



HAL
open science

Recherches sur l'évolution des sols calcaires en Lorraine

Philippe Duchaufour

► **To cite this version:**

Philippe Duchaufour. Recherches sur l'évolution des sols calcaires en Lorraine. Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences Forestières, 1950, 12 (1), pp.97-153. hal-03483862

HAL Id: hal-03483862

<https://hal.science/hal-03483862>

Submitted on 16 Dec 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

RECHERCHES
SUR
L'ÉVOLUTION DES SOLS CALCAIRES
EN LORRAINE

PAR

Ph. DUCHAUFOUR

Docteur ès Sciences
Inspecteur des Eaux et Forêts

RECHERCHES SUR L'ÉVOLUTION DES SOLS CALCAIRES EN LORRAINE

Considérations générales

Nous nous proposons d'apporter, dans ce mémoire, une contribution à l'étude de l'évolution des sols calcaires sous l'influence de la végétation forestière : il nous a semblé que celle-ci exerçait une action éminemment favorable sur ces sols, tant au point de vue physique (profondeur, capacité en eau), qu'au point de vue chimique (élimination des carbonates en excès): nous avons alors comparé les types de sols forestiers sur ces roches-mères avec ceux de pelouses provenant de déboisements plus ou moins anciens, au voisinage des stations étudiées en forêt. Nous avons également comparé ces mêmes sols de pelouses nues, avec ceux des zones reboisées récemment; cela nous a permis de reconstituer dans ses grandes lignes l'évolution du sol de pelouse vers le sol forestier, en passant par le sol de la phase intermédiaire composée d'arbrisseaux et d'arbustes (*fruticée* de JOVET, et d'ALLORGE).

Afin de pouvoir éliminer l'influence du facteur *climat*, nous avons limité provisoirement nos recherches (à part quelques stations) à une région d'étendue restreinte; nous avons choisi la Lorraine (région de Nancy) qui nous a paru être particulièrement favorable à ce point de vue: les sols calcaires de type varié n'y manquent pas et c'est le plateau de Haye, ainsi que certaines collines du Grand Couronné qui ont constitué le principal théâtre de nos recherches; la forêt ancienne est représentée par le grand massif domanial de Haye, la forêt récente en voie d'évolution par les multiples reboisements communaux ou particuliers, et enfin les pelouses, régulièrement pâturées sont nombreuses; il manque cependant la vieille futaie de Hêtre, traitée depuis longtemps à l'état de futaie, qui seule correspondrait au Climax, et qui seule, selon nous, peut se caractériser, sur une roche-mère calcaire fissurée, par un sol brun profond: la forêt de Haye résulte en effet d'une conversion récente, et le traitement en taillis sous futaie retarde à la fois l'évolution des associations et des sols: c'est ce qui explique que, dans cette forêt, les sols bruns lessivés profonds, qui, nous le verrons, constituent le

Climax du sol, ne s'observent qu'assez rarement, tout au moins sur une roche-mère exclusivement calcaire.

La comparaison des plateaux et des pentes bordant les vallées nous a permis de mettre en relief l'influence de la topographie dans l'évolution des sols. A titre de comparaison et pour définir l'action de la roche-mère et de ses différents faciès petrographiques, nous avons pris également quelques stations en forêt d'Amance (calcaire ocreux et calcaire bleu à gryphées); nous avons en outre étudié une pente sur craie en forêt d'Eawy (Seine-Inférieure) ainsi que deux stations sur calcaire de Beauce: l'une en forêt de Russy (Loir-et-Cher), l'autre, caractérisée par une pelouse particulièrement typique, dans le Loiret (Domaine des Barres).

1. Principaux types de roche-mère prospectés

Il y en a deux grandes catégories, d'une part les calcaires durs, peu argileux, fissurés, donc très perméables qui sont bien représentés par les principaux faciès du Bajocien (calcaire oolithique, calcaire à entroques), d'autre part les calcaires marneux, plus argileux, plus tendres, en général peu fissurés; ils se décomposent en donnant une marne argilo-calcaire qui foisonne et gonfle en présence d'eau, et qui présente un caractère imperméable; c'est le cas du calcaire ocreux et du calcaire bleu à gryphées du sinémurien. Nous rattacherons à cette dernière catégorie les calcaires marneux de la forêt de Russy (calcaire de Beauce) et le calcaire compact à polypiers du bajocien: bien qu'il ne s'agisse pas là d'un calcaire marneux, son caractère de dalle non fissurée lui confère une imperméabilité semblable.

Ces deux types de roches-mères diffèrent surtout par la vitesse de l'évolution des sols qu'ils engendrent; celle-ci est rapide sur les calcaires fissurés perméables, beaucoup plus lente au contraire que les calcaires marneux non filtrants; une différence analogue se retrouve le long des pentes, les calcaires marneux, de même que tous les calcaires tendres (la craie, et surtout la *grouine*, ce dépôt d'accumulation le long des pentes) donnant beaucoup plus facilement prise à l'érosion que les calcaires compacts et présentant, de ce fait une évolution très lente.

Nous avons également observé, dans un but de comparaison certains sols formés sur roches-mères non calcaires ou tout au moins résultant d'un mélange d'éléments de décalcification provenant de la roche calcaire sous jacente, avec des argiles d'une origine différente: soit alluvions à cailloux roulés ou limons des terrasses de la Moselle, soit marnes de l'Aalénien. En ce qui concerne les sols de futaie, nous pourrions observer une analogie tout à fait caractéristique de ces sols sur roche-mère argileuse, avec les sols d'ancienne forêt sur roche calcaire.

2. Méthode d'études des associations (1)

Nous avons accordé, dans ce travail, une importance toute particulière à la *formation végétale*: il est en effet significatif que trois grands types de formation, la *pelouse*, la *fruticée*, la *forêt*, correspondent aux trois grandes étapes de l'évolution du sol.

Après avoir défini ces trois types fondamentaux de formation, nous avons cherché à y rattacher les *associations*: fidèle à la méthode que nous avons déjà définie antérieurement (22), nous nous sommes placé à ce point de vue sur le terrain écologique. En plein accord avec LACHAUSSÉE (43), nous considérons que l'étude *préalable* du milieu est nécessaire pour définir les principales espèces caractéristiques: celles-ci sont alors des *caractéristiques de station* avant d'être des caractéristiques d'association: c'est ainsi que sous l'influence de la modification des formations au fur et à mesure de la colonisation d'une pelouse par les espèces ligneuses, le *milieu local* se modifie progressivement: l'ambiance forestière se substitue à celle du plein découvert, l'ombre ainsi que l'humidité de l'atmosphère et du sol augmentent, tandis que le pH décroît: on constate que l'évolution de la flore herbacée traduit toutes ces modifications. Les caractéristiques de stations forment alors, grâce à l'identité de leurs exigences, une *association* qui reflète fidèlement l'état du milieu local.

L'étude de l'association permet à son tour de préciser la notion de formation; c'est ainsi que la fruticée a pu être subdivisée en trois types, fruticée mésophile, fruticée xérophile, fruticée thermophile, suivant la nature de la roche-mère calcaire, ou les conditions de l'exposition s'il s'agit d'une pente.

La formation sera donc pour nous une unité phytosociologique d'ordre supérieur, — un peu comme l'Alliance des phytosociologues (J. BRAUN-BLANQUET 10); nous distinguerons d'abord les caractéristiques de la formation: dans le cas de la fruticée, il s'agira d'espèces neutrophiles et assez exigeantes en lumière. Puis, pour les diverses associations, nous définirons les caractéristiques d'associations, qui permettront de différencier ces dernières les unes des autres. Ainsi, par exemple pour la fruticée mésophile, il s'agira d'espèces de sols frais, pour la fruticée xérophile d'espèces de sols secs, et enfin pour la fruticée thermophile, d'espèces exigeantes en chaleur.

Comme les associations étudiées sont en voie d'évolution rapide, la présence de certaines espèces, non caractéristiques de l'état actuel de l'association, donne des indications sur l'état antérieur (espèces

(1) Nous tenons à remercier ici M. GUINIER, directeur honoraire, et M. ROL, sous-directeur de l'École nationale des Eaux et Forêts pour leurs conseils avisés en matière de phyto-sociologie. M. OUDIN, directeur, nous a fourni d'utiles renseignements sur la Pédologie de la région; nous lui en exprimons notre gratitude.

reliques) ou sur l'état futur de l'association (espèces pionniers): nous pourrions donc en déduire des conclusions concernant la dynamique de l'association envisagée.

Quant aux relevés phytosociologiques eux-mêmes, ils ont été effectués à l'aide de la méthode de BRAUN-BLANQUET (10) pratiquée sur des surfaces d'environ 100 m²: le premier chiffre traduit l'abondance-dominance, d'après la surface recouverte (5: plus de 75 % - 4: 50 à 75 % - 3: 25 à 50 % - 2: surface inférieure à 25 % - 1: plante assez abondante à surface de recouvrement faible - + plante disséminée). Le second chiffre donne une idée de la sociabilité (échelle également de 1 à 5, indiquant une tendance à se grouper en taches de plus en plus étendues depuis 1 - pieds isolés - jusqu'à 5: peuplements continus).

3. Méthode d'études des sols

Les différents profils ont été observés et décrits jusqu'au niveau de la roche-mère en place, ici très facile à observer, puisqu'il s'agit de calcaire compact, encore peu décomposé.

Chaque horizon différencié a donné lieu en principe à une analyse: pour les sols superficiels à profils homogènes (rendzines et sols rendziniformes), une seule analyse a été faite. Pour les sols bruns, plus profonds, qui montrent une tendance à constituer deux horizons, l'un légèrement lessivé (A), l'autre enrichi en fer et en colloïdes (B), nous avons procédé à deux analyses.

Les carbonates ont été dosés à l'aide du calcimètre.

L'analyse granulométrique de la terre fine (passée au tamis à 2 mm.) nous a permis de classer les éléments du sol par catégories de grosseurs; nous avons adopté la classification internationale (sables grossiers, sables fins, limons, colloïdes minéraux). Nous utilisons le terme *colloïdes minéraux*, plutôt qu'argile, qui peut prêter à confusion, car il s'agit de tous les éléments de diamètre inférieur à 2 μ , comprenant outre les silicates, les carbonates à l'état colloïdal, abondants dans les rendzines types.

Nous avons, en effet, évité de procéder à la destruction des carbonates pour cette analyse granulométrique, en adoptant la méthode de DEMOLON (14) pour les terres calcaires: après destruction de la matière organique et lavage à KCl N/10, l'argile est peptisée par agitation en présence de citrate de soude; le fractionnement des argiles et des limons a été effectué à l'aide de la pipette de ROBINSON; les résultats sont exprimés en % du sol sec à l'air.

Le dosage de la matière organique a été effectué par la mesure du taux de carbone organique par la méthode d'ANNE (3). Le teneur en matière organique s'obtient en multipliant le taux de carbone par 1,7.

Le dosage de l'Azote à l'aide de la méthode KJELDAHL, nous a permis de calculer le rapport C/N (Carbone/Azote) des sols en-

core peu évolués (rendzines, sols rendziniformes) ou de l'horizon A, superficiel, des sols plus évolués (sols bruns).

La solubilité de l'humus dans la potasse étendue nous a fourni un test précieux pour la qualification des sols; la méthode décrite par DEMOLON (14), utilise le permanganate comme agent de titration en présence d'acide sulfurique; nous avons exprimé cette solubilité dans la potasse, en % de la matière organique totale contenue dans le sol.

Enfin, nous avons également procédé au dosage de la *Chaux échangeable*: il était indispensable de compléter la mesure du taux des carbonates, soit par le dosage du calcaire actif (méthode DROUINEAU 17), soit par le dosage de la chaux échangeable; nous avons adopté ce dernier parce qu'il nous donnait, en outre, des renseignements précieux sur le degré de saturation par la chaux, de la capacité d'échange des colloïdes, et notamment des colloïdes humiques. L'humus saturé de calcium nous est apparu en effet, comme ayant des propriétés très différentes de « l'humus doux » partiellement désaturé. L'analyse s'effectue de la façon suivante: percolation progressive par une solution neutre d'acétate d'ammonium, évaporation à sec, destruction de la matière organique, reprise par HCl; la précipitation est effectuée à un pH 5 et à chaud par l'oxalate d'ammonium; l'acide oxalique du précipité est ensuite libéré par traitement à l'acide sulfurique et dosé au permanganate N/10. La chaux échangeable est donnée en milliéquivalents pour 100 g. de terre.

4. Classification et nomenclature des sols

Nous avons distingué trois grands groupes de sols, les Rendzines, les sols de transition (sols bruns rendziniformes), les sols bruns.

Les principaux caractères pour chaque catégorie sont les suivants:

a) LES RENDZINES (1)

Sols riches en carbonate de chaux, très superficiels (10 à 30 cm.) à profil parsemé de nombreux cailloux calcaires; structure caractéristique à petits grumeaux arrondis.

Nous distinguerons plusieurs types de rendzines:

Les rendzines typiques (sols de pelouse) très riches en carbonates, de couleur brune (type R₁ de OUDIN 48).

Les rendzines légèrement dégradées (R₂ de OUDIN 48) déjà partiellement décarbonatées, de structure moins nette.

(1) PALLMANN (50) distingue les sols humiques carbonatés et les Rendzines, les premiers étant plus riches en carbonates et en humus que les seconds. Cette distinction, surtout valable pour les sols de montagne, n'a pas été appliquée ici.

Enfin, nous réserverons une place à part aux *rendzines forestières* (R. noires) déjà recouvertes par des formations ligneuses (fruticée) et qui semblent le plus souvent en voie d'évolution rapide vers les sols bruns ; sauf sur certaines pentes, ces rendzines, de couleur noire, sont moins riches en carbonates et plus riches en humus que les rendzines de pelouses.

b) LES SOLS BRUNS RENDZINIFORMES

Ces sols de transition présentent des caractères intermédiaires entre les Rendzines et les sols bruns : nous en avons fait une catégorie spéciale : on peut les rapprocher des rendzines dégradées (R₂) de la classification de OUDIN (48) et d'AUBERT (5), mais ils ne présentent aucune trace de migration et d'accumulation d'argile en profondeur.

Ces sols, encore très superficiels et riches en humus sur toute l'épaisseur du profil (couleur brune assez foncée) sont à peu près complètement exempts de carbonates dans la terre fine ; leur structure est intermédiaire entre celle des rendzines et celle des sols bruns ; elle est caractérisée par la présence de petits grumeaux anguleux (petits polyèdres).

c) LES SOLS BRUNS (SOLS DE LA HÊTRAIE)

Ils sont déjà plus profonds et on observe leur tendance à présenter trois horizons : un horizon A₁ superficiel, riche en humus doux, de couleur brun foncé, un horizon A₂, de couleur brun ocre, non humifère, un horizon B un peu plus compact et plus rouge ; la structure est grossièrement polyédrique, et tend à former *des motets anguleuses*.

Lorsque le sol est encore superficiel, il se rapproche de la catégorie précédente, et n'en diffère que par sa structure polyédrique et sa teneur plus faible en humus, qui est localisé dans l'horizon A₁ de surface ; la couleur générale est donc plus claire ; il s'agit d'un sol brun non lessivé de la catégorie U.

Si le sol est plus profond, plus évolué, les différents horizons apparaissent plus nettement : en particulier, l'horizon d'accumulation B devient nettement distinct ; l'analyse montre un début de lessivage de l'argile : il s'agit d'un sol brun faiblement lessivé de la catégorie N (OUDIN 48, AUBERT 5).

