves de N plus grandes dans la couche organo-minérale que dans la couche minérale. Il s'agit :

- 1) du sol à mull calcique de la station de Virelles où l'humification est bonne mais la minéralisation lente.
- 2) des sols ayant subi jadis l'essartage et où le labour a augmenté l'épaisseur de l'horizon humifère (Conneux I, Chênaie à *Galeobdolon* — Ferage III, Chênaie à *Poa* — Graide II, Chênaie à *Vaccinium myrtillus*).
- 3) de l'horizon d'accumulation (mor), épais de 10 à 15 cm de la station de Vonèche.

La plus grande partie de la réserve de N se trouve sous forme de combinaisons organiques. C'est à partir de celles-ci que se minéralise progressivement de petites quantités d'azote ammoniacal et nitrique qui sont absorbées par la phytocénose.

Ce sont donc les quantités d'azote minéral, ammoniacal et nitrique, mises à la disposition des racines des plantes, qui importent plus que l'azote total pour le bon fonctionnement de l'écosystème. La question est aujourd'hui très étudiée (ELLENBERG 1964, RUNGE 1965, VAN PRAAG et MANIL 1965, etc.) et nous comptons y revenir ultérieurement.

## 5. Phosphore

Le P assimilable et total a également été dosé dans un certain nombre des sols étudiés (6).

Cette étude provisoire tend à montrer qu'il existe d'importantes différences d'un écosystème à l'autre; comme pour les éléments précé-

(6) Analyses effectuées par M<sup>me</sup> DUVIGNEAUD-DEBOUVERIE.

dents, les différences sont plus grandes pour le P assimilable que pour le P total.

Les quantités de P total à l'hectare sont en moyenne de 4.000 kg; la station de Virelles, avec son sol peu abondant, n'a que 720 kg/ha. Calculé par rapport à 100 tonnes de sol, le P total est compris entre 33 kg/ha (Vonèche) et 86 kg/ha (Ferage II) pour la gamme des stations étudiées, la station de Virelles ayant 53,2 kg/100 t.

En ce qui concerne le P assimilable, le transect assez riche de Ferage (I, II et III), s'oppose aux deux écosystèmes extrêmes : la Chênaie mélangée sur calcaire de Virelles et la Chênaie à bouleaux sur sol pseudogleyifié très pauvre et à mor de Vonèche, auxquels se joint la Chênaie famennienne sur sol lourd de Villers.

Dans le transect de Ferage, les quantités totales de P assimilable sont comprises entre 162 et 408 kg/ha, soit entre 2,2 et 6,4 kg/100 t de sol; par contre, dans le sol calcimorphe de Virelles le P assimilable atteint à peine 30 kg/ha (2,15 kg/100 t de sol) tandis qu'à Vonèche et Villers il est, en moyenne, de 85 kg/ha, soit respectivement de 1,2 et 0,75 kg/100 t de sol.

#### IV. CONCLUSIONS

1. La connaissance des écosystèmes et de leur fonctionnement exige l'évaluation des quantités d'éléments biogènes du sol, *par unité de surface*. De telles données sont peu fréquentes; le seul travail complet que nous connaissions est celui d'EMBERGER qui a étudié l'ensemble des sols forestiers bavarois en ce qui concerne leur teneur totale en N, P et bases échangeables. Dans le présent travail, nous avons voulu faire de même pour un certain nombre d'écosystèmes forestiers de Haute Belgique; à partir des données obtenues nous avons tenté de voir s'il existe des relations entre les quantités totales d'éléments échangeables et totaux du sol et les phytocénoses correspondantes.

Nous avons étudié quatorze sites présentant une très grande diversité de leurs propriétés édaphiques, surtout en ce qui concerne le niveau de richesse minérale et les caractéristiques hydriques. Ces sites sont situés dans les territoires écologiques limitrophes de la Basse et Haute Famenne, de la Calestienne (Famenne calcaire) et de l'Ardenne occidentale et atlantique.

Les quantités totales des principaux éléments biogènes échangeables (Ca, Mg, K) et totaux (Ca, Mg, K, et N) à l'hectare sont groupées dans le tableau 2. Ces quantités ont également été calculées par rapport à 100 tonnes de terre fine afin de pouvoir comparer les différents types de sols dont l'épaisseur et la pierrosité sont parfois très variables (tabl. 3).

Une évaluation phytosociologique de la richesse minérale des écosystèmes étudiés a été faite en utilisant la proportion relative des groupes écosociologiques composant leurs phytocénoses respectives :

groupe du mull calcique, du mull forestier, du mull acide, du moder et du mor.

