

## 5. COMPARAISON DES FRACTIONS VOISINES GRISES ET OCRES DES MARBRURES :

A l'œil, les 2 fractions grise et ocre (ou rougeâtre) d'un même horizon marmorisé ont un aspect *tout différent*. Que faut-il en penser ?

5.1. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES : la comparaison de plusieurs analyses, non insérées ici, nous a montré qu'il n'y avait pas de différences caractéristiques des parties rougeâtres et grises en ce qui concerne les teneurs en limons et argiles.

La circulation de l'eau semble souvent beaucoup plus aisée dans la fraction grise du matériau que dans la fraction rougeâtre, qui est plus ou moins agglomérée et cimentée.

Lors d'un essai, un fragment de sous-sol marmorisé placé dans une allonge ne laissait passer aucune eau ; après l'émiettement, il était perméable (1 cm<sup>3</sup> en 1''), mais lors d'une 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> infiltration, l'écoulement était 2 fois plus lent, puis 7 fois plus lent.

Nous avons essayé l'effet d'additions de calcaire et de chaux : le calcaire agit 2 fois plus que la chaux.

Nous avons étudié les remontées capillaires ; une remontée de 19 cm s'effectue dans la fraction grise en 6 h. 30, dans la fraction ocre en 3 h. 45.

5.2. PROPRIÉTÉS CHIMIQUES : grosses différences en ce qui concerne le fer libre (1 % contre 0,67 % ; 2,5 % contre 0,23 % ; 2,92 % contre 0,27 %). On peut donc dire que le fer libre est 10 fois plus abondant dans les fractions rougeâtres, la teinte chaude étant évidemment due à cette richesse en oxydes de fer. Le manganèse est aussi plus abondant dans la fraction rougeâtre (0,039 % contre 0,030 %).

La teneur en azote est un peu plus forte dans la fraction rougeâtre, celle en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> égale (0,055 ‰), celle en K<sub>2</sub>O (SCHLOESING) un peu supérieure (0,049 contre 0,031 ‰).

Le calcium échangeable serait un peu plus riche dans la fraction grise.

5.3. PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES : nous avons fait des essais de culture en pots.

Des semis de lupin ont bien mieux réussi sur la fraction grise que sur l'autre. Le milieu y est meuble. La microconduction de l'eau est probablement meilleure.

Bien que résultant d'une altération par l'eau des fractions rougeâtres, les fractions grises constituent un milieu à plus forte activité biologique. Ils sont plus « vivants ».

En fait, les racines se trouvent exclusivement dans la fraction grise, elles s'y étalent et s'y ramifient, probablement parce qu'elles y trouvent un milieu moins dur, plus frais, mieux vitalisé par la microflore.

	Couche marmorisée	
	Fraction ocre	Fraction blanc grisâtre
<i>CHAUX I/14 à 60 cm</i>		
Argile à 60 cm		
inférieure à 1 micron .....	3.7	13.5
1 à 2 microns .....	9.5	3.75
Limon .....	40.7	45
Sable fin .....	43.1	35.8
Sable grossier .....	1.0	0.9
pH .....	5.4	5.4
<i>CHAUX I/14 à 130 cm</i>		
Argile		
inférieure à 1 micron .....	27	35.75
1 à 2 microns .....	3.5	3.5
Limon .....	34.5	32
Sable grossier .....	1.7	0.7
Sable fin .....	30.9	24.6
<i>CHAUX I/14 à 100 cm</i>		
H <sub>2</sub> O .....	1.5	1.7
pH .....	5.6	5.4
<i>CHAUX à 60 cm</i>		
Fe % .....	2.92	0.27
N 0/100 .....	0.07	0.05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> acide citrique 0/100 .....	0.05	0.05
K <sub>2</sub> O 0/100 .....	0.049	0.030
Mn % .....	0.039	0.030
Ca échangeable .....	2.0	2.8
m.e. % (à — 100 cm) .....		
Microbiologie .....	3 boîtes stériles + 1 peuplée moyennement	4 boîtes peuplées moyennement
	3 microorganismes: 2 bactéries 1 aspergillus flavus	7 microorganismes 1 bactérie 1 levure 5 champignons
Humidité .....	15 %	20 %
Germination du trèfle		
commencée après .....	9 jours	3 jours
terminée après .....	12 jours	6 jours
<i>CRISSEY:</i>		
Matières organiques .....	0.45	0.50
C à 45 cm .....	0.27	0.30
Fe à 45 cm .....	3.04	0.27



D'autres mesures ont donné :