5. Numérotation des stations étudiées

Les différentes stations étudiées ont été classées essentiellement d'après les types de sol : ceux-ci ont été numérotés de 1 à 4 et ce

numéro constitue le premier chiffre des nombres affectés à chaque station.

- Catégorie 1: Rendzine de pelouse.
- Catégorie 2: Rendzine noire forestière.
- Catégorie 3: Sol brun rendziniforme.
- Catégorie 4: Sol brun.

Chaque station porte un deuxième chiffre (ou nombre de deux chiffres) qui est un simple numéro d'ordre.

Exemple: Sol 24: 4^e station caractérisée par un sol de rendzine forestière.



PREMIERE PARTIE

Etude statique - Les Associations et les Sols

I. — LA PELOUSE SUR RENDZINES

1. L'association (Tableau 1)

L'association caractéristique est la pelouse xérophile, maintes fois décrite par divers auteurs sous des noms divers: « pelouse à *Festuca duriuscula* » (ALLORGE 1, GAUME 31, pour le Bassin Parisien), *Xerobrometum erecti* (QUANTIN 52 pour le Jura méridional, LEMÉE 45 pour le Perche). LUQUET (47) a également décrit un groupement analogue en Limagne (association à *Helianthemum apenninum* et *Koeleria vallesiana*). Il existe de cette association plusieurs faciès plus ou moins xérophiles, nettement distingués par LEMÉE qui en fait des associations distinctes groupées dans l'alliance du *Bromion erecti*.

Ce sont les graminées qui constituent, de beaucoup, l'élément dominant: *Bromus erectus* d'abord, puis *Festuca duriuscula* abondante surtout dans les stations les plus sèches à sol très superficiel, *Brachypodium pinnatum* caractérisant au contraire les stations un peu plus fraîches. On trouve également *Briza media*, *Koeleria cristata*, *Avena pubescens*.

Il faut noter la pauvreté relative de ces relevés en espèces caractéristiques exclusives, mentionnées par la plupart des auteurs précédemment cités, pour les régions qu'ils ont étudiées: citons l'absence de *Ononis natrix*, *Anemone pulsatilla*, *Aceras anthropophora*.

D'autres espèces, telles que *Coronilla minima*, *Helianthemum polifolium*, *Linum tenuifolium*, *Teucrium montanum* n'ont été relevées par nous que dans la pelouse du domaine des Barres dans le Loiret; l'aire de *Helianthemum polifolium* n'atteint pas la Lorraine; mais les autres espèces existent en Lorraine, et on doit attribuer leur absence dans les relevés effectués, à l'origine relativement récente des pelouses qui proviennent surtout de déboisements (GUINIER 34).

Notons que les stations 11 à 18 sont des stations à peu près horizontales; les stations 19 à 110, sur pente assez forte, à exposition

TABLEAU I. — PELOUSE XÉROPHILE (I)

CARACTÉRISTIQUES	11	12	13	14	15	16	17	18
<i>Bromus erectus</i>	3 4	3 3	3 3	3 3	5 5	1 3	2 3	4 4
<i>Festuca duriuscula</i>	3 3	2 2	2 3	3 3	1 3	2 3	2 3	3 3
<i>Koeleria cristata</i> .....	.....	1 3	.....	2 3	.....	2 3	2 3	.....
<i>Briza media</i> .....	+	.....	.....	1 2	+	2 3	2 3	.....
<i>Avena pubescens</i> .....	.....	.....	.....	1 4	+	1 3	.....	+
<i>Brachypodium pinnatum</i> .....	+	.....	.....	1 3	+	2 4	1 3	.....
<i>Orchis pyramidalis</i> .....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
<i>Potentilla verna</i>	1 3	+	1 2	+	+	+	.....	1 1
<i>Hippocrepis comosa</i>	2 2	.....	1 3	.....	.....	.....	2 3	1 1
* <i>Coronilla minima</i> .....	+	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
<i>Genista sagittalis</i> .....	.....	.....	2 3	.....	.....	.....	2 2	1 1
<i>Helianthemum vulgare</i>	2 1	.....	.....	.....	.....	.....	+	2 1
* <i>H. polifolium</i>	1 1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
<i>Seseli montanum</i> .....	+	.....	1 1	.....	.....	.....	.....	.....
* <i>Linum tenuifolium</i> .....	+	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
<i>Euphorbia cyparissias</i> .....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
<i>Thymus serpyllum</i>	1 1	.....	+	.....	.....	.....	.....	2 1
<i>Stachys recta</i> .....	+	.....	1 1	3 4	1 3	2 3	1 3	.....
* <i>Teucrium montanum</i> .....	+	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
<i>Asperula cynanchica</i>	1 1	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
<i>Hieracium pilosella</i> .....	.....	.....	1 1	+	.....	.....	1 3	.....
<i>Cirsium acule</i> .....	+	.....	.....	+	.....	.....	1 2	.....
<i>Cladonia endiviatifolia</i>	1 3	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
COMPAGNES	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
<i>Lucula campestris</i> .....	.....	.....	.....	.....	+	.....	.....	.....

sud, sont enrichies d'éléments thermophiles et on y trouve des arbres rabougris et des buissons tels que *Quercus lanuginosa*, *Cerasus Mahaleb*; elles passent ainsi à une forme particulièrement thermophile de la fruticée (nous y reviendrons dans le chapitre suivant); leur sol, en raison de la pente, est presque squelettique.

Principales stations observées (Tableau I - Stations 11 à 18)

11. - « Le four à chaux », domaine des Barres (Loiret).
12. - Plateau de Haye, terrain de manœuvres, route de Nancy à Maron (M.-et-M.).
13. - Plateau de Haye, terrain de golf, route de Nancy à Pont-Saint-Vincent.
14. - Plateau de Malzéville, bordure ouest au-dessus de Malzéville.
15. - Pelouse de Rays, route des Cinq-Tranchées, à Frouard (M.-et-M.).
16. - Plateau de Haye, friches dominant Chaligny.
17. - Station voisine de la précédente, au voisinage de la parcelle 36 de la 8^e série de futaie.
18. - Plateau de Haye, friches de Ludres.
19. - Plateau de Malzéville: *pente forte*, exposition S.-O. dominant Malzéville:

3 2	<i>Carex glauca.</i>	1 2	<i>Peucedanum cervaria.</i>
2 2	<i>Kaleria cristata.</i>	1 2	<i>Laserpitium latifolium.</i>
1 3	<i>Avena pubescens.</i>	+	<i>Polygala calcarea.</i>
1 2	<i>Briza media.</i>	2 3	<i>Quercus lanuginosa.</i>
+	<i>Brachypodium pinnatum.</i>	1,3	<i>Cornus sanguinea.</i>
1 3	<i>Hippocrepis comosa.</i>	+	<i>Lonicera xylosteum.</i>
2 3	<i>Genista pilosa.</i>	+	<i>Viburnum lantana.</i>
+	<i>Astragalus glycyphyllos.</i>	1 3	<i>Ligustrum vulgare.</i>
+	<i>Epipactis latifolia.</i>	2 3	<i>Teucrium chamædrys.</i>
+	<i>Fragaria vesca.</i>	1 2	<i>Hieracium murorum.</i>

110. - Vallon de Bellefontaine, *pente forte* vers le Sud:

1 3	<i>Carex glauca.</i>	1 1	<i>Helianthemum vulgare.</i>
1 1	<i>C. montana.</i>	+	<i>Seseli montanum.</i>
+	<i>C. halleriana.</i>	1 2	<i>Quercus lanuginosa.</i>
2 2	<i>Festuca duriuscula.</i>	1 1	<i>Teucrium chamædrys.</i>
2 2	<i>Brachypodium pinnatum.</i>	1 2	<i>Thymus serpyllum.</i>
+	<i>Anemone pulsatilla.</i>	+	<i>Hieracium pilosella.</i>
2 2	<i>Genista pilosa.</i>		

2. Les sols

Les sols caractéristiques des pelouses anciennes sont toujours des *rendzines typiques*, très riches en carbonate de chaux.

C'est le cas de la pelouse du domaine des Barres dans le Loiret (Stat. 11) sur l'ancienneté de laquelle existent des preuves historiques (vestiges de carrières de four à chaux) et phytosociologiques : la présence de très vieux pieds de génévriers parsemés au milieu de la pelouse, ainsi que la richesse de la flore parlent nettement dans ce sens.

En Lorraine, les pelouses proviennent de déboisements en général moins anciens : les sols mis à nu, lorsqu'il s'agissait de sols forestiers eux-mêmes superficiels sur roche-mère calcaire (stations de lisière), sont cependant retournés très vite à l'état de rendzines sous l'action du piétinement et du pâturage intensifs (St. 12 et 13).

Par contre, lorsque la pelouse a envahi des sols forestiers plus évolués, plus profonds, et que la substitution d'une formation à l'autre est d'origine plus récente encore, les caractères des rendzines sont moins nets : la teneur en carbonates est plus faible, la structure en grumeaux moins visible ; cependant, le profil très superficiel — (10 - 20 cm.), présentant de nombreux cailloux calcaires disséminés, indique une rapide évolution vers la rendzine : nous avons rattaché ce type de sol aux « *Rendzines dégradées* » bien que ce terme convienne mal pour le qualifier (Stations 14 à 16), puisqu'il est au contraire en voie d'évolution vers la rendzine typique.

Il faut également signaler le cas des pelouses de bordure de plateaux dominant la Moselle, qui reposent indubitablement sur des limons alluviaux formant une couche peu épaisse (20 à 30 cm.) au-dessus des calcaires (Stat. 17 et 18). La présence de cailloux roulés en certains points (au voisinage de la station 17 en particulier) témoigne de l'origine de la roche-mère. Dans ces deux cas, le sol est un sol brun superficiel, assez voisin des sols forestiers les moins évolués.

Enfin, les sols des pentes que nous avons signalées (St. 19 et 110) sont des rendzines types, mais très superficielles, souvent véritablement squelettiques : elles n'ont pas été analysées.

DESCRIPTION DES PROFILS

Rendzine type (11 à 13) - un seul horizon, homogène, très superficiel (10 à 25 cm. d'épaisseur), de couleur brune ou grise, à structure en *grumeaux ronds* très nette - tout le profil contient de petits cailloux calcaires.

Rendzine légèrement dégradée (14 à 16) - un seul horizon, homogène, peu épais (20 à 30 cm.) - structure à très petits agrégats passant souvent à une structure limoneuse ; assez gros cailloux calcaires dans toute l'épaisseur du profil.

ANALYSES (en % de sol sec à l'air)

	pH	Col- loid. min.	Lim.	S. fins	S. gr.	H ₂ O	Mat. org.	Humus sol. KOH (1)	Co ³ Ca total	Chaux éch. (m. e. %)	C/N
1° <i>Rendzines typiques:</i>											
11	7,9	18,5	31	18,6	25,8	0,9	5,2	7,5	40		15
12	8,2	29	19,5	22,9	14,3	5,2	9,1	5	12,6	51,2	10,8
13	8,2	29	21,5	21,3	14,5	5,8	7,9	3,8	18	40,2	12
2° <i>Rendzines faiblement dégradées:</i>											
14	7,2	33	24	24,7	5,0	6,4	6,9	4,3	3	43,3	9,6
15	8,2	13	25,5	47,1	1,6	6,0	6,8	6,6	3,8	46,5	
16	6,8	37,5	28,5	24,9	0,5	4,2	4,4	8,5	0,5		9,2

(1) En % de la matière organique totale.

Il est possible de tirer de ces analyses les conclusions suivantes:

Dans les rendzines typiques la teneur en calcaire dans la terre fine est supérieure à 10 %; elle n'est que de 3 à 4 %, ou même moins, (Station 16), dans les rendzines dégradées. Le taux de chaux échangeable oscille entre 40 et 50 m. e. pour les deux types de sol.

La solubilité de la matière organique dans la potasse étendue est *très faible*, dans tous les cas: toujours inférieure à 9 % elle est en moyenne de 6 % de la matière organique totale.

Enfin, le rapport C/N diminue sensiblement, parallèlement à la teneur en calcaire; de 12,7 en moyenne dans les rendzines typiques, il s'abaisse à 9,4 seulement dans les rendzines décarbonatées.

II. — LA FRUTICEE SUR SOLS DE TRANSITION

1. Les associations (Tableau II)

Elles appartiennent toutes à une même formation, composée essentiellement d'arbustes, que nous nommerons « fruticée », à la suite d'ALLORGE et JOVET (2). Pour le forestier, il s'agit essentiellement d'un taillis médiocre, à réserves clairsemées et comprenant plus de « morts-bois », sans valeur, que de cépées de charme; les essences principales sont les Chênes: *Quercus pedunculata* (fruticée mésophile), *Quercus sessiliflora* (fruticée xérophile), *Quercus lanuginosa* même, sur les pentes chaudes (fruticée thermophile). Le Charme est presque toujours présent sauf dans le der-

nier cas; la présence du Hêtre indique un stade ultérieur, évoluant vers la Hêtraie.

Les caractéristiques communes aux différents faciès de cette fruticée sont surtout des espèces exigeantes en lumière, et demandant un sol neutre, dont l'humus est saturé de calcium: ces deux exigences les distinguent des caractéristiques de la Hêtraie à humus doux: parmi les espèces ligneuses signalons la constance de l'érable champêtre (*Acer campestre*) accompagné de son cortège d'arbustes neutrophiles (*Evonymus europaeus*, *Cornus mas* et *C. sanguinea*, *Viburnum lantana*, *Lonicera xylosteum*, *Ligustrum vulgare*, etc...). Parmi les plantes herbacées *Brachypodium sylvaticum* est également caractéristique des sols neutres, mais elle supporte moins bien la lumière que les espèces précédentes et se réfugie sous leur ombre.

Nous distinguons dans cette formation trois associations bien distinctes, malgré leur affinité certaine: chacune possède ses caractéristiques propres, liées à certaines conditions particulières de milieu: la *Fruticée mésophile* à Chêne pédonculé dominant s'observe sur les sols marneux assez riches en réserves d'eau. La *Fruticée xérophile* à chêne rouvre dominant est l'association typique des sols calcaires durs et fissurés, en station horizontale; enfin, la *Fruticée thermophile*, colonise les pentes fortes à expositions chaudes: le Chêne pubescent en est l'espèce principale.

La *Fruticée mésophile*, association des sols à forte capacité en eau, est caractérisée par la présence, dans la strate arborescente, à côté du Chêne pédonculé, du Frêne et du Tilleul (*Tilia cordata*). Les espèces herbacées les plus typiques sont: *Viburnum Opulus*, *Deschampsia cespitosa*, *Arum maculatum*, *Primula elatior*, *Stachys sylvatica*, *Glechoma hederacea*, *Paris quadrifolia*; signalons l'analogie de cette association avec le *Querceto-carpinetum* étudié par LEMÉE (45) dans le Perche, par QUANTIN (52) dans le Jura méridional.

Dans la *Fruticée xérophile*, qu'on rencontre sur les sols calcaires fissurés, les espèces adaptées à la fois à un fort ensoleillement, et à un sol très sec, prennent plus d'importance: avec le Chêne rouvre, le Charme, le Coudrier, on rencontre *Sorbus Aria*, *Carex montana* et *C. glauca*, *Melica nutans*, *Hepatica triloba*, *Fragaria vesca*; quant à *Mercurialis perennis*, nous ne l'avons pas placée dans les « caractéristiques » parce qu'elle exige une ambiance forestière déjà constituée et qu'elle n'existe que dans les stations ombragées; mais elle demande un sol aéré, bien drainé, et c'est une *neutrophile* caractérisée; elle disparaît des sols de Hêtraies, déjà légèrement acidifiés.