1°) Il existe une certaine relation entre les *quantités d'éléments échangeables* par unité de surface et la « richesse » des associations forestières des divers sites étudiés, telle qu'on peut l'évaluer par les groupes écosociologiques indicateurs. « Richesse » est donc utilisé ici dans le sens complexe et dialectique de : dominance d'espèces indicatrices d'un sol riche en éléments biogènes assimilables et présentant un haut degré de fertilité, ayant pour conséquence une productivité élevée de la phytocénose.

Cette relation est particulièrement démonstrative pour le  $\text{Ca}^{++}$ . C'est ainsi que les sols établis sur roche-mère calcaire (Virelles, Ave-et-Auffe), portant une forêt riche en espèces du mull calcique et du mull forestier, ont un énorme excès de Ca assimilable (1.000 kg/100 t de sol). Cette quantité diminue progressivement, en même temps que la richesse végétale, pour devenir infime dans le sol podzolique à pseudogley de la Chênaie à *Molinia caerulea* de Vonèche (1,2 kg/100 t).

Les niveaux intermédiaires (de 172 à 50 kg/100 t de sol) sont occupés par les forêts établies sur schistes calcarifères (Wavreille-Bure et Ferage I), à mull actif et mull forestier (Ferage I, Chênaie à *Ranunculus ficaria* et *Oxalis*), à mull forestier (Conneux I, Chênaie à *Lamium galeobdolon* et *Oxalis*), puis viennent les stations à mull acide et moder (Mont-Gauthier, Chênaie à *Pulmonaria* et *Milium effusum*; Conneux II, Chênaie à *Pteridium aquilinum* et *Oxalis*; Villers, Chênaie à *Succisa pratensis* et *Brachypodium sylvaticum*; Ferage II, Chênaie à *Stellaria holostea* et Ferage III, Chênaie à *Poa*) avec de 42,7 à 21,5 kg/100 t de sol de  $\text{Ca}^{++}$  échangeable. Enfin les stations ardennaises très pauvres, à moder-mor, n'ont plus que de 13,6 à 1,2 kg/100 t (Graide I, Hêtraie à *Ilex*, Graide II, Chênaie à *Vaccinium myrtillus*; Halma, Chênaie à *Deschampsia cespitosa* et Vonèche, Chênaie à *Molinia caerulea*).

Les mêmes observations sont à faire en ce qui concerne le  $\text{Mg}^{++}$  et le  $\text{K}^+$  échangeables; toutefois, les amplitudes de variations entre les sols bien pourvus et les sols désaturés en ces éléments sont beaucoup moins grandes que dans le cas de  $\text{Ca}^{++}$  échangeable, et les relations sont moins typiques.

Pour le  $\text{Mg}^{++}$ , les stations à mull forestier ont de 16,2 à 12,3 kg/100 t de sol, les stations à mull-moder, moder-mull et mor, de 9,1 à 2,0 kg/100 t. Le sol de Villers, provenant de l'altération des schistes famenniens, est exceptionnellement riche avec 31,2 kg/100 t de sol.

Pour le  $\text{K}^+$ , les sols ardennais sont également les plus pauvres (3 à 4 kg/100 t) tandis que toutes les autres stations ont des quantités assez similaires se répartissant entre 8,6 et 26 kg/100 t de sol.

2°) Les *quantités de Ca, Mg, K total*, bien que beaucoup plus importantes que les quantités échangeables correspondantes, sont sans rapport direct avec le type forestier.

- En mettant à part les sites de Virelles et de Ave-et-Auffe, établis sur roche calcaire, on voit que les quantités de Ca total sont — sensiblement égales dans tous les types de sol (de 320 à 530 kg/100 t de sol) et ne semblent pas avoir d'influence sur la « richesse » des associations stationnelles.
- La richesse en K est énorme dans toute la gamme des stations étudiées (de 1.560 à 3.200 kg/100 t).
- Pour le Mg total, on observe trois sites très riches; Ferage I, Wavreille-Bure, Mont-Gauthier (1.100 à 840 kg/100 t); et deux très pauvres, Halma et Vonèche (270 à 160 kg/100 t); tous les autres sont intermédiaires avec de 420 à 600 kg/100 t de sol.

3°) Le rapport entre les opulentes quantités totales d'éléments totaux à l'ha et les pauvres quantités totales d'éléments échangeables, est très variable, et peut être utilisé dans le classement des types forestiers.