Horizons	pH	Limon	Sable fin	Sable gros.	H <sub>2</sub> O	Mat. org.	A R G I L E S		Fe
							2 $\mu$	1 $\mu$	
- 60 cm Fraction ocre	5.4	36.75	33.1	1	1.8	0.35	5.5	19.5	2.92
							25.0		
Fraction blanc gris	3.4	45	38.35	0.9	0.75	0.25	3.75	13.5	0.27
							17.25		
Témoin	5.4	36	34.85	1	1.85	0.30	4.5	21.5	2.56
							26.0		
-130 cm Fraction ocre rouge	5.4	34.5	30.9	1.7	2.2	0.20	3.5	27	2.4
							30.5		
Fraction blanc gris	5.4	32	24.65	0.7	2.9	0.50	3.5	35.75	0.20
							39.25		
Témoin	5.4	40.25	25.6	1.1	2.25	0.20	3.5	27	2.1
							30.5		

Si l'on compare globalement les 2 fractions, on peut dire que la fraction ocre a une texture plus fine que la fraction grise, elle est cimentée et non tassée, moins riche en eau, 10 fois plus riche en fer, moins favorable à la vie bactérienne et radiculaire.

5.4. ETUDE DES MINÉRAUX ARGILEUX DES DEUX FRACTIONS: Mlle PAQUET a bien voulu faire l'analyse aux rayons X de deux fractions gris clair et ocre du sous-sol de la parcelle 704 (I 14).

	Fraction grise	Fraction ocre
Montmorillonite .....	4	4
Interstratifié gonflant .....	2	2
Vermiculite .....	2	2
Illite .....	2	2
Chlorite .....	2	2
Kaolinite .....	traces	traces

Elle note dans les deux échantillons une forte proportion de quartz très fin, ce qui n'est pas pour étonner.

La similitude est frappante. Toutefois, note Mlle PAQUET, la fraction ocre montre des raies plus floues que l'autre, ce qui peut être dû, soit à des minéraux argileux moins bien cristallisés, soit à la présence d'une substance (par exemple de nature ferrique) qui perturbe la diffraction: c'est cette deuxième hypothèse que nous adopterons.

À ce détail près, les deux matériaux sont de composition identique. La conséquence pour nous est très importante:

1° *la marmorisation est bien un phénomène à deux aspects qui affecte une même masse sans modifier totalement sa constitution intime.* Cette analyse confirme pleinement les autres études des deux fractions.

2° *la descente de matériaux terreux dans les fentes a été probablement très faible ou insignifiante; il s'agit plutôt d'une réduction et déferrisation au contact des parois par l'eau descendue dans la fente.*

CONCLUSION: Nous avons essayé de situer les sols à marbrures par rapport à d'autres sols malades. D'autre part, nous avons tenté l'étude différentielle des marbrures. L'absence de différences systématiques pour plusieurs grandeurs tend à prouver que *le matériel marmorisé n'est pas aussi différent du matériel primitif que ne le laissait penser les contrastes de couleurs.*

S'il en est bien ainsi, il s'agirait d'un phénomène relativement fugitif et *ce serait de bonne augure pour la restauration des sols.*

*Bibliographie:* ANDERSON... 1958, CARLISLE... 1957, CAVAILLÉ (d.d.), DECKERS 1956, DEJOU 1963, DENIZOT... 1952, DUPUIS 1958, FRANC DE FERRIÈRE 1935, GAIN... 1958, GILE 1958, HUNGER 1963, JANCKOVIC (GJURO) 1961, KNOX 1957, LIWERANT 1946, MANIL... 1954, MAROCKE 1961, MENGAUD 1924, MÉRIAUX (d.d.), MÜCKENHAUSEN (d.d.), PECROT... 1958, RIEDEL... 1951, SCHMIEDEL (d.d.), SCHÖNHALS (d.d.), TAVERNIER... 1957, YASSAGLOU... 1960, ZAKOSEK (d.d.).

---



## CHAPITRE XIV

---

### VEGETATION

---

La forêt de Chaux avait, du début de ce siècle jusqu'en 1956, l'aspect d'un taillis-sous-futaie traité à la révolution de 30 ans sur la majeure partie de la surface (14 séries) et d'un perchis résultant de conversion (3 séries: 3<sup>e</sup>, 6<sup>e</sup> et 10<sup>e</sup>).

Ce qui frappait l'observateur, c'était l'extrême variété des peuplements.

#### 1. FLORE ACTUELLE:

Les chênes occupent encore plus de 80 % de la réserve des taillis-sous-futaie. Le chêne rouvre supporte parfois bien les plans d'eau élevés du fait de son enracinement superficiel; il se contente de sols plus pauvres que le pédonculé; mais il préfère tout de même les sols mieux drainés, c'est pourquoi il domine dans l'Ouest de la forêt dont le relief est plus accidenté. C'est un compagnon naturel du hêtre, de sorte qu'on le trouve presque toujours dans les îlots de hêtre (que nous considérons comme les résidus d'une hêtraie ancienne plus étendue).