Dans ces deux associations, la présence du Hêtre, et de ses caractéristiques (*Poa Chaixii*, *Melica uniflora*, *Milium effusum*, *Anemone nemorosa*, *Asperula odorata*) indique un début d'évolution

vers un stade ultérieur, la Hêtraie (espèces pionniers). La station 36, sur une pente exposée au Nord, se rapproche beaucoup d'une Hêtraie. Les stations 27 et 28 à forte pente, sont déjà de véritables Hêtraies (dont on trouvera les relevés ci-dessous), mais où la présence d'arbustes neutrophiles, de *Mercurialis perennis*, de *Carex glauca*, etc... trahit un sol encore riche en carbonates.

Quant à la *Fruticée thermophile*, c'est l'association particulière des fortes pentes exposées au sud : elle présente outre plusieurs des espèces xérophiles précédentes, de nombreuses espèces compagnes du Chêne pubescent, comme lui exigeantes en chaleur ; c'est le *Querceto-Lithospermetum* décrit par QUANTIN (52) et LACHAUSSÉE (43) dans le Jura méridional, mais appauvri en espèces. Les relevés des Stations 19-110 qu'on trouvera dans le paragraphe précédent (page 110) donnent une idée de cette association, car il s'agit de pelouses déjà partiellement envahies par les espèces ligneuses ; la station 26 (relevée dans le Tableau II) qui est située sur un plateau bordant une pente, marque également une tendance très nette vers la fruticée thermophile. Citons parmi les espèces caractéristiques, *Quercus lanuginosa*, parfois *Cerasus Mahaleb*, *Teucrium chamaedrys*, *Carex halleriana*, *Peucedanum Cervaria*, *Genista pilosa*. Au voisinage de la station 26, sur la corniche calcaire dominant la Moselle, on trouve, en outre *Sesleria caerulea*, *Amelanchier vulgaris*, *Peucedanum Cervaria*, *Fumana procumbens* (1).

Nous n'avons pas étudié de façon détaillée la fruticée thermophile dont les sols, sur pente assez forte, sont semblables à ceux de la pelouse correspondante ; sols superficiels parfois même squelettiques.

Principaux relevés effectués (Tableau II).

a) *Fruticée mésophile*.

- Stat. 21. - Plateau de Haye, Fourasses de Villers, parcelle 15, Dalle de calcaire à Polypiers.
- Stat. 22. - Forêt domaniale de Russy (Loir-et-Cher). La Maison-Verte, parcelle 9, calcaire de Beauce (faciès marneux).
- Stat. 31. - Forêt d'Amance, parcelle 5 de la série de taillis sous futaie, rond de l'École, calcaire ocreux.
- Stat. 32. - Forêt d'Amance, parcelle 6 de série de futaie claire, calcaire bleu à gryphées.

b) *Fruticée xérophile* (sur calcaire dur, fissuré).

- Stat. 23. - Plateau de Haye, parcelle 10, 8^e série. Chemin de la Haute-Borne.

(1) La présence de cette espèce, en une station très bien exposée du plateau de Malzéville, a été signalée par M. GUINIER, Directeur honoraire de l'École Forestière.

- Stat. 24. - Route de Nancy à Maron, reboisements récents, en face du Champ de manœuvres.
- Stat. 25. - Forêt de Haye, pente exposée à l'Ouest, vallon de la Crédence, parcelle 24 (4^e série).
- Stat. 26. - Forêt communale de Pompey, parcelle 20, bord du plateau au sommet d'une forte pente vers la Moselle.
- Stat. 30. - Forêt de Haye, canton de la Grande-Fraize, parcelle 56 haut (côté route Bagnéris).
- Stat. 34. - Reboisements récents, au voisinage de la route de Nancy à Pont-Saint-Vincent, à côté du terrain de golf.
- Stat. 35. - Plateau de Malzéville, bois de Malzéville, près de la bordure est du plateau.
- Stat. 36. - Forêt de Haye, pente très forte au-dessus du Val-de-Fer (parcelle 45).

c) *Fruticée thermophile.*

(Voir paragraphe précédent. Stations 19 et 110 déjà décrites, page 110).

d) *Fruticée évoluant vers la Hêtraie.*

- Stat. 27. - Forêt de Haye, pente forte exposée à l'Est, vallon de la Crédence, parcelle 35, 4^e série, la roche-mère est la *grouine*.
- Stat. 28. - Forêt d'Eawy (Seine-Inférieure). Le Val-Roux, versant Sud-Est, au-dessus d'un vallon frais, craie blanche.

Relevés des Stations 27 et 28.

STATION 27

5 5	<i>Fagus sylvatica</i> (perchis).	+	<i>Arum maculatum.</i>
+	<i>Fraxinus excelsior.</i>	3 1	<i>Mercurialis perennis.</i>
+	<i>Ulmus montana.</i>	+	<i>Euphorbia sylvatica.</i>
+	<i>Acer pseudoplatanus.</i>	1 1	<i>Viola sylvestris.</i>
+	<i>Rosa arvensis.</i>	2 1	<i>Hedera Helix.</i>
+	<i>Ribes alpina.</i>	1 1	<i>Asperula odorata.</i>
1 1	<i>Paris quadrifolia.</i>	+	<i>Pulmonaria officinalis.</i>
2 1	<i>Anemone nemorosa.</i>	1 1	<i>Lamium Galeobdolon.</i>
1 1	<i>A. ranunculoides.</i>		

STATION 28

3 1	<i>Fagus sylvatica.</i>	2 1	<i>Carex glauca.</i>
2 3	<i>Rosa arvensis.</i>	+	<i>Orchis purpurea.</i>
+	<i>Cratægus monogyna.</i>	2 1	<i>Fragaria vesca.</i>
+	<i>Rubus fruticosus.</i>	+	<i>Euphorbia sylvatica.</i>
2 3	<i>Cornus sanguinea.</i>	1 3	<i>Mercurialis perennis.</i>
+	<i>Viburnum Opulus.</i>	+	<i>Asperula odorata.</i>
+	<i>Evonymus europæus.</i>	1 2	<i>Hedera Helix.</i>
+	<i>Ligustrum vulgare.</i>	+	<i>Veronica chamædrys.</i>
3 3	<i>Brachypodium sylvaticum.</i>		

2. Les sols

Nous en distinguerons deux types, correspondant à deux stades d'évolution distincts: les *Rendzines forestières* (Rendzines noires) et les sols *bruns rendziformes*, en voie de transformation vers le sol brun typique.

Les Rendzines forestières sont l'indice soit d'une *colonisation récente par la fruticée*, donc d'une évolution qui n'en est encore qu'à son début (Stat. 23-24) soit d'une *évolution retardée ou empêchée par une condition particulière de la station*: il peut s'agir d'une roche-même marneuse, imperméable, freinant le lessivage des carbonates (Stat. 21 ou 22), ou d'une station en pente assez forte, provoquant le rajeunissement du sol par érosion (Stat. 25 à 28).

Comme nous l'avons déjà indiqué, les rendzines forestières sont plus riches en humus que les rendzines de pelouses, d'où leur couleur plus foncée. En stations horizontales, elles sont beaucoup *moins riches* en carbonates que les rendzines de pelouses: par contre, sur les pentes de roches tendres (craie - grouine), l'érosion faisant constamment intervenir de nouvelles portions profondes de roche-mère dans la néoformation des sols, ceux-ci restent très riches en carbonates (Stat. 27 et 28).

Lorsque la colonisation par la fruticée est plus avancée, et notamment lorsque celle-ci passe à la Hêtraie, ou qu'aucun facteur de roche-mère ou de topographie ne vient freiner l'évolution des sols, celle-ci progresse vers le stade du sol brun rendziniforme, sol encore jeune, à un seul horizon, mais presque totalement décarbonaté, dont nous avons déjà indiqué les principaux caractères.

Ces sols peuvent caractériser aussi bien la fruticée mésophile (taillis sous futaie à Chêne pédonculé et Frêne), lorsque la roche-mère est constituée par un calcaire marneux, peu perméable (stations 31 et 32 en forêt d'Amance), que la fruticée xérophile (taillis sous futaie à Chêne rouvre) si la roche-mère est un calcaire fissuré filtrant (Stations 33 à 36).

DESCRIPTION DES PROFILS

Rendzines forestières: un seul horizon homogène de 15 à 25 cm. d'épaisseur, à cailloux calcaires plus ou moins gros. Structure en grumeaux arrondis très nette. Couleur noire.

Sol brun rendziniforme: un seul horizon homogène de 25 à 40 cm. d'épaisseur: absence de cailloux calcaires, ou seulement présence de cailloux de grosses dimensions vers la base du profil. Structure en petits polyèdres à arêtes vives. Couleur brune assez foncée.

Ainsi ces sols sont moins riches en humus que les premiers, ils sont plus profonds, moins caillouteux et leur structure évolue vers celle d'un sol brun.

ANALYSES (en % de sol sec à l'air)

	pH	Coll. min.	Lim.	S. fins	S. gr.	H ² O	Mat. org.	Humus sol KOH	Co ² Ca total	Chaux éc.	C/N
<i>1° Rendzines forestières.</i>											
21 ..	8	43	19	17,6	2,7	6,1	11,6	8,6	6	54,4	14,2
22 ..	8	39,5	11	13	20,1	6,2	10,2	10	6,7	53,7	14,3
23 ..	7,8	45,5	22,5	17,1	1,5	5,4	8,0	7,5	1,2	42,7	14,2
24 ..	8	33,5	26,5	17,4	0,6	7,6	14,4	5,5	0,8	50,3	
25 ..	7,9	35	26	19,7	0,4	7,2	11,7	5	0,7	48,5	15,3
26 ..	7,5	37	19	20,3	0,9	7,4	15,4	4,8	2	55,8	14
27 ..	8,0	26	26,5	17,6	15,8	4,8	9,3	4,8	21 (1)	47,5	12
28 ..	8,0	21	28	30,1	4,4	6,0	10,5	5	33 (1)		
<i>2° Sols bruns rendziniiformes:</i>											
31 ..	6,3	41,5	24,5	17,9	3,2	6,5	6,4	7,8	traces	27,2	
32 ..	6,5	49	22,5	14,9	1,0	7,4	5,2	8,6	traces	34,7	
33 ..	6,6	39	23	22,9	0,2	6,6	8,3	—	0		
34 ..	6,4	39,5	21,5	25,8	0,3	6,2	6,8	6,6	traces	28,3	12
35 ..	6,5	36,5	18,5	28,7	1,6	6,9	7,8	8,3	0	29,8	10,2
36 ..	6,8	35,0	22,5	24,1	1,5	6,2	10,7	6	traces	32,2	

(1) Chiffres élevés, car il s'agit ici de stations en pente sur roche-mère tendre (grouine, craie).

On peut observer de grandes différences entre les propriétés des deux types de sol; on constate que les sols bruns rendziniiformes sont presque entièrement dépourvus de carbonate, ce qui se traduit par une baisse du pH (en moyenne 6,5 au lieu de 8) et par une désaturation partielle du complexe absorbant en calcium (calcium échangeable: 30 en moyenne au lieu de 50 pour les rendzines).

Par contre la solubilité dans la potasse de l'humus reste du même ordre de grandeur (en moyenne 7 % de la matière organique totale).

Le rapport C/N s'abaisse dans de fortes proportions (de 14 à 11). Enfin, la quantité totale de matière organique très élevée dans

les rendzines (en moyenne 11 %) est plus faible dans les sols bruns rendziniformes (moyenne 7,5 %).

La teneur en colloïdes minéraux n'offre que peu de variations; par contre le taux parfois élevé des sables grossiers (22 - 27) indique seulement la présence de « sable calcaire » dans les rendzines les plus caractéristiques.

III. — LA HÊTRAIE SUR SOLS BRUNS FORESTIERS

1. L'association type (Tableau III)

C'est l'association bien connue de la Hêtraie (*Fagetum*) caractérisée par la dominance presque exclusive du Hêtre dans l'étage dominant: il semble que la Hêtraie constitue le *Climax*, le terme de l'évolution des associations, dans la région lorraine (GUINIER 34). Les conditions de *milieu local* et notamment de *microclimat*, sont bien différentes dans la Hêtraie de celles des associations précédentes et notamment de la fruticée xérophile; le microclimat est plus humide, moins ensoleillé, il est surtout favorable aux plantes d'ombre; le sol est plus profond; plus riche en colloïdes, donc mieux alimenté en réserves d'eau, enfin l'humus est du type humus doux (ou Mull.), légèrement acide, et à décomposition rapide; il est lié à la présence d'une flore particulière, différente de la flore neutrophile.

Parmi les espèces arbustives, les seules qui subsistent sont les moins exigeantes en ce qui concerne la neutralité du sol, et la lumière: on ne trouve plus que la Ronce, *Rosa arvensis*, *Ribes alpinum*, *Crataegus oxyacantha*, *Corylus Avellana*. La flore herbacée, bien typique de la Hêtraie, est constituée essentiellement par les éléments d'humus doux, qui présentent aussi le caractère d'être *ombrophiles*: parmi les éléments presque constants, citons *Poa Chaixii*, *Milium effusum*, *Melica uniflora*, *Anemone nemorosa*, *Hedera Helix*, *Asperula odorata*, *Lamium Galeobdolon*; *Galium sylvaticum* est à peu près constant également, mais toujours représenté par un petit nombre de pieds.

Comme éléments moins constants, citons: *Carex digitata*, *Poa nemoralis*, *Vicia sepium*, *Euphorbia dulcis* et *E. sylvatica*; enfin. *Luzula albida*, indice d'une acidification assez accentuée n'apparaît que dans un stade d'évolution particulièrement avancée, très proche du stade climacique. Si on examine en effet la répartition des espèces reliques du stade antérieur dans les différents relevés, on constate que *Luzula albida* n'existe que dans les stations pour lesquelles ces espèces reliques sont particulièrement peu nombreuses: celles-ci par contre dominant sur les sols, encore superficiels au voisinage de la neutralité. Un cas particulier est celui de *Deschampsia cespitosa*, espèce assez tolérante relativement au pH du sol,

TABLEAU III. — LA HÉTRAIE

	41	42	43	44	45	46	47	48	49	410
STRATE ARBORESCENTE										
<i>Fagus sylvatica</i>	3 3	4 4	4 3	4 4	4 1	5 4	3 1	3 4	3 1	4 4
<i>Quercus sessiliflora</i>	2 1	1 1	.....	.....	1 1	.....	1 1	+	.....	1 1
<i>Carpinus betulus</i>	2 3	.....	.....	1 3	.....	.....	1 3	3 4	3 1	.....
<i>Sorbus terminalis</i> .....	.....	.....	.....	+	+	.....	.....	.....	.....	.....
STRATE ARBUSTIVE										
<i>Rosa arvensis</i>	+	+	+	+	2 1	.....	.....	.....	2 3	.....
<i>Rubus fruticosus</i>	1 1	+	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	+
<i>Rubus Idæus</i> .....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	+	.....	.....	.....
<i>Ribes alpinum</i> .....	.....	+	+	+	.....	+	.....	.....	+	.....
<i>Crataegus oxyacantha</i>	1 3	+	+	+	1 3	+	.....	.....	+	.....
<i>Corylus avellana</i> .....	.....	.....	.....	.....	.....	+	.....	.....	.....	.....
CARACTÉRISTIQUES										
<i>Carex sylvatica</i>	1 3	+	.....	+	.....	+	.....	1 3	.....	1 3
<i>C. digitata</i> .....	.....	+	+	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
<i>Poa Chaixii</i>	2 3	1 3	1 1	1 3	.....	.....	2 3	2 3	1 3	2 3
<i>P. nemoralis</i> .....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	1 1	.....	.....	.....
<i>Milium effusum</i> .....	+	+	+	.....	.....	1 1	+	1 1	.....	2 2
<i>Melica uniflora</i> .....	.....	1 1	.....	+	1 2	1 1	1 4	.....	2 3	1 3
<i>Luzula albidula</i> .....	.....	+	.....	.....	.....	.....	2 3	.....	.....	3 4
<i>Anemone nemorosa</i>	2 1	3 2	2 1	3 1	3 1	2 1	2 1	.....	.....	1 3
<i>Orobanchus vernus</i> .....	.....	.....	.....	.....	+	.....	.....	.....	.....	.....

mais particulièrement exigeante au sujet de sa capacité de rétention de l'eau : *Deschampsia cespitosa* existe donc dans la Fruticée mésophile comme nous l'avons vu ; elle apparaît aussi dans la Hêtraie climacique, parvenue au terme de l'évolution de l'ancienne fruticée xérophile ; dans ce cas son installation est favorisée par l'augmentation de la profondeur du sol et de sa teneur en éléments colloïdaux ; elle supporte bien son acidité relative et peut voisiner avec *Luzula albida*.