La différence se marque surtout pour l'élément biogène important qu'est le Ca. C'est ainsi que — les sols établis sur la roche-mère calcaire mis à part — le Ca échangeable représente 33 % du Ca total dans le sol mulleux de Wavreille-Bure; ce pourcentage s'abaisse régulièrement dans les stations à mull acide, moder et mor et n'atteint plus que 0,3 % dans le sol de la Chênaie à *Molinia caerulea* de Vonèche.

Les quantités de Mg échangeable à l'hectare ne représentent en moyenne que 1 % des quantités de Mg total. Le pourcentage le plus élevé est atteint pour le sol de Villers avec 5 %.

Le pourcentage de K échangeable par rapport au K total est toujours très faible. Il est de 0,65 % en moyenne pour les sols les mieux pourvus et s'abaisse à 0,18 % dans les sols ardennais très désaturés de Graide, Halma et Vonèche.

4°) Les quantités de N total à l'hectare sont toujours très importantes (5.000 à 14.000 kg/ha) quels que soient les sols considérés. Une grande partie de cet azote se trouve dans les horizons minéraux profonds bien que la teneur en N y soit très faible. Son origine est mystérieuse, car il n'y a quasi pas d'activité biologique fixatrice de N dans les sols de nos forêts.

2. Avec la notion d'écosystème est posé le problème de l'homogénéité écologique de la phytocénose.

On s'est généralement efforcé en phytosociologie, de limiter la surface du relevé à une zone absolument homogène et uniforme, quitte à ce que la surface de cette zone soit fort petite, ou que ses limites soient très irrégulières.

Or, les ensembles biocénose-climatope-édaphotope, choisis généralement comme unités écosystémiques, sont assez grands et de limitation simple et régulière; on constate souvent qu'ils sont hétérogènes au sein de leur homogénéité; le fait est dû à des *fluctuations écologiques* résultant des modifications insensibles et progressives de la microtopographie, à des variations du niveau de la nappe aquifère, à des transformations litholo-

giques latérales des roches-mères, au mode et au degré d'agrégation des composants dominants de la phytocénose elle-même.

C'est ce que nous avons relevé dans un certain nombre des écosystèmes étudiés, la cause des fluctuations étant d'ordre chimique ou hydrique (voir par exemple Wavreille-Bure et Ferage).

Il est souvent possible de séparer les fluctuations sur une plus grande échelle, le long d'un transect à ondulations larges (sorte de *Catena*) : c'est ce que nous avons fait entre autres à Virelles (Virelles I, II, III, IV, V), à Ferage (Ferage I, II, III), à Conneux (Conneux I, II) (voir paragraphes particuliers consacrés à ces divers sites).

Il s'agit en somme d'un problème de séries d'associations stationnelles permettant d'interpréter des écosystèmes plus complexes.

Nous pensons revenir un jour sur cette question des phytocénoses homogènement hétérogènes, liée à celle de la discontinuité *versus* continuité du tapis végétal.

3. La connaissance des quantités d'éléments totaux par unité de surface est utile parce qu'elle permet d'établir la « richesse potentielle » de l'édaphotope en ces éléments. Le point le plus important est cependant la manière qu'a la biocénose d'utiliser cette richesse.

Il est bien connu, spécialement dans le cas de K, que ce ne sont pas les cations échangeables seuls qui déterminent la productivité, et que les éléments plus difficilement assimilables ou totaux sont loin d'être négligeables à ce point de vue. Il semble bien que le type d'insolubilisation, réglant lui-même la vitesse (plus ou moins lente) de solubilisation, est important et devrait être étudié. Les forêts que nous avons étudiées se développent toutes sur roche-mère sédimentaire; une comparaison, impossible en Belgique, avec des forêts se développant sur roche-mère éruptive ou métamorphique nous paraît essentielle. L'intérêt de l'étude des éléments totaux a déjà eu une confirmation par les récents travaux des forestiers allemands effectués, en général, sur des sols sableux (WITTICH 1951, HEINSDORF 1963, 1964, FIEDLER et NEBE 1963). Des relations très significatives ont été ainsi mises en évidence entre les quantités d'éléments nutritifs totaux et la productivité des écosystèmes forestiers.

4. Les quantités de cations échangeables à l'ha sont une indication du degré d'abondance des éléments assimilables, facteur important de la fertilité des sols.