Le chêne pédonculé demande des sols un peu plus fertiles et moins souvent secs. Il se trouve surtout dans l'Est, sur les plateaux.

Dans l'ensemble, le couvert du chêne (celui du rouvre, et plus encore celui du pédonculé) est clair, ce qui, sur ce type de sol, est un défaut grave, sensible en particulier au moment des régénérations.

Le hêtre occupe 10 %; il devient très branchu en taillis-sous-futaie, mais il l'est peu s'il est traité en futaie; il est isolé ou mélangé au chêne; sa hauteur, ici, est beaucoup plus faible que sur les lehms riches ou loess tels que ceux de la région de Mulhouse (Tannenwald); mais son bois est de bonne qualité.

Le pin sylvestre (3 %) est bien venu dans les « vides », où il a été introduit après 1875.

Le charme occupe les sols assez bons ou bons, c'est-à-dire assez bien drainés. Il ne s'accommode guère des conditions très favorables à la molinie. Il a été propagé par l'exploitation répétée en taillis. Peut-être a-t-il remplacé le hêtre en bien des endroits?

Le coudrier fait figure, au niveau du sous-étage, d'occupateur de places vides: il couvre de grandes surfaces sur des plateaux, accompagnant assez souvent une claire réserve de chêne pédonculé, supportant bien les sols marmorisés.

Le saule à oreillettes, *Salix aurita* (variété androgyne selon MICHALET) est abondant dans les vides, surtout les plus mauvais.

La bruyère, *Calluna vulgaris*, est assez abondante quoique en nette régression. Elle disparaît à l'ombre, mais occupe encore des peuplements clairs sur cailloutis, les sommières et leurs bords, certains vides à sol hydromorphe.

Le genêt à balai se trouve dans les peuplements clairs sur sol bien drainé, voire caillouteux.

La fougère grand aigle est très répandue: elle indique des sols un peu moins asphyxiants que la molinie. Elle se couche en hiver et gêne les régénérations.

La molinie bleue, *Molinia caerulea* de MOENCH, var. *arundinacea* est très répandue. Les feuilles sont un mauvais fourrage; elles absorbent mal le purin et constituent donc une mauvaise graminée pour formation de fumier. Elle était exploitée, autrefois, faute de mieux. À partir de novembre, elle jaunit et se couche par terre. Dans toute la vallée de la Saône, son extraction systématique causait l'appauvrissement progressif du sol (TRIPIER 1901). On en exportait, en particulier, vers les pays voisins du vignoble.

Lorsque les conditions lui sont favorables (c'est-à-dire très mauvaises pour les autres plantes), elle forme des *touradons* (mottes qui s'élèvent progressivement).

Chose étrange, elle préfère les conditions alternantes, tantôt très humides, tantôt très sèches; tout au moins elle les supporte, alors qu'aucune autre espèce ne les tolère et ne peut lui faire concurrence.

Elle aime la lumière, souffre en dessous de 15 % d'éclairement, ne supporte pas moins de 4 %.

Les luzules, en particulier *Luzula albida*, sont assez fréquentes, elles fuient les sols à humidité trop alternante, mais supportent les sols les plus secs, fertiles ou non (de ce fait, elles ne semblent pas caractéristiques).

Les carex, en particulier *Carex brizoides*, viennent dans des sols à humidité assez constante, et relativement fertiles (fonds de vallon).



## 2. LES ASSOCIATIONS VÉGÉTALES :

Les actions humaines répétées ont apporté des perturbations profondes qui rendent difficile le rattachement des associations existantes à des types phytosociologiques qui sont censés être naturels.

Nous avons adopté les classifications ci-dessous :

### a) pour les petites espèces :

- 1° Type à carex (vallons frais et fertiles).
- 2° Type à canche cespiteuse (rare) (sols assez constamment frais et assez fertiles).
- 3° Type à molinie :
  - I. — en « touradons » proéminents (brèves périodes sèches),
  - II. — très couvrante, mais sans touradons,
  - III. — claire (longues périodes sèches) (mais il faut tenir compte de l'éclairement).
- 4° Type à luzule (sol bien drainé, mais de fertilité très variable, mauvais ou bon chêne rouvre, hêtre...).
- 5° Type à canche flexueuse (sol bien drainé, mais pauvre et séchard : sol caillouteux).
- 6° Type à pervenche : limon sur sous-sol calcique.

### b) par les grandes espèces : d'après la nature du taillis :

- 1° Taillis de chêne rouvre (médiocre).
- 2° Taillis de charme (assez constamment frais et assez fertile).
- 3° Taillis de coudrier (sol à oscillations hydriques plus fortes).
- 4° Aune et bourdaine (sol temporairement gorgé).
- 5° Sans