Principales stations relevées (1) - (Tableau III).

41. - Forêt de Haye, carrefour de la Haute-Borne.
42. - Forêt de Haye, parcelle 50 (8^e série), au voisinage de la route de Nancy à Maron.
43. - Forêt de Haye, parcelle 23 (4^e série), près de la route de Villers.
44. - Même forêt, parcelle 19, au voisinage de la station précédente.
45. - Même forêt, parcelle 59, canton de la Grande-Fraize.
46. - Forêt domaniale de l'Avant-Garde, plateau horizontal, au Sud-Ouest du Massif.
47. - Forêt de Haye, canton de la Grande-Fraize, parcelle 56, partie basse de la parcelle (marnes et calcaires de l'Aalénien).
48. - Forêt de Haye, parcelle E¹, 3^e série, près du carrefour des Cinq-Tranchées.
49. - Même forêt, route du Chêne-Bardeau, carrière du Chêne-Bardeau, faible pente au pied d'une pente plus forte.
410. - Même forêt, route Nanquette, parcelle 25, 8^e série, sol d'alluvions à cailloux roulés.

Ces stations reposent donc sur des calcaires fissurés, sauf les cas particuliers des stations 47 et 410 : la première sur Aalénien à argiles décalcifiées, la seconde sur des alluvions à cailloux roulés.

2. Les sols

Ce sont des sols bruns forestiers, qui diffèrent des sols bruns rendziniformes par deux caractères essentiels : 1^o ils comprennent au moins *deux horizons*, parfois trois. Les moins évolués présentent en effet en surface un horizon réduit humifère, A₁ et en dessous un horizon uniforme A₂ de couleur brun ocre, pauvre en humus. Les plus évolués (pratiquement les plus profonds) offrent même en profondeur un horizon brun rouge, plus compact qui montre une certaine accumulation en argile et en fer ; 2^o la structure n'est plus caractérisée par la présence de petits polyèdres, mais

(1) Toutes horizontales ou à pente très faible, sauf 49.

par celle de grosses mottes à arêtes vives : cette structure est donc plus compacte, moins aérée, ce qui est lié, semble-t-il, à la teneur faible en humus, humus d'ailleurs *beaucoup plus dispersé que l'humus calcique* (voir ci-dessous) ; la perméabilité d'ensemble est moindre ; seul, l'horizon supérieur humifère A_1 présente encore sur quelques centimètres une structure granuleuse (2).

Il existe donc deux stades dans l'évolution des sols bruns : le premier stade encore proche du stade précédent (sol brun rendzinforme) est le sol brun jeune à deux horizons seulement A_1 et A_2 : il s'agit d'un sol *non lessivé*, encore très superficiel (sol U). Le second stade est représenté par le sol brun légèrement lessivé (N) plus profond, présentant en profondeur un horizon d'accumulation assez net (donc 3 horizons en tout, A_1 , A_2 et B).

Notons que ce second stade s'observe rarement dans la région de Haye, sur roche-mère calcaire fissurée : seules certaines stations (41 et 43) montrent la formation d'un début d'horizon d'accumulation ; leur sol fait donc transition avec le sol brun profond légèrement lessivé, et indique une évolution vers ce dernier type. Nous estimons que l'évolution des sols dans le Massif de Haye a marqué un temps d'arrêt au stade du sol brun jeune, en raison de l'*action retardatrice du traitement en taillis sous futaie* pratiqué jusqu'au début du siècle. La conversion en futaie est en effet d'origine trop récente pour avoir eu le temps d'influencer profondément le sol. Il n'existe encore que des perchis originaires de semences, assez jeunes et la futaie âgée manque. L'influence du mode de traitement est cependant mise en évidence par la comparaison des deux stations 43 et 44 qui sont voisines mais se trouvent dans deux parcelles différentes. La station 44 (jeune futaie) montre un sol nettement plus évolué que celui de la station 43 (taillis sous futaie vieilli) ; le second n'a que 25 cm. de profondeur, alors que le premier a 40 cm. et offre un début d'accumulation d'argile.

Nous n'avons trouvé les sols bruns lessivés N (véritable *Climax* du sol) que lorsque l'évolution du sol était accélérée par des circonstances favorables. Le premier cas concerne les stations dans lesquelles les argiles de décalcification pouvaient se mélanger avec des argiles acides ayant une autre origine géologique : Aalénien (Stat. 47), argiles alluviales (Stat. 410) : nous avons étudié ces deux stations qui nous ont servi de points de comparaison. La seconde circonstance favorable à l'évolution des sols calcaires est essentiellement liée à une question de *topographie*. Il s'agit alors de stations se trouvant, soit au centre de cuvettes, de dépressions non drainées (Stat. 48), soit à la base d'une pente assez forte (Stat. 49) : ce qui leur permet de bénéficier dans les deux cas d'apports par le ruissellement d'argiles de décalcification provenant des terrains voisins.

(2) HENIN (36), KILLIAN (41) ont bien mis en évidence le rôle important de l'humus neutre dans l'amélioration de la structure.

DESCRIPTION DES PROFILS

1° *Sol brun jeune non lessivé* (Stat. 41 à 46).

Profil superficiel (25 à 50 cm. d'épaisseur totale).

A₁: 5 à 15 cm., brun foncé, humifère grumeleux.

A₂: 15 à 35 cm. d'épaisseur, brun ocre, texture nettement argileuse, structure grossièrement polyédrique.

Absence complète de cailloux dans tout le profil.

Notons que dans le cas des sols les plus évolués, passant à la catégorie suivante (41 - 44), l'opposition entre l'horizon de surface et l'horizon profond s'accroît. L'analyse décèle dans ce dernier un début d'accumulation argileuse. La différence de compacité entre l'horizon de surface et l'horizon profond est donc due à deux causes: effet ameublissant de l'humus en surface, et richesse un peu plus forte en argile dans l'horizon inférieur.

2° *Sol brun évolué* (Stat. 47 à 410).

Profil plus profond, à 3 horizons au moins, A₁, A₂, B; épaisseur moyenne 60 à 75 cm., on n'observe que très rarement en surface un horizon de feuilles mortes, et de débris mal décomposés (Stat. 47: horizon A₀ de 2 cm.).

A₁: épaisseur 3 à 10 cm., horizon humifère grumeleux de teinte grise dégradée vers le bas.

A₂: épaisseur moyenne: 35 cm., brun ocre, argilo-limoneux, sans cailloux ou à cailloux roulés; structure peu nette.

B: épaisseur variable: 15 cm. en moyenne, brun rouge, très compact à structure polyédrique caractérisée.

ANALYSES (en % du sol sec à l'air)

Pour les sols bruns jeunes, une seule analyse a été faite; lorsque les deux horizons A₁ et A₂B sont nettement différenciés (Stat. 41 et 44), ils ont été analysés l'un et l'autre.

Les sols bruns évolués ont au contraire donné lieu à 2 analyses A et B; le prélèvement de A ayant été effectué à une profondeur constante, comprise entre 5 et 10 cm.

Stations	pH	Coll. min.	Lim.	S. fins	S. gr.	H ₂ O	Mat. org.	Humus sol KOH (1)	Co ₃ Ca total	Chaux éch.	C/N
<i>1° Sols bruns non lessivés:</i>											
41 A ₁ .	6,8	36,5	32	24,8	0,6	3,2	2,9	10,3	0	23,1	13
A ₂ .	7,6	40,5	30	23,5	0,7	3,3	2,0				
42 ..	6,3	30,5	31,5	27,3	0,6	4,7	5,4	15,8	0	23,3	13,3
43 ..	6,5	49	22	11,4	0,7	7,6	9,3				
44 A ₁ .	6,5	47,5	25	11,7	0,2	7,8	7,9	10	0	30,6	
A ₂	6,6	58,5	22	10	0,1	7	2,4				
<i>2° Sols bruns lessivés:</i>											
47 A.	5,7	23	37	34	traces	3,2	2,7	24	0	7,2	
B.	5,7	44,5	28	20,2	0	6	1,0				
48 A.	5,7	21	41	31,6	0,4	2,8	3,2	37,6	0	8,1	12,3
B.	5,8	39	30,5	25,4	0,5	4,2	0,5				
49 A.	5,9	35,5	27,5	28,6	0,3	4,4	3,7	15	0	16,1	11
B.	7,8	47,5	21,5	24,6	0,3	5,4	0,7				
410 A.	5,5	18	33,5	37,9	4,3	4,7	1,6	20	0	1,4	12,3
B.	5,6	55	18	19,6	1,9	4,8	0,7				

(1) En % de la matière organique totale.

On voit que certains sols de la première catégorie présentent un début de lessivage, ce qui explique partiellement les particularités du profil (41 - 44). Ce lessivage s'accroît pour les sols de la deuxième catégorie; le rapport de lessivage de l'argile (taux d'argile de B/taux d'argile de A) peut atteindre environ 2 (stations 47 - 48) et même dépasser 2 (410). Le pH des horizons supérieurs se maintient au voisinage de la neutralité pour le premier type, et tombe au-dessous de 6 pour le second: cela s'explique aisément par le taux de calcium échangeable qui passe concurremment de 26 à 8 en moyenne.

Il importe de noter le taux de matière organique qui, même dans l'horizon A (prélèvements effectués à une profondeur comprise entre 5 et 10 cm., donc à la limite inférieure de A₁) est beaucoup plus faible que dans les types de sols précédents, dans lesquels la matière organique était cependant répartie dans la totalité du profil.

La teneur moyenne en humus de l'horizon superficiel qui atteint encore 6 dans le sol brun non évolué, passe à 2,8 dans le sol brun évolué.

La solubilité de l'humus dans la potasse augmente considérablement au fur et à mesure que diminue sa teneur en chaux échangeable (voir dernier chapitre, page 138), elle est de l'ordre de 13 % pour les sols de la première catégorie, et elle dépasse souvent 25 % pour les seconds (Fig. 3).

Quant au rapport C/N il est pour les sols bruns, du même ordre de grandeur que pour les sols bruns rendziniiformes, soit d'environ 12,3 en moyenne.

DEUXIEME PARTIE

Etude dynamique : L'évolution des Associations et des Sols sur substratum calcaire

I. — L'ÉVOLUTION PROGRESSIVE : SES PHASES PRINCIPALES

L'évolution progressive est, pour nous, celle qui va de la formation d'origine biotique (la pelouse) vers la formation climacique (la Hêtraie) en passant par le stade intermédiaire de la *fruticée*; à cette évolution progressive de la végétation est liée une évolution progressive du sol qui se transforme en perdant les caractères de la rendzine superficielle pour acquérir ceux du sol brun forestier profond et légèrement lessivé; on peut considérer également un tel sol comme le *Climax* du sol. Dans ces conditions nous ne pouvons utiliser le terme de « *dégradation* » du sol, employé par PALMANN (50) pour indiquer le passage d'un sol d'une série (série des Rendzines) dans l'autre (série des sols bruns).

En réalité, selon nous, les rendzines et les sols bruns appartiennent dans le cas particulier des sols de plaine qui nous préoccupe, à la même série: les rendzines sont en effet des *sols jeunes*, — le rajeunissement étant donc d'origine biotique — les sols bruns forestiers des *sols murs* en équilibre avec le milieu forestier (1).

Cette évolution résumée dans le Tableau IV, présente des différences notables suivant 2 facteurs essentiels: 1° la nature de la roche-mère; 2° la topographie.

Nous l'étudierons donc, d'abord en station horizontale, sur calcaire dur fissuré, puis sur calcaire marneux; ensuite, nous envisagerons le cas de stations en pente, sur les deux types de sol précités.

(1) Rappelons à ce propos que nous avons admis dans un ouvrage antérieur (22) que si le passage d'un sol brun à un podzol par destruction de la forêt était bien une *dégradation*, au contraire l'évolution d'une lande sur sol podzolique vers une forêt sur sol brun était en réalité une *progression*.

1. L'évolution sur calcaire dur fissuré (Bajocien)

La pelouse xérophile, ancienne, s'observe toujours sur un sol de rendzine type, superficiel; lorsque le pâturage et les diverses actions biotiques, qui seules entretenaient la permanence de cette formation, viennent à cesser, c'est une fruticée xérophile, à *Acer campestre* avec nombreux arbustes et plantes neutrophiles et xérophiles, qui s'installe et remplace progressivement la pelouse à graminées: au début le sol se charge d'humus, en même temps qu'il s'appauvrit en carbonate de chaux: c'est le stade initial des rendzines forestières, très peu durables, dans de telles stations, et qui se transforment très vite en sols bruns rendziniiformes, à peine plus profonds mais complètement décarbonatés.

La fruticée passe alors progressivement à la Hêtraie: le nombre de grands arbres, Chêne rouvre, Hêtre surtout augmente, ce qui crée un microclimat moins lumineux et plus humide: l'humus se transforme et s'acidifie légèrement: les arbustes disparaissent sauf les plus tolérants à l'égard de l'ombre et de l'acidité (*Crataegus oxyacantha*, *Rosa arvensis*, *Ribes alpinum*); la flore neutrophile et héliophile est remplacée par la flore d'humus doux, également plus ombrophile, dont nous avons rappelé les principales caractéristiques.

En même temps le sol devient moins humifère, il s'approfondit et prend la structure d'un sol brun; peu à peu se différencient trois horizons très nets, un horizon de surface, très peu épais humifère (A₁), un horizon brun (A₂) et un horizon légèrement enrichi en argile et en fer (B). Nous sommes arrivés ainsi au terme de l'évolution qui est le sol brun forestier légèrement lessivé (N).

La figure 1 résume les grandes étapes de cette évolution des profils.