*Elles se reflètent dans la composition floristique de la phytocénose, par l'intermédiaire de groupes écosociologiques, eux-mêmes indicateurs du type d'humidification.*

La rapidité de l'humification de la matière organique fraîche, essentiellement formée de la litière de feuilles mortes, est à l'origine des différents types d'humus. Sur les sols les plus riches, le « turnover » de la matière organique est rapide et les humus sont du type mull; sur les sols les plus pauvres, ils sont du type moder et mor.

Par ordre décroissant de richesse des sols en éléments biogènes, on trouve ainsi les types d'humus et les groupes écosociologiques correspondants du mull calcique, du mull actif, du mull forestier typique, du mull à large amplitude, du mull acide, du moder et du mor (voir chap. I).

*Les quantités échangeables des éléments biogènes du sol sont aussi reflétées dans la composition chimique quantitative de la phytocénose, grâce à la spécificité chimique des espèces, et par l'intermédiaire des groupes écosociologiques dominants.*

On trouvera à la figure 4 les « bisects phytochimiques », établis en 1964 par DUVIGNEAUD et DENAEYER-DE SMET, pour quatre des écosystèmes étudiés (Ferage I et II, Ave-et-Auffe, Villers-sur-Lesse); on y voit la grande spécificité des espèces végétales en ce qui concerne l'absorption des éléments minéraux, les espèces les plus riches ayant une tendance à caractériser les sols les plus riches. On y voit aussi en comparant les teneurs d'une même espèce dans deux écosystèmes différents qu'une certaine consommation de luxe de certains éléments peut avoir lieu.

Ceci permet de penser que par l'intermédiaire des groupes écosociologiques, une relation existe entre la « minéralomasse » de la phytocénose et les quantités assimilables d'éléments minéraux contenues dans le sol.

Un seul exemple (DUVIGNEAUD et DENAEYER-DE SMET, inédit) : la Chênaie famennienne de Villers est caractérisée par des quantités anormalement élevées de Mg échangeable dans l'édaphotope; la strate herbacée très drue de la forêt est également anormalement riche en Mg.

5. HARTMANN a établi que, dans les forêts tant naturelles que bien aménagées commercialement, la fertilité du sol est basée principalement sur deux choses :

le cycle des éléments nutritifs,

l'accumulation de ces éléments dans le sol.

Cette dernière, qui se fait à partir d'éléments de la roche-mère absorbés par des racines profondes et ramenés en surface par chute de litière, prend place dans la zone racinaire du sol et en maintient la fertilité ou même l'augmente sur roche-mère très pauvre. Ce principe de l'accumulation des éléments nutritifs comme base d'une fertilité soutenue est la *loi de la perpétuation de la forêt* de HARTMANN. Il semble bien que les abondantes quantités à l'ha trouvées dans les sols de tous les types forestiers par nous étudiés soient en rapport avec le principe d'accumulation (par retombées, c'est-à-dire éléments restitués annuellement par le cycle), mais que les problèmes de l'assimilabilité soient encore à résoudre.

6. Pour ces diverses raisons, et parce que la notion d'écosystème repose sur les notions quantitatives de biomasse et de productivité, l'estimation

de la quantité d'éléments biogènes à l'ha apparaît indispensable pour l'étude de l'écosystème forêt et du cycle de ses éléments biogènes.

UNIVERSITÉ LIBRE DE BRUXELLES  
LABORATOIRE DE BOTANIQUE SYSTÉMATIQUE  
ET D'ÉCOLOGIE  
Directeur : Prof. P. DUVIGNEAUD

#### BIBLIOGRAPHIE

- BEHM, R.  
1964. *Zur Bestimmung des Gesamtgehaltes an K, Ca, P, Mg in Waldböden.* (Arch. Forstw., 13-9, 963-976.)
- BITTON, G. et OUELLETTE, G. J.  
1968. *Contenu en magnésium total et échangeable des sols du Québec.* (Science du Sol, Suppl. Bull. Assoc. Franç., étude du sol, n° 1, 11-17.)
- BLACK, C. A. et coll.  
1965. *Methods of soil analysis.* (Agronomy Monographs n° 9. Madison, ed. Amer. Soc. Agron., 2 vol., 1572 p.)
- CLARKE, F. W.  
1924. *Data of geochemistry.* (Bull. U. S. Geol. Survey, 770, 841 p.)
- CLEMENTS, F. E.  
1916. *Plant succession — an analysis of the development of vegetation.* (Carnegie Institution — Washington, 512 p.)
- DELVAUX, J. et GALOUX, A.  
1962. *Les territoires écologiques du Sud-Est belge.* (Surveys écologiques régionaux, Trav. du C. N. E. G. (stencil), 2 vol., 311 p.)
- DUCHAUFOUR, PH.  
1957. *Pédologie — Tableaux descriptifs et analytiques des sols.* (Nancy, Ecole Nat. des Eaux et Forêts, 87 p.)  
1965. *Précis de pédologie.* (Paris, Masson et Cie, 2° éd., 481 p.)
- DUVIGNEAUD, P.  
1946. *La variabilité des associations végétales.* (Bull. Soc. Roy. Bot. Belg., 78, 107-134.)  
1963. *L'Ecosystème forêt.* (Lejeunia, NS, n° 20, 36 p.)  
1968. *La Chênaie-Frênaie à coudrier du bois de Wève : Aperçu sur la biomasse, la productivité et le cycle des éléments biogènes.* (Bull. Soc. Roy. Bot. Belg., 101, 111-128.)
- DUVIGNEAUD, P. et DENAEYER-DE SMET, S.  
1962. *Distribution de certains éléments minéraux (K, Ca et N) dans les tapis végétaux naturels.* (Bull. Soc. Franç. Physiol. Vég., 8, 96-103.)  
1964. *Le cycle des éléments biogènes dans l'écosystème forêt (forêts tempérées cadu-cifoliées).* (Lejeunia, NS n° 28, 1-148.)  
1968. *Biomass, Productivity and Mineral Cycling in Deciduous mixed forests in Belgium.* (Symposium on Primary Productivity and Mineral Cycling in Natural Ecosystems (12-XII-1967). Univ. of Maine Press, 167-186.)
- DUVIGNEAUD, P. et coll.  
1967. *La productivité primaire des écosystèmes terrestres. in : Problèmes de productivité biologique (LAMOTTE et BOURLIÈRE).* (Paris, Masson et Cie, 37-92.)
- DUVIGNEAUD, P., DENAEYER-DE SMET, S., AMBROES, P. et TIMPERMAN, J.  
1969. *La Chênaie mélangée calcicole de Virelles-Blaimont : Aperçu préliminaire sur les biomasses, la productivité et le cycle des éléments biogènes.* (Bull. Soc. Roy. Bot. Belg., 102, 317-323.)
- DUVIGNEAUD, P., MARBAISE, J.-L. et DENAEYER-DE SMET, S.  
1969. *La Chênaie mélangée calcicole de Virelles-Blaimont : La litière totale annuelle et restitution au sol des polyéléments biogènes.* (Bull. Soc. Roy. Bot. Belg., 102, 339-354.)



EHWALD, E.

1957. *Über den Nährstoffkreislauf des Waldes.* (Dtsch. Akad. Land. wirtsch.-wiss., Sitz. — Berlin, 6, 1-56.)

ELLENBERG, H.

1964. *Stickstoff als Standortsfaktor.* (Ber. dtsh. Bot. Gesell., 77, 82-92.)

EMBERGER, S.

1965. *Die Stickstoffvorräte bayrischen Waldböden.* (Forstwiss. Cbl., 84, 156-193.)

ÉQUIERRE (Groupe)

1963. *Programme de développement et d'aménagement du Sud-Est — Projet.* (Liège, 3 vol., 198 + 257 + 222 p, 25 planches.)

FIEDLER, H. J. et NEBE, W.

1963. *Über die Beurteilung der Düngedürftigkeit von Mittelgebirgsstandorten durch Bodenanalysen.* (Arch. Forstw., 12-9, 963-991.)

FIEDLER, H. J. et REISSIG, H.

1964. *Lehrbuch der Bodenkunde.* (Jena, VEB. G. Fischer verlag, 544 p.)

FROMENT, A. et TANGHE, M.

1967. *La Chênaie mélangée calcicole de Virelles-Blaimont : Répercussion des formes anciennes d'agriculture sur les sols et la composition floristique.* (Bull. Soc. Roy. Bot. Belg., 100, 335-352.)

GALOUX, A.

1967. *Les territoires écologiques. Analyse, description, classification.* (Lejeunia, NS n° 41, 20 p.)

HARTMANN, F.

1967. *Was zeigt uns der Wald über die Naturgesetzlichkeiten im Nährstoffhaushalt?* (Cbl. ges. Forstwesen, 84, 2-6, 174-181.)

HEINSDORF, D.

1963. *Vorräte an organischer Substanz und Stickstoff von einigen unterschiedlich stark degradierten Sandstandorten in Mittelbrandenburg.* (Arch. Forstw., 12-8, 868-886.)