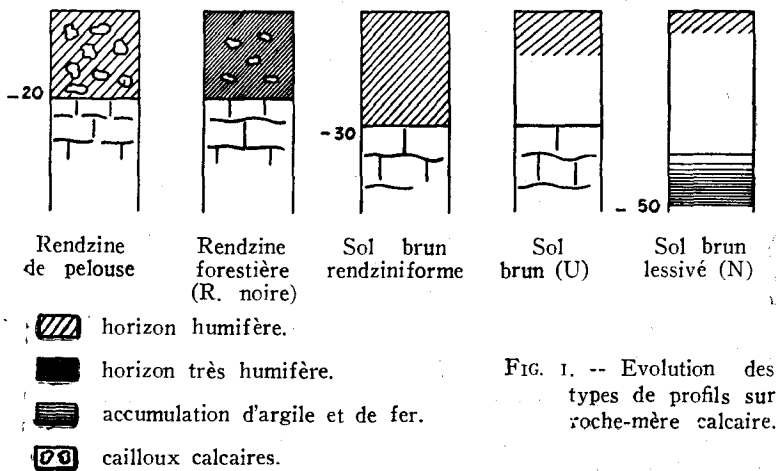


FIG. 1. -- Evolution des types de profils sur roche-mère calcaire.

On peut se demander quelle est la rapidité de cette évolution: la première phase: la phase de décarbonatation est *rapide*; très vite, sous l'action des arbres et arbustes se produit le lessivage du carbonate de chaux, par un mécanisme sur lequel nous reviendrons ultérieurement. Nous avons pu comparer à plusieurs reprises deux stations voisines, l'une caractérisée par une pelouse, l'autre par un jeune taillis sous futaie (fruticée) provenant d'un reboisement récent (de 30 à 60 ans). La comparaison des types de sols est donnée par le tableau ci-dessous; on peut admettre que pour chaque groupe de deux sols, le second dérive du premier: l'évolution s'est donc faite en quelques dizaines d'années.

	pH	Co ³ Ca %	CaO éch.
	—	—	—
1 ^{er} groupe (1)			
Stat. 12.	8,2	12,6	51,2
Stat. 24.	8	0,8	50,2
2 ^e groupe.			
Stat. 13.	8,2	18	40,2
Stat. 34.	6,4	traces	28,3
3 ^e groupe.			
Stat. 14.	7,2	3	43,3
Stat. 35.	6,5	0	29,8

Par contre, la seconde phase est beaucoup plus *lente*, c'est la phase de l'approfondissement progressif du sol brun, accompagnée de l'acidification légère de l'humus et du lessivage de l'argile aboutissant à l'apparition d'un horizon B; elle l'est tout particulièrement pour le plateau de Haye que nous avons étudié. En effet, cette évolution a été retardée comme nous l'avons déjà signalé, par l'influence humaine, en l'espèce le *mode de traitement*; le traitement en taillis sous futaie maintient artificiellement un type de formation analogue à la fruticée naturelle que nous avons décrite. Ainsi, le taillis sous futaie est à peu près en équilibre avec un type de sol très voisin du sol brun rendziniforme, c'est-à-dire le *sol brun superficiel non lessivé*; or, ce n'est que récemment que la conversion en forêt de Haye, du taillis sous futaie, en futaie, a été commencée; le plus souvent on se trouve en présence d'un taillis sous futaie en *vieillessement*, dont le sol n'est pas encore mûr: nous avons signalé à ce propos que les sols de jeunes futaies (Stat. 44) étaient plus évolués que

(1) Pour le premier groupe: la décarbonatation n'étant pas encore tout à fait complète, la décalcification n'a pas encore commencé, comme pour les 2^e et 3^e groupes: la perte de calcium échangeable *suit*, en effet, la disparition des carbonates (voir ci-dessous).

les sols de taillis sous futaie prélevés dans le voisinage immédiat (Stat. 43).

C'est seulement dans des circonstances de topographie et de roches-mères éminemment favorables et sur lesquelles nous nous sommes déjà longuement étendu (voir page 125) que l'évolution du sol, particulièrement rapide, se trouve être *en avance* sur l'évolution de la végétation; le climax du sol est ainsi précocement atteint. Dans le cas général, c'est au contraire l'évolution du sol qui est *en retard* sur celle des associations.

2. L'évolution sur calcaires marneux et imperméables

Elle est dans l'ensemble beaucoup plus lente, l'imperméabilité du substratum jouant un rôle de frein à l'égard du lessivage des carbonates: la *Fruticée mésophile* qui marque le point de départ de l'installation de la forêt, est une formation plus stable que la *Fruticée xérophile*, de plus longue durée; de même, la rendzine forestière évolue beaucoup moins rapidement vers le sol brun rendziniforme. Aux arbustes neutrophiles accompagnant l'Erable champêtre se joignent un certain nombre d'espèces favorisées par l'humidité plus grande du sol, par exemple *Deschampsia cespitosa*, *Arum maculatum*, *Glechoma hederacea*, *Viburnum Opulus*, etc. Les arbres qui s'installent ne sont ni le Hêtre, ni le Chêne rouvre, car le sol n'est pas assez filtrant, mais le Chêne pédonculé (*Quercus pedunculata*), le Frêne (*Fraxinus excelsior*); l'association évolue donc, non vers la Hêtraie, mais vers une forêt claire à Chêne pédonculé: cette association, beaucoup plus que la Hêtraie, reste proche de la fruticée: les caractéristiques essentielles de celle-ci subsistent, et le sol ne dépasse pas le stade du sol brun rendziniforme (Forêt d'Amance, stations 31 et 32). Il s'agit donc d'un climax local, ou plutôt d'une « association durable » pour reprendre le terme de BRAUN-BLANQUET (10).

3. L'évolution sur les stations en pente (fig. 2)

Elle présente deux caractères particuliers: l'*Evolution du sol* est retardée, parfois complètement freinée par suite du rajeunissement opéré par l'érosion, notamment *au sommet des pentes*; au contraire dans les dépressions et à la base des pentes (Station 49), grâce à l'enrichissement du sol en éléments fins entraînés, cette évolution est accélérée: *elle progresse donc de bas en haut*. Quant à l'évolution de la végétation sur les pentes, elle est souvent en avance sur celle du sol (versants exposés au nord surtout). Elle est très différente suivant l'exposition et peut passer par l'un ou l'autre des trois types de fruticées, fruticée thermophile, sur les versants les plus chauds, fruticée xérophile sur les versants à exposition moyenne, fruticée mésophile sur les versants frais. Dans ces dernières stations, le terme

d'aboutissement de l'évolution est une Hêtraie, alors qu'il reste au stade de la chênaie claire, voisin des fruticées des deux premiers types, sur les versants chauds.

L'influence rajeunissante de l'érosion est elle-même beaucoup plus intense lorsqu'elle s'attaque à une roche-mère tendre, se délitant facilement, que lorsqu'il s'agit d'un calcaire dur ; le sol peut soit rester au *stade rendzine*, sur les roches tendres friables (craie - calcaire marneux - grouine), ou se transformer en sol brun rendziniforme sur les calcaires fissurés ; il prend le caractère d'un sol squelettique sur les pentes très raides.

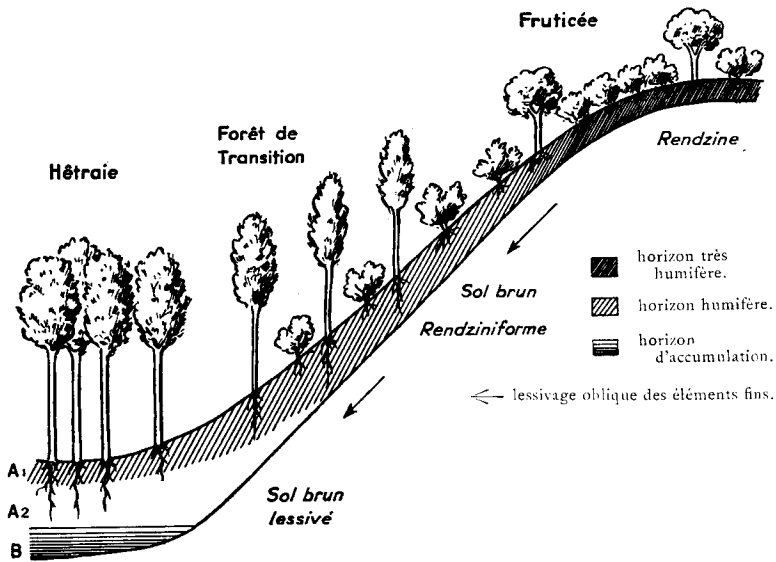


Fig. 2. — Evolution de Sols et des Associations le long d'une pente.
(Calcaire fissuré).

Ainsi, un certain nombre d'« associations durables » différentes du Climax normal de la région peuvent se maintenir sur les pentes chaudes et sèches : il s'agit de chênaies claires à nombreux arbustes, à Chêne Rouvre (Station 25) ou à Chêne pubescent (*Quercus lanuginosa* - stations 19 et 110). Sur les pentes fraîches, l'évolution continue à progresser jusqu'à la Hêtraie (36 - 27 - 28), mais dans aucun de ces cas le sol n'atteint le terme normal de son évolution qui est le sol brun ; il reste superficiel, gardant le profil d'un sol brun rendziniforme ou d'une rendzine type, suivant le type de roche-mère. L'ensemble de cette évolution, complexe en raison des multiples facteurs qui interviennent (pente - exposition - roche-mère) est résumé par le Tableau IV.

TABLEAU IV. — ÉVOLUTION PROGRESSIVE DES SOLS ET DES ASSOCIATIONS

Stations	Rendz.	Rendz. noires forestières	S. bruns rendziniiformes	S. bruns superficiels (U)	S. bruns lessivés (N)
I. - STATIONS HORIZONTALES	Pelouse → xérophile	Fruticée xérophile →	Fruticée xérophile →	Hêtraie →	Hêtraie climacique
B. - Calc. marneux non fissuré.	Pelouse → mésophile	Fruticée mésophile →	Forêt claire à Chêne pédonculé, Frêne		
II. - STATIONS EN PENTE	Pelouse de différents types	Fruticée xérophile ou thermophile ↗ ↘	Fruticée thermophile (versants chauds) Hêtraie (versants frais)		
B. - Calc. marneux ou tendre.		Fruticée xérophile ou thermophile			

En observant ce tableau, on constate que l'évolution du sol n'est complète que sur les calcaires fissurés, *en station horizontale*, ou dans les fonds, *au pied des pentes*.

Elle est partiellement freinée, si un des deux facteurs, pente ou roche-mère, s'oppose à sa progression; elle ne dépasse pas alors le stade *sol brun rendziniforme*.

Elle est totalement freinée, si les deux facteurs pente et roche-mère, la contrecarrent simultanément; le sol reste alors une *rendzine*.

II. — L'ÉVOLUTION PROGRESSIVE DES SOLS : L'INFLUENCE DE L'HUMUS

1° L'évolution des sols d'après les analyses

En prenant les moyennes obtenues par nos différentes analyses, il est possible de résumer l'essentiel des résultats obtenus pour les 6 classes de sol envisagées par le Tableau suivant :

TABLEAU V

COMPARAISON DES RÉSULTATS ANALYTIQUES (moyennes)

Types de sol	pH	Rapport de less $\frac{\text{Argile B}}{\text{Argile A}}$	Mat. organ. %	Humus sol. KOH (1)	C/N	Co ² Ca total	Chaux éch. m. e. %
Rendzines de pe- louses	8 à 8,2	—	5 à 9	6	12,7	plus de 12	45
Id. légèrement dé- gradées	7 à 8	—	5 à 7		9,4	3 à 4	45
Rendzines fores- tières	7,5 à 8	—	11	7	14	1 à 7 (sauf pente)	50
Sols bruns rend- ziniformes ...	6,5	—	7,5	7,4	11,1	traces	30
Sols bruns non lessivés	6,5	—	6	13	12,3	0	26
Sols bruns lessi- vés	5,5 à 6	2	2,8	15 à 40		0	inf à 16

(1) En % de la matière organique totale.

Si nous mettons de côté le cas des rendzines de pelouses légèrement dégradées (cas particulier dont nous reparlerons ultérieurement), on constate qu'il existe dans l'évolution de ces sols deux phases principales auxquelles nous avons déjà fait allusion.

a) La première phase consiste dans l'accumulation de matière organique, dont le taux augmente dans les rendzines forestières jusqu'à atteindre une moyenne de 11 % ; en même temps, un lessivage des carbonates se produit, qui se traduit par une baisse sensible de la teneur en calcaire, très nette si on compare les rendzines de pelouse aux rendzines forestières. Il faut noter que tant qu'il existe du carbonate de chaux à l'état fin dans le sol, le complexe absorbant reste saturé de calcium échangeable (environ 50 m. e. pour 100 gr.) et le pH reste voisin de 8.

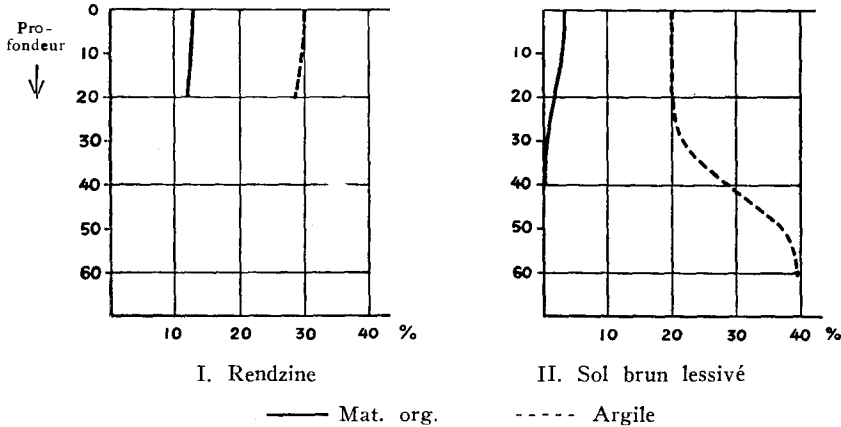


Fig. 3. — Diagramme montrant la répartition de la matière organique et de l'argile dans les profils de rendzine forestière et de sol brun lessivé.

b) La fin de la première phase se situe à peu près lorsque la décarbonatation (tout au moins l'élimination du calcaire fin, du « calcaire actif » défini par DROUINEAU 17) est achevée; c'est alors la *décalcification* du complexe absorbant qui se produit, comme le montre la décroissance du taux de chaux échangeable des types de sols successifs jusqu'aux sols bruns.

Cette diminution de la chaux échangeable est, en effet, due à deux causes: d'une part la baisse de la capacité totale d'échange; d'autre part le *degré de saturation de plus en plus faible* de cette capacité: si on calcule cette dernière valeur en % de la capacité d'échange, on trouve approximativement les chiffres suivants: 90 à 100 % pour les rendzines, 60 % pour les sols bruns rendziniiformes, 25 à 40 % pour les sols bruns lessivés. Cette décalcification se traduit par une baisse sensible du pH.

On constate qu'à ce moment les caractères de l'humus se modifient au fur et à mesure qu'il se désature en chaux: la teneur en matière organique totale des horizons A₁ baisse rapidement, et cette baisse est plus accentuée encore que ne le montrent les analyses si on tient compte du fait que, dans les rendzines, la matière organique *est répartie de manière assez uniforme dans tout le profil*, alors que dans les sols plus évolués, elle n'existe de manière appréciable que dans les horizons supérieurs, notamment dans les horizons A qui ont été analysés (fig. 3).

En même temps la solubilité de la matière organique dans la potasse étendue, qui était restée très faible (au voisinage de 6 à 7 %) augmente rapidement. Le rapport C/N diminue sensiblement, ce qui est l'indice d'une décomposition bactérienne plus rapide: il oscille entre 10 et 12.

c) A la fin de cette seconde phase on observe un lessivage sensible de l'argile (fig. 3). Le rapport de podzolisation de l'argile atteint 2 (sol brun lessivé).