1964. *Über die Zusammenhänge des Nährstoffgehaltes in Böden und Nadeln und des Wachstums von Kiefernkulturen auf Grundwasserfernen Standen.* (Arch. Forstw., 13, 865-888.)

JACKSON, M. L.

1958. *Soil chemical analysis.* (London, Constable and Co., 498 p.)

MALQUORI, A. et RADAELLI, L.

1959. *Ricerca su alcune forme del potassio nel suolo, con particolare riguardo al K scambiabile, al K fissato e al K fissabile.* (Agrochimica, 4-1, 25-48.)

MCLEAN, E. O. et SIMON, R. H.

1958. *Potassium status of some Ohio soils as revealed by greenhouse and laboratory studies* (Soil Sci., 85-6, 324-332.)

OVINGTON, J. D.

1956. *Studies of the development of woodland conditions under different trees. IV. The ignition loss, water, carbon, and nitrogen content of the mineral soil.* (Journ. of Ecology, 14, 171-179.)

1962. *Quantitative ecology and woodland ecosystem.* (Advances in Ecological Research, 1, 151-175.)

REICHENBACH, H. VON et SCHROEDER, D.

1960. *Ein Vergleich verschiedenen Methoden zur Bestimmung des Kaliumfestlegungsvermögens an einigen schleswig-holsteinischer Böden.* (Z. Pflanzener-nähr. Düng. Bodenk., NF 90, 116-132.)

RODIN, L. E. et BAZILEVICH, N. I.

1967. *Production and mineral cycling in terrestrial vegetation.* (Edinburgh-London, Oliver and Boyd, 288 p.)

RUNGE, M.

1965. *Untersuchungen über die Mineralstickstoff Nachlieferung an nordwestdeutschen Waldstandorten.* (Flora, 155, 353-386.)

SCHILLING, G.

1957. *Über den Bildungszustand von Mg, Ca, K in mitteldeutschen Böden.* (Chemie der Erde, 19, 170-197.)

SCHLENKER, G.

1960. *Zum Problem der Einordnung klimatischer Unterschiede in das System der Waldstandorte Baden-Württembergs.* (Mitt. Ver. f. Forts. Standortsk. Fortspflanzenzüch., 9, 3-15.)

SCHROEDER, D. et ZAHIROLESAM, S.

1963. *Die Magnesium — Vorräte schleswig-holsteinischer Böden.* (Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk., NF 100, 207-215.)

TANGHE, M. et FROMENT, A.

1968. *La Chênaie à Galeobdolon et Oxalis de Mesnil-Eglise (Ferage) : Variabilité du tapis herbacé de la Chênaie-coudraie en fonction des caractéristiques édaphiques superficielles.* (Bull. Soc. Roy. Bot. Belg., 101, 245-256.)

THILL, A.

1961. *Carte et texte explicatif de la planchette de Wellin 194 E. —* (Comité pour l'établissement de la carte des sols et de la végétation de la Belgique — Gand, carte + 62 p.)

TUREKIAN, K. K. et WEDEPOHL, K. H.

1961. *Distribution of the elements in some major units of the earth's crust.* (Bull. Geol. Soc. Amer., 72, 175-192.)

VAN DER MAREL, H. W.

1959. *Potassium fixation, a beneficial soil characteristic for crop production.* (Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk., NF 84, 51-63.)

VAN PRAAG, H. et MANIL, G.

1965. *Observations in situ sur les variations des teneurs en azote minéral dans les sols bruns acides.* (Ann. Inst. Pasteur, 109, suppl., n° 3, 256-271.)

VINOGRADOV, A. P.

1959. *The geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils.* (New York, Consultants Bureau.)

WEBER, J. B. et CALDWELL, A. C.

1963. *Potassium-supplying power of several Minnesota surface soils and subsoils.* (Soil Sci., 100-1, 34-43.)

WHITE, E. H. et LEAF, A. L.

1964. *Soil and tree potassium contents related to tree growth. I: HNO<sub>3</sub> extractable soil K.* (Soil Sci., 98-6, 395-402.)

WITTICH, W.

1951. *Der Einfluss der Streunutzung auf den Boden.* (Forstwiss. Cbl., 70, 65-92.)

ZÖTTL, H.

1965. *Anhäufung und Umsetzung von Stickstoff im Waldboden.* (Ber. dtsh. bot. Gesellsch., 78-4, 167-180.)