On peut donc résumer cette deuxième phase de la façon suivante: décalcification et acidification sensible de l'humus, accompagnées d'une décomposition plus rapide. A la fin, lessivage de l'argile.

Il reste maintenant à expliquer comment ces faits sont liés les uns aux autres, et comment les importantes modifications du sol qu'on observe sont essentiellement *causées par les variations des propriétés de l'humus*.

2° Rôle de l'humus dans cette évolution

Nous avons essayé de caractériser les principales propriétés de la matière organique à l'aide de trois indices: 1° la teneur du sol en matière organique totale mesurée à une profondeur à peu près constante (5 à 10 cm.) ; 2° la solubilité de la matière organique dans la potasse étendue ; 3° le rapport C/N (voir tableau V).

— *Teneur en matière organique totale*: elle est plus élevée pour les sols forestiers, tout au moins lorsqu'ils sont peu évolués, que pour les sols de pelouse.

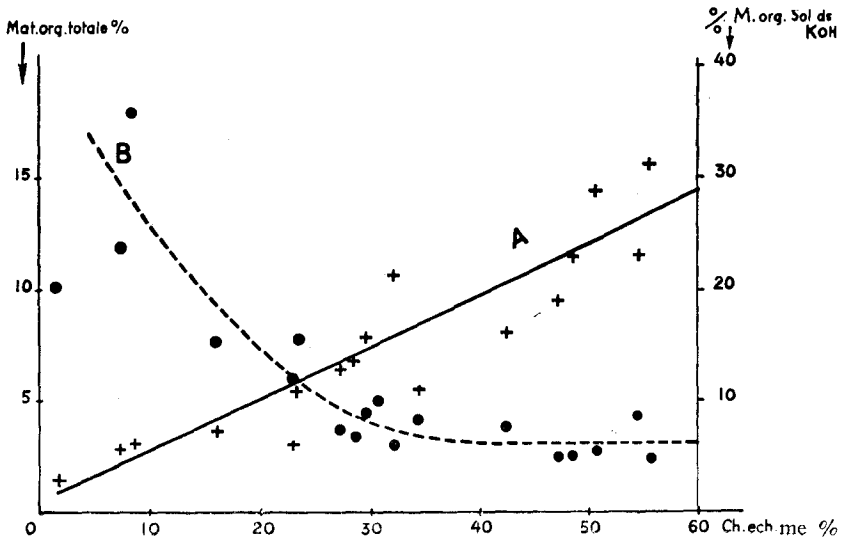
D'autre part, en ce qui concerne les sols forestiers, elle décroît régulièrement au fur et à mesure que l'humus se désature en calcium; on peut dire que la *quantité totale de matière organique est en gros proportionnelle à la teneur en calcium échangeable* (courbe A, fig. 4). Nous avons vu que cette relation n'est pas un simple effet de l'augmentation de la capacité d'échange.

— *Solubilité dans la potasse étendue*: très faible tant que le complexe absorbant est saturé de chaux, elle augmente rapidement lors-

que le nombre de milliéquivalents de chaux décroît (courbe B, fig. 4) : c'est là l'indice d'un degré de dispersion plus élevé.

— *Rapport C/N*: On remarque deux phénomènes d'ordre différent, l'un, lié à la nature des débris végétaux du sol, l'autre lié, comme les indices précédents mais de façon moins précise, au degré de saturation par le calcium.

Constatons d'abord que le rapport C/N est plus faible (à degré de saturation égal) pour les sols de pelouse que pour les sols fores-



Courbe A : Taux de matière organique totale (+).
 Courbe B : Solubilité dans la potasse (●).

Fig. 4. — Relations existant entre le taux de matière organique totale + (profondeur 5-10 cm.), la solubilité de cette matière organique dans la potasse (●) et la chaux échangeable. (Sols forestiers).

tiers: cela tient à ce qu'il s'agit d'humus de graminées plus riche en azote, et plus pauvre en radicaux - COOH que l'humus forestier; aussi est-il plus attaqué par les bactéries et se décompose-t-il plus rapidement, en particulier que l'humus forestier saturé de chaux (rendzines forestières). La teneur en matière organique est donc plus faible, nous l'avons signalé, dans les rendzines de pelouse que dans les rendzines forestières. En second lieu, le pouvoir dissolvant à l'égard des carbonates est beaucoup moins actif pour l'humus de pelouses (moins acide) que pour l'humus forestier.

On peut en outre constater que pour chacune des deux catégories, sols de pelouses, sols forestiers, le rapport C/N est plus élevé dans

les sols contenant du calcaire (Rendzines) que dans les sols totalement ou partiellement décarbonatés. Pour ne considérer que les sols de forêts, ce rapport est de l'ordre de 14 pour les rendzines, alors qu'il oscille entre 10 et 13 pour les sols sans calcaire (bruns rendziniformes et bruns) (1).

En raison de l'insuffisance de mesures, il ne nous est pas possible de faire une comparaison valable entre les sols bruns rendziniformes et les sols bruns : ce rapport semble être du même ordre de grandeur pour les deux catégories de sol, légèrement plus élevé pour la seconde.

C'est donc la présence en quantité plus ou moins grande de *calcaire actif* dans le sol, plus que le degré de saturation de l'humus en calcium qui paraît influencer le rapport C/N de la matière organique : ceci se vérifie pour les sols de pelouse aussi bien que pour les sols forestiers.

Il est alors possible de résumer ces considérations de la façon suivante : lorsque le calcaire actif d'un sol disparaît par lessivage, et que le milieu s'acidifie légèrement, l'humus devient *plus dispersé et plus soluble* (augmentation de la solubilité dans la potasse); *il se décompose beaucoup plus rapidement* (diminution de la matière organique totale, baisse du rapport C/N).

LES TYPES D'HUMUS

Si maintenant nous essayons de tirer des conclusions de ces données, il nous est possible de comparer deux types d'humus forestiers qui jusqu'à présent ont été confondus sous la dénomination de *Mull*. (humus doux). Nous croyons avoir montré par les résultats précédents, que l'humus neutre, saturé de calcium a des propriétés bien différentes de celles de l'humus doux, humus faiblement acide, partiellement désaturé de calcium : bien entendu il n'existe pas une frontière précise entre ces deux types d'humus — pas plus qu'entre le *Mull*. et le *Mor*. — mais on trouve toutes les formes de transition (voir courbes de la figure 4).

L'humus saturé de calcium échangeable est complètement floclulé ; il est très peu soluble dans la potasse étendue (fait constaté par BORDAS 9, COLLIER 13); emprisonnant l'argile par sa floculation, il est responsable de la structure en grumeaux arrondis qui caractérise les rendzines.

Il résiste à l'activité bactérienne et se décompose lentement *s'il est en présence de calcaire actif*, un peu plus rapidement lorsque le sol est dépourvu de carbonates : c'est ce que montre la baisse du

(1) Signalons à ce sujet les chiffres indiqués par LUDI (46) comme valeurs de C/N pour des sols de haute montagne près d'Interlaken.

Rendzines calcaires : C/N = 16. - Sols bruns ou podzoliques à pH de 4,5 à 7 : C/N = 10. Ces résultats confirment les nôtres.

rapport C/N dans les sols bruns rendziniformes par rapport aux sols de rendzines.

Bien que floclulé, l'humus calcique imprègne la totalité du profil de manière homogène, en raison de la grande activité de la faune de ces sols, notamment des vers, qui exercent un véritable brassage des différents niveaux.

Au contraire l'humus doux *Mull.* est partiellement désaturé en calcium, donc légèrement acide (pH inférieur à 7); il est beaucoup plus soluble dans la potasse (15 à 40 %), et son état est caractérisé par une certaine dispersion.. Comme l'ont montré TROCME et BARBIER (57), en raison de sa plus grande dispersion, il est susceptible d'être entraîné, *tout en exerçant à l'égard de l'argile le rôle de colloïde protecteur*, maintenant la dispersion de celle-ci. Mais en contrepartie, il devient beaucoup plus attaquant par les microorganismes du sol, et *se décompose rapidement*, comme le montre le faible taux de matière organique des sols bruns et sa décroissance rapide avec la profondeur (fig. 3).

En même temps le rapport C/N diminue sensiblement sous l'action microbienne et atteint la valeur de 10 à 12 qui traduit un équilibre à peu près stable, chiffre légèrement plus élevé d'ailleurs que celui que nous avons trouvé antérieurement pour l'humus de chêne (22). Dans le cas qui nous occupe il s'agit en effet de feuilles de Hêtre, plus difficilement décomposables (ETTER 24, RICHARD 53).

Dans un travail antérieur nous avons comparé l'humus doux, *Mull.* et l'humus acide, *Mor.* (22). Ce dernier, très soluble dans la potasse (60 %) se décompose lentement, et il est assez fortement dispersé, ce qui lui permet de migrer en profondeur dans certains sols.

Il nous a été possible de transformer l'humus acide en humus neutre, et de lui en conférer les propriétés, en le faisant macérer pendant quelque temps en présence de chaux ou de carbonate de chaux très fin: *sa solubilité dans la potasse s'est trouvée considérablement réduite*. Alors que les humates alcalins sont solubles dans l'eau, l'humus saturé de chaux est *insolubilisé même en présence de potasse*.

A ce propos on peut préciser que, si l'action de la chaux est toujours immédiate, celle du carbonate de chaux finement pulvérisé est plus lente, les acides humiques se saturant *progressivement* de calcium: cette vitesse de saturation est d'ailleurs très variable suivant les types d'humus acide, comme en témoignent les chiffres de solubilité dans la potasse, indiqués ci-dessous: il s'agit de deux horizons A₁ de sols podzoliques de Sologne que nous avons traités par la chaux ou le carbonate de calcium, pendant un temps plus ou moins long.

Solubilité dans la potasse (en % de sol sec à l'air).

	Teneur	Humus	Après traitt	Après traitement CO ³ Ca	
	en mat. org. totale	sol. initialement	CaO (2 heures)	2 heures	8 jours
Sol n° 1	8,5	5,0	0,1	1,9	0,4
Sol n° 2	4,2	2,5	traces	0,3	0,2

Le carbonate a donc agi plus lentement sur le premier sol que sur le second.

Nous résumons dans le tableau VI les caractères des trois types d'humus forestiers :

TABLEAU VI. — LES TYPES D'HUMUS FORESTIERS

Type d'humus	pH	C/N (A ₁)	Solubilité dans KOH	Etat	Décomposition
humus neutre (saturé en calcium)	7 à 8	14	inf. à 10%	floculé (struct. grumeleuse)	lente (en présence de calcaire)
humus doux (Mull.) (partiellement désaturé)	5 à 7	10 à 12	variable 10 à 40 %	dispersé à petites molécules	rapide
humus brut (Mor.) (fortement désaturé)	4 à 5	15 à 20	50 à 60 %	dispersé mais à grosses molécules	lente

INFLUENCE DE L'HUMUS SUR LES SOLS

Elle se déduit aisément des considérations précédentes.

L'humus produit par les graminées est relativement peu abondant, il se décompose vite et il n'est que faiblement acide; cela explique son *faible pouvoir dissolvant* vis-à-vis des carbonates; la pelouse à graminées reste en équilibre avec un sol de rendzine, riche en calcaire. Il n'en est pas de même lorsqu'un tel sol est envahi par la forêt; la production d'un humus beaucoup plus abondant et plus acide, à décomposition plus lente (rapport C/N plus élevé) explique les deux phénomènes essentiels qui caractérisent cette phase: 1° accumulation d'humus neutre; 2° dissolution rapide des carbonates, suivant la formule bien connue:

Acide humique + carbonate de chaux = humate de calcium + bicarbonate de chaux ; ce dernier, soluble en grande partie, est entraîné par les eaux de drainage (rendzines forestières).

À cette phase succède comme nous l'avons signalé la phase de désaturation progressive du complexe absorbant ; on peut alors employer le terme de *décalcification de l'humus* (sols bruns rendzini-formes) ; la réaction est la suivante :

Humate de chaux + $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = (\text{CO}_3\text{H})_2\text{Ca} + \text{humus H}^+ \text{Ca}^{++}$.

Les ions H^+ remplaçant progressivement les ions Ca^{++} , l'humus s'acidifie légèrement et prend les caractères de l'humus doux qu'on peut désigner par la formule *Humus H⁺ Ca⁺⁺*.

On passe alors à la phase des sols bruns, au cours de laquelle l'humus doux plus dispersé, devient plus attaquable, et se décompose plus rapidement ; le taux de matière organique baisse considérablement. Mais la faible quantité d'acides humiques qui migre en profondeur, joue le rôle de *colloïde protecteur* à l'égard de l'argile et la peptise, ce qui explique que cette dernière soit ébalement l'objet d'un lessivage assez accentué : le terme de l'évolution (Climax du sol) est alors un sol brun légèrement lessivé et très faiblement humifère.

III. — L'ACTION DE L'ÉVOLUTION DU SOL SUR LA VÉGÉTATION

Nous avons vu comment l'arbre, par l'humus auquel il donne naissance et par l'ambiance forestière qu'il crée, modifie profondément le sol ; le sol en retour va influencer profondément l'évolution de la végétation.

Le sol, nous l'avons vu, se modifie de deux façons : 1° Il s'acidifie, et l'humus neutre se transforme en humus doux, en même temps que le calcaire est éliminé ; 2° Il s'approfondit et la structure en petits grumeaux se transforme en structure polyédrique. D'après les recherches de nombreux auteurs (BURGER 12, ETTER 24), nous savons que cela correspond à une diminution de la capacité en air, et surtout à une *augmentation de la capacité de rétention de l'eau* : le sol devient donc plus humide, et plus imperméable.

Examinons les conséquences de ces deux phénomènes.

1° Transformation de l'humus neutre en humus doux : élimination du calcaire

Ces phénomènes ont pour effet une amélioration des conditions de nutrition minérale et azotée de la plante.

C'est un fait connu depuis longtemps que la présence d'un excès de calcaire dans le sol empêche l'assimilation d'autres cations indis-

pensables tels que la potasse et le fer. Cette carence en éléments minéraux est l'origine de la chlorose qui élimine certaines espèces « calcifuges » d'un sol trop riche en calcaire actif (FLICHE et GRANDEAU 26 et 27); DEMOLON et BASTISSE (16) ont montré que le fer était insolubilisé à un pH supérieur à 7 et qu'il n'était alors disponible, pour la plante, que sous forme de complexes ferro-siliciques; enfin d'après BARD (7) la teneur en phosphore et en potassium des feuilles diminue au voisinage de la neutralité, lorsque le pH augmente.

En ce qui concerne la nutrition azotée, nous avons montré que l'extrême lenteur de la décomposition de l'humus saturé de calcium suffit à expliquer sa faible assimilabilité; cet humus, insuffisamment soluble et trop énergiquement flocculé résiste à l'activité bactérienne (1); il n'en est pas de même de l'humus doux qui, se minéralisant rapidement, assure aux plantes une nutrition azotée quantitativement bien supérieure. LEBRUN et RADET (44) ont insisté sur cette inassimilabilité de l'azote dans les sols de craie champenoise: ces sols se comportent en sols pauvres en azote même lorsqu'ils en contiennent plus de 2 pour mille! D'après BROWN et ALBRECHT (11) l'exportation par les plantes de phosphore, potassium, calcium et surtout d'azote va en augmentant dans un sol au fur et à mesure que la teneur en calcaire va en décroissant; ces auteurs ont dressé des courbes des quantités de récolte et des quantités d'azote prélevées en fonction de la teneur du sol en calcium: on peut en déduire que l'exportation d'azote diminue au delà d'un taux de 2,5 % de CO_3Ca ; la conclusion de BROWN et ALBRECHT est la suivante: les sols saturés de Ca^{++} sont aussi infertiles que les sols saturés d'ions H^+ . Cette influence nocive d'un excès de calcaire actif a été également mise en évidence par THORNE (56) qui a noté une diminution de croissance de plants de tomates lorsque le rapport Argile/Calcaire était inférieur à 5.

Cependant, l'effet très favorable des fumures organiques azotées, sur les sols calcaires même riches en azote est bien connu. Contrairement à la réserve d'humus du sol, presque inassimilable, la matière organique ainsi incorporée se décompose rapidement: c'est probablement parce que la saturation par le calcium n'est pas immédiate (voir page 141); la floculation et l'insolubilisation complète des acides humiques se produiraient moins rapidement que l'attaque bactérienne, qui est active en milieu neutre sur un humus encore suffisamment dispersé. A ce propos, WAKSMAN 58, BARBIER 6, ont attiré l'attention sur le rôle éminemment favorable de l'humus jeune sur la fertilité des sols.

Précisément DROUINEAU et LEFÈVRE (19) dans leur récente étude sur l'Azote minéralisable des sols cultivés, observent des variations

(1) Rappelons, à ce propos, que lorsque le rapport C/N approche de 15, la libération de NH_3 est à peu près nulle, la totalité de l'Azote disponible étant utilisée à des synthèses bactériennes: c'est le cas des rendzines forestières.

importantes de sa valeur suivant la saison d'une part, et suivant la nature et l'origine des matières organiques d'autre part. L'influence de ces facteurs sur la minéralisation de l'humus semble nettement primer celle du calcaire actif : des recherches ultérieures devront être entreprises afin de préciser cette action du calcaire actif dans les sols de culture.

Pour en revenir aux sols forestiers, si la minéralisation de l'humus est souvent lente en milieu neutre ou alcalin, la nitrification y est par contre plus active que pour l'humus doux, dont le pH est parfois trop acide, lorsqu'il descend au-dessous de 6 (WAKSMAN 58). Les deux phénomènes ne sont pas incompatibles ; les plantes nitrato-philes qui demandent l'azote sous forme nitrique, ne sont donc pas toujours quantitativement les plus exigeantes. Nous avons insisté dans un autre travail sur les exigences des plantes d'humus doux, du point de vue de leur nutrition azotée (22) par rapport aux espèces des sols à humus brut (Mor.).

Ces observations nous amènent à distinguer *la flore neutrophile* qui est adaptée à une alimentation réduite en azote nitrique, et *la flore d'humus doux* légèrement acidophile, qui exige une fourniture d'azote plus abondante, mais, en grande partie, sous forme ammoniacale.

Les éléments caractéristiques du premier type sont, rappelons-le, les arbrisseaux accompagnant *Acer campestre*, ainsi que *Carex glauca*, *Carex montana*, *Brachypodium sylvaticum*, *Mercurialis perennis* auxquels il faut ajouter toutes les graminées et les diverses espèces caractéristiques de la pelouse xérophile (*Bromus erectus*, *Brachypodium pinnatum*, *Kaëleria cristata*, etc...).

Les éléments d'humus doux sont *Melica uniflora*, *Milium effusum*, *Asperula odorata*, *Anemone nemorosa*, etc...

Enfin *Luzula albida* indique une acidification un peu plus accentuée ; elle ne se rencontre que sur des sols dont le rapport C/N assez élevé montre un certain ralentissement de l'activité des microorganismes par rapport à d'autres sols bruns à pH plus élevé. C'est donc une *acidophile* caractérisée.

2° Augmentation de la capacité en eau

Les calcaires fissurés ne possèdent aucune nappe souterraine, même temporaire, assez proche pour alimenter en eau les racines profondes ; c'est pourquoi les sols de la fruticée xérophile et même les sols bruns jeunes se comportent en *sols secs* ; sur ces sols très superficiels, les semis de Hêtre supportent difficilement les sécheresses d'été. Il n'en est pas de même des sols plus évolués, sur lesquels nous avons pu toujours constater l'existence de régénérations abondantes. La plus grande hauteur des fûts témoigne également d'un enracinement plus profond. Enfin, l'évolution de la flore herbacée traduit cette modification d'ordre physique : certaines espèces relativement

hygrophiles succèdent aux xérophiles, signalons le cas de *Deschampsia cæspitosa*, du Muguet (*Convallaria maïalis*) qui n'apparaissent que dans les stades d'évolution les plus avancés.

IV. — ÉVOLUTION RÉGRESSIVE DES SOLS ET DES ASSOCIATIONS

C'est l'évolution inverse, celle qui aboutit au retour à la pelouze sur rendzine par destruction de la forêt: il s'agit alors bien d'une évolution *régressive* puisqu'elle s'éloigne du climax tant du sol que de la végétation. Fréquente au cours des époques historiques, comme conséquence des défrichements, on peut admettre qu'elle ne se produit guère à l'heure actuelle, au moins en Lorraine; il est cependant possible d'en reconstituer les étapes, en s'appuyant sur deux faits révélateurs:

1° On peut rechercher quelle est l'influence immédiate de la création récente d'un vide total sur le sol et la végétation: les destructions de guerre nous en donnent hélas des exemples trop fréquents.

2° Nous avons eu l'occasion de signaler la présence de pelouses xérophiles sur des rendzines que nous avons appelées « dégradées » et qui en réalité sont en voie de transformation en rendzines vraies. Il s'agit là de pelouses provenant de déboisements *relativement récents*, dont l'évolution régressive n'est pas achevée. On peut admettre que ce type de sol représente une étape obligatoire entre la précédente, et le point d'aboutissement de l'évolution du sol qui est la rendzine type.

1° Effets immédiats de la dénudation

Dans les endroits mis à nu par les bombardements on observe le retour à la fruticée xérophile lorsque le sol est encore superficiel (sol brun jeune ou sol brun rendziniforme).

Au contraire dans les grandes clairières et sur sol déjà fortement évolué (sol profond, sol brun lessivé), il se produit une invasion de graminées caractéristiques des sols compacts telles que *Calamagrostis epigeios* et *Deschampsia cæspitosa*; en effet, l'influence immédiate sur le sol est une *dégradation de la structure*; l'humus se décompose et disparaît, ce qui provoque la dispersion de l'argile; à la moindre pluie, elle gonfle en formant en surface une masse compacte imperméable, arrêtant toute infiltration en profondeur; en saison sèche elle forme une croûte dont les fentes de retrait activent la dessiccation des zones profondes; dans ces conditions les arbres et arbustes restant sur pied ne tardent pas à dépérir, faute d'une alimentation en eau suffisante: c'est le danger qui menace toutes les roches-mères trop riches en argile, dont

nous avons parlé ailleurs (22). (L'exemple étudié en Forêt de Haye concerne les vides situés près du carrefour des « Quatre-Marronniers »).

Il s'agit là d'un cas grave qui ne se produit pas si le sol est moins argileux ou si le calcaire est superficiel. On se trouve alors en présence d'un cas intermédiaire entre les deux précédents: la fruticée s'installe seulement par *taches*, séparées par des vides exclusivement occupés par des graminées qui sont cette fois des espèces forestières moins spécialisées: signalons le cas de la parcelle 18 (4^e série), au Chemin Potier; voici les relevés concernant le premier les taches de taillis fruticée, le second les taches de pelouse.

RELEVÉ 1	RELEVÉ 2
2 2 <i>Carpinus betulus</i>	3 1 <i>Poa Chaixii.</i>
3 3 <i>Cratægus monogyna</i>	2 1 <i>Deschampsia cespitosa.</i>
1 1 <i>Rosa arvensis</i>	2 1 <i>Carex glauca.</i>
2 1 <i>Cornus mas</i>	1 1 <i>C. montana.</i>
	1 1 <i>C. digitata.</i>
	1 1 <i>Brachypodium sylvaticum.</i>
	+ <i>Carex sylvatica.</i>
	+ <i>Festuca heterophylla.</i>
	+ <i>Dactylis glomerata.</i>

2° Les pelouses xérophiles d'origine récente

Nous les avons étudiées dans le chapitre « les pelouses sur rendzines »; nous avons admis que les pelouses, observées sur les profils de sols bruns, ou de rendzines non typiques, étaient d'origine récente et que leur sol évoluait vers les rendzines proprement dites. Nous avons distingué deux cas: le cas des pelouses *sur sols bruns très superficiels* (St. 17 et 18), correspondant à une roche-mère de limons de terrasses (fait qui a retardé la transformation du sol); puis le cas des *pelouses sur rendzines dégradées*, à structure non typique, encore pauvres en carbonate, qu'on peut considérer comme un stade d'évolution ultérieur (St. 14, 15, 16); le caractère commun de tous ces sols, en comparaison des sols forestiers, consiste dans leur profil *extrêmement peu profond*; même les sols bruns n'ont parfois que 10 à 15 cm. de terre fine. Quant à la végétation, on constate que l'association est sensiblement *la même, quel que soit le type de sol envisagé*, qu'il s'agisse d'un sol brun provenant d'une déforestation récente, ou d'une rendzine ancienne.

On peut donc reconstituer l'histoire de l'évolution de la végétation et du sol de la façon suivante:

1^{re} phase: C'est essentiellement une phase *d'érosion* d'un sol qui n'est plus protégé par la forêt, et qui est dégradé par le pâturage et la culture; le profil est tronqué; le milieu local devient extrêmement

sec, tant par l'insolation que par les caractères du sol: *les graminées forestières dont nous venons de parler, sont éliminées, et cèdent la place aux graminées de pelouse plus xérophiles*; ainsi l'évolution de la végétation, liée essentiellement à la modification des propriétés physiques du sol et du microclimat, *précède son évolution pédologique et chimique.*

2^e phase: C'est la phase d'évolution chimique du sol qui est provoquée par les nouvelles conditions de milieu et l'action biologique de la pelouse.

On peut admettre que les causes de cette modification des propriétés chimiques du sol sont les suivantes:

1^o La roche-mère, qui n'est plus protégée par la couverture forestière et par une épaisse couche de sol, subit des variations de température et d'humidité considérables, ce qui provoque sa désagrégation: le sol se charge de cailloux calcaires.

2^o L'action du piétinement et de l'arrachement des touffes par le bétail favorise l'érosion et le mélange des différents éléments du sol.

3^o Enfin, les graminées à enracinement puissant mais assez superficiel, exercent une action non négligeable sur l'altération de la roche-mère; il faut ajouter à cela une action en quelque sorte négative, l'humus de graminées ne provoquant pas, nous l'avons vu, de dissolution rapide des carbonates.

Toutes ces raisons font que progressivement le profil s'enrichit en carbonates actifs; il devient une rendzine, terme final de l'évolution du sol en équilibre avec la pelouse. Mais il s'agit là d'un équilibre temporaire, d'origine essentiellement biotique et anthropogène, qui peut se rompre, et donner lieu à une nouvelle évolution progressive: celle-ci en effet reprend dès que le sol est envahi à nouveau par les végétaux ligneux lorsque les actions destructrices viennent à cesser.

V. — RÉSUMÉ ET CONCLUSION

Nous avons pu constater qu'aux trois types de formations existant sur les roches-mères calcaires, la pelouse xérophile, la Fruticée, la Hêtraie, correspondent respectivement: la rendzine, les sols de transition (rendzines noires, sols bruns rendziniiformes) et enfin les sols bruns forestiers; le climax du sol est un sol brun profond, légèrement lessivé, un peu acide, en équilibre avec la Hêtraie ancienne à humus doux qui représente le climax de la végétation. Nous pensons que ce climax résulte d'une *évolution progressive*, qui passe par les trois étapes que nous venons de citer: pelouse, fruticée, Hêtraie.

Précisons que le terme de l'évolution de la végétation est différent de la Hêtraie dans deux cas: 1^o sur les calcaires marneux

imperméables: il s'agit alors d'une forêt claire à Chêne pédonculé et Frêne, voisine d'une « fruticée mésophile » plus exigeante en eau que dans le cas normal, c'est un *climax édaphique*; 2° sur les pentes chaudes où la fruticée xérophile et même thermophile à chênes (*Quercus sessiliflora*, *Q. lanuginosa*) subsiste et constitue « une association durable », un *climax topographique* local.

De même l'évolution du sol de la rendzine au sol brun n'est complète que sur calcaire fissuré; elle est ralentie ou freinée: 1° dans le cas où la roche-mère est un calcaire marneux peu perméable; 2° dans le cas des pentes; elle est complètement arrêtée par l'action de l'érosion sur les pentes fortes de roches tendres (craie): le sol reste alors à l'état de rendzine noire (voir Tableau IV).

Nous avons attribué à l'humus un rôle essentiel dans cette évolution des sols qui passe par trois phases (la troisième est liée à la seconde dont nous avons vu qu'elle est l'aboutissement).

1° *Une phase de décarbonatation*, au cours de laquelle le profil perd progressivement son carbonate de chaux sous l'action de l'humus forestier; celui-ci s'accumule à l'état floculé (humus neutre), c'est la phase initiale correspondant aux rendzines noires forestières.

2° *Une phase de décalcification*, au cours de laquelle les carbonate étant complètement lessivés, l'humus se désature partiellement de calcium et prend les caractères de l'humus doux (sol brun rendziniforme).

3° *Une phase d'approfondissement et de lessivage*: l'humus doux toujours peu abondant (décomposition rapide) et à l'état dispersé permet le lessivage de l'argile en jouant à son égard le rôle de colloïde protecteur: un horizon d'accumulation apparaît (sol brun lessivé).

Enfin l'évolution inverse de la Hêtraie à la pelouse et du sol brun à la rendzine, se produit sous l'action de l'homme et du pâturage: elle a donc une cause essentiellement biotique et peut être qualifiée d'*évolution régressive*, car elle s'éloigne du climax.

On peut en reconstituer les étapes de la façon suivante: la structure du sol se dégrade sous l'effet de la dénudation, ce qui provoque l'envahissement par les graminées forestières; le sol étant soumis à l'érosion, devient plus superficiel et les graminées forestières cèdent la place à la pelouse xérophile; ce n'est qu'ensuite que le sol se charge de carbonates et prend les caractères de *rendzines*.

Nous avons étudié dans un travail antérieur le climax du sol forestier, sur roche-mère argileuse ou siliceuse (22). Il est remarquable de constater que, sur roche-mère calcaire, ce climax est sensiblement le même: c'est un *sol brun légèrement lessivé* (N). Le profil climacique du sol forestier est donc relativement indépendant de la roche-mère et c'est là une constatation fondamentale. Les deux

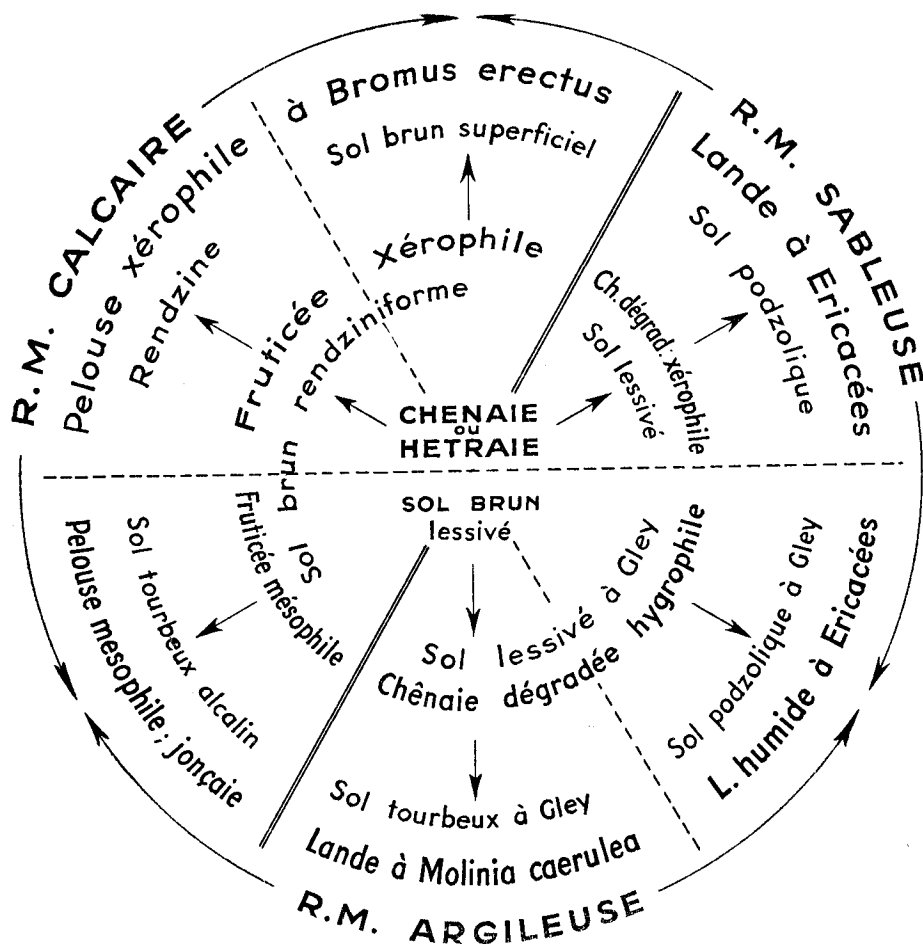


Fig. 5. — Diagramme indiquant les différentes formes de dégradation de la Forêt sur différents types de roche-mère.

N. B. — Le trait double marque la limite entre les sols acides (à droite) et les sols neutres ou alcalins (à gauche); les lignes pointillées indiquent l'existence de transitions.

facteurs qui exercent sur la genèse du sol une influence capitale sont en effet : le *microclimat* de la forêt, et les *propriétés de l'humus forestier*.

Lorsque la forêt est détruite, le type de sol qui apparaît par dégradation du sol forestier est essentiellement variable et il dépend étroitement du type de roche-mère : si celle-ci est calcaire c'est une rendzine, si elle est argileuse c'est un sol tourbeux à Gley, si elle est sableuse, c'est un sol podzolique (22). Ces diverses transformations sont illustrées par le diagramme de la fig. 5.

Ainsi dans ces divers cas, la forêt apparaît comme une formation en équilibre avec son sol, donc conservatrice de ce sol. Sa destruction amène le plus souvent une dégradation correspondante du sol, qui devient momentanément et quelquefois définitivement impropre à toute mise en valeur rentable.

Nous avons signalé à ce propos (22) que la lande sur podzol dans le domaine atlantique, pouvait être considérée comme un *paraclimax*, présentant une certaine stabilité. L'évolution régressive qui lui a donné naissance est, dans la plupart des cas, *irréversible*. Au contraire, la lande sur sols peu lessivés n'est pas un paraclimax et, abandonnée à elle-même, elle ne tarde pas à être envahie par une formation ligneuse.

En ce qui concerne les sols calcaires, on peut constater que les formes de dégradation de la forêt, *pelouses ou fruticées sur rendzine*, ne constituent une « association durable » que sur les versants chauds : il s'agit alors d'un *climax topographique local*.

Dans la plupart des cas, la pelouse n'est pas une association paraclimacique stable, mais bien une *formation temporaire* dont l'évolution vers la forêt reste aisée dès que les facteurs biotiques inhibiteurs viennent à cesser : la dégradation des sols calcaires n'est donc pas, comme la podzolisation en climat atlantique un phénomène définitif et irrémédiable.

Octobre 1949.

BIBLIOGRAPHIE

1. ALLORGE (P.). — Les associations végétales du Vexin français (Thèse Fac. Sc., Paris, 1922, 327 pp.
2. ALLORGE (P.) et JUVET (P.). — Les principaux groupements végétaux et leur milieu. Encyclopédie française Tome V, 40 de 1 à 16 et 42 de 1 à 15.
3. ANNE. — Dosage rapide du carbone organique des sols (*Ann. Agr.*, 2, 1945), pp. 161 à 172.
4. AUBERT (G.). — Relations entre la pédologie et la géographie botanique. (*Bull. Ass. fr. p. l'étude du sol*, T. II, n° 2, 1937), pp. 1 à 6.
5. AUBERT (G.). dans DEMOLON (A.). — Principes d'Agronomie, T. I. La dynamique du sol. (Dunod, Paris 1948, Chap. III), pp. 56 à 95.
6. BARBIER (G.). — Essai de mise au point de la question de l'humus. *Bull. Techn. d'information*, 41, 1949, pp. 319 à 327.
7. BARD (G.-E.). — The mineral nutrient content of the foliage of forest trees on three soil types of varying Limestone content. (*Soil sc. society of America. proc.*, 1945, vol. 10), pp. 419 à 422.
8. BASTISSE. — Rôle vecteur des divers anions minéraux ou organiques dans les phénomènes géophysiques et physiologiques. *Ann. Agron.*, N° 1, 1945), pp. 30 à 56.
9. BORDAS. — Etat humique des sols calcaires. Utilisation de la méthode de Chaminate. *Ann. Agron.*, 3 1948, pp. 314-315.
10. BRAUN-BLANQUET (J.). — Plant sociology, the studies of plant communities (New-York et Londres, 1932), 439 pp.
11. BROWN (D.) et ALBRECHT (W.). — Plant nutrition and the hydrogen ion VI. - Calcium carbonate a disturbing fertility factor in soils. (*Soils Sc. society of America, proc.* 1947, vol. 12), pp. 342 à 347.
12. BURGER (H.). — Bodenverbesserungsversuche (*Mitt. eidgen. Anst. forstl. Versuchsw.* T. XX, I, 1937 et II, 1938), pp. 1-100.
13. COLLIER. — Les terres noires de Limagne. *Ann. Agron.*, 1, 1949, pp. 1 à 77.
14. DEMOLON (A.). — Principes d'Agronomie. T. I: La dynamique du sol. - T. II: La dynamique des plantes. (Dunod, Paris), 414 pp.
15. DEMOLON (A.). — La génétique des sols. (*Press. univ. France*, 1949), 135 pp.
16. DEMOLON (A.) et BASTISSE. — Rôle vecteur de la silice dans les phénomènes géophysiques et physiologiques. (*Ann. Agron.*, N° 3, 1944), pp. 265 à 297.
17. DROUINEAU (G.). — Méthode rapide d'appréciation du pouvoir chlorosant des sols calcaires. (*Ann. Agr.*, N° 1, 1943), pp. 16 à 18.
18. DROUINEAU (G.) et LEFÈVRE (G.). — Nouvelles conceptions sur la dynamique de l'azote dans les sols. (*C. R. Ac. Agr. Fr.*, 4 mai 1949), pp. 1 à 3.
19. DROUINEAU (G.) et LEFÈVRE (G.). — Première contribution à l'étude de N minéralisable dans les sols. (*Ann. Agr.*, N° 4, 1949), pp. 518 à 536.
20. DUCET (G.), GUERILLOT (J.), GUYOT (A.). — Estimation du pH et de la teneur en calcaire des terres par l'examen méthodique de la végétation spontanée. (*Ann. ec. nat. Agr. Grignon, série 3*, T. IV, 1944), pp. 32-115.
21. DUCHAUFOUR (Ph.). — Le sol et la flore forestière en quelques points des secteurs parisien et ligérien. (*Revue des Eaux et Forêts*, déc. 1946 et janvier 1947), pp. 701 à 722 et 16 à 38.

22. DUCHAUFOUR (Ph.). — Recherches écologiques sur la Chênaie atlantique française. *Ann. Ec. Nat. Eaux et Forêts*, T. XI, fasc. 1, 1948, 322 pp.
23. DUCHAUFOUR (Ph.). — Note sur quelques types de sols forestiers de l'Est de la France, sur roche-mère calcaire. (*C. R. Ac. Agr. France*, juin 1949), pp. 391 à 394.
24. ETTER (H.). — Pflanzen soziologische und bodenkundliche studien an schweizerischen Laubwäldern. (*Mitt. der Schweiz. - Anst. forst versuchswe.* XXIII, 1, Zurich, 1943), 132 pp.
25. EVRARD (F.). — Les facies végétaux du Gatinais français et leurs rapports avec ceux du bassin de Paris dans la région de Fontainebleau. (*Thèse Fac. Sc. Paris*, 1915), 114 pp.
26. FLICHE et GRANDEAU. — De l'influence de la composition chimique du sol sur la végétation du pin maritime. Paris, 1873, 32 pp.
27. FLICHE et GRANDEAU. — De l'influence de la composition chimique du sol sur la végétation du châtaignier. Paris, 1874, 26 pp.
28. FRANC DE FERRIÈRE (J.). — pH des sols de France. (*Ann Agron.*, T. 17, 1947), pp. 11 à 22 et pp. 213 à 225 et T. 19, pp. 508-517, 1949.
29. FRANC DE FERRIÈRE (J.), GRENIER DE RUERE, SIMEON. — Influence du climat et du sol sur l'alimentation potassique, phosphatée et azotée de la vigne sous climat atlantique. (*C. R. Ac. Sc. Séances des 20 avril, 25 avril, 2 mai 1949*), 2 p. chacun.
30. FREI (E.). — Morphologische, chemische und kolloid - chemische untersuchung subalpiner Weide, und Waldböden der Rendzina und der Podzolerie. (*Mitt. aus dem Agrikultur-chemisch. Inst. des eidgen - Techn. Hochsch.*, Zürich, 1944), pp. 267 à 346.
- 30 bis. GANSEN. — Untersuchungen an Buchenstandorten Nord-und Mitteldeutschlands. *Zeitsch. f. Forst-u. Jagd.*, mai 1934.
31. GAUME (R.). — Les associations végétales du calcaire de Beauce aux environs de Montbouy (Loiret). (*Bull. Ass. natur. de la vallée du Loing*, fasc. 1, Moret, 1924).
32. GAUSSEN (H.). — La géographie des plantes. (Libr. Armand Colin, Paris, 1933), 222 pp.
33. GUINIER (Ph.). — Les Associations végétales et les types de forêts du Jura français. (*Ann. Ec. Nat. Eaux et Forêts*, T. IV, fasc. 2, 1932), pp. 265-280.
34. GUINIER (Ph.). — Le reboisement des friches calcaires en Lorraine. Le problème du point de vue géobotanique. (*C. R. des Soc. savantes de l'Est, juin 1938*), pp. 1 à 9.
35. GUINOCHET (M.). — Etude sur la végétation de l'étage alpin dans le bassin supérieur de la Tinée. (*Thèse, Fac. Sc. Grenoble*, 1938, 458 pp.
36. HÉNIN (S.). — Etude physico-chimique de la stabilité structurale des terres. (*Thèse Doct. Fac. Sc. Paris*, Paris, 1938), 69 pp.
37. HÉNIN (S.) et DUPUIS (J.). — Bilan de la matière organique des sols. *Ann. Agr.*, T. 15, 1945, pp. 17-29.
38. JENNY (H.). — Factors of soil formation. (*Mc. Grawhill publications in the agricultural Sciences*, 1941).
39. JORET et MALTERRE. — Les sols crayeux de Picardie. (*Ann. Agr.*, p. 61 à 84, 1937 et *Ann. Agr.* T. XV, 1945), pp. 173 à 216.
40. JOVET (P.). — Le Valois. phytosociologie et phytogéographie. S.E.D.E.S. Paris, 1949. 389 pp.
41. KILLIAN (Ch.). — Pédobiologie des terres astiennes aux environs d'Alger et des sols rouges qui en dérivent. (*Rev. canadienne de biologie*, pp. 94 à 154, 1947).
42. KOJIMA (R.-T.). — Azote organique du sol. Nature de l'azote organique d'un sol humifère de Genova. (*Soil sc. U.S.A.*, août 1947), pp. 157 à 165.

43. LACHAUSSÉE (E.). — Les associations forestières du Jura français d'après les forestiers et les phytosociologues. (*Bull. Soc. bot. Genève*, V. 39, 1948, pp. 34 à 50.
 44. LEBRUN et RADET. — Les réserves azotées du sol et leur mobilisation dans les terres calcaires de Champagne. *Ann. Agr.*, 1933, pp. 478 à 492.
 45. LEMÉE (G.). — Recherches écologiques sur la végétation du Perche. (*Thèse Fac. Sc. Paris. Librairie gén. de l'enseignement*, 1937), 389 pp.
 46. LUDI (W.). — Die pflanzengesellschaften der Schinigeplatte bei Interlaken und ihre Beziehungen zur Umwelt. (*Veröffentl. des Geobot. Inst. Rubel*, Zürich, 1948), 400 pp.
 47. LUQUET (A.). — Les Colonies xéothermiques de l'Auvergne (Aurillac, Imprimerie moderne, édit. 1937), 328 pp.
 48. OUDIN (A.). — Classification pédologique et cartographique des sols de France. Etudes actuellement réalisées. (*C. R. Ac. Agric. Fr.*, T. XXIII, 1937), pp. 415-421.
 49. OUDIN (A.). — La pédologie, son objet, ses méthodes, son intérêt agronomique. (*Bull. Ass. fr. p. étude du sol*, T. III, N° 4, 1937), pp. 1-15.
 50. PALLMANN (H.). — Pédologie et phytosociologie. (*C. R. de la conf. de pédol. médit.*, Alger-Montpellier, 1947, pp. 3 à 36.
 51. POCHON et TCHAN. — Microbiologie du sol. Edition Masson, 1946, 222 pp.
 52. QUANTIN (A.). — L'évolution de la végétation à l'étage de la Chênaie dans le Jura méridional (*Thèse Fac. Sc., Paris*, 1935), 382 pp.
 53. RICHARD (F.). — Die biologische Abbau von Zellulose und Eiweiss Testschnüren im Boden von Wald und Rasengesellschaften. (*Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Versuchsw.* XXIV, 1945), pp. 295 à 397.
 54. SCHMUTZIGER (A.). — Über die Verteilung und den Chemismus der Humusstoffe in den Profilen einiger schweizerischen Bodentypen. (*Diss. E. T. H.*, 1935).
 55. SUSPLUGAS (J.). — Le sol et la végétation dans le Haut-Vallespir (P.-O.) (*Thèse Fac. Sc. Paris-Montpellier*, 1942), 225 pp.
 56. THORNE (D.-W.). — Calcium carbonate and exchangeable sodium in relation to the Growth and composition of plants. (*Soils Sc. society of Amer.*, Proc. 1946), pp. 397 à 401.
 57. TROCME (S.) et BARBIER (G.). — Observations sur les propriétés colloïdales d'acides humiques d'origine diverse. (*Ann. Agr.*, T. XVII, 1947), pp. 346 à 363.
 58. WAKSMAN (S.-A.). — Humus. (Edit. Willima and Willkins Baltimore, 1936), 526 pp.
 59. WILDE (S.-A.), WILSON (F.-G.), WHITE (D.-P.). — Soils of Wisconsin, in relation to silviculture. *Wisconsin conservation department*. Madison Wisconsin, 1949, 171 pp.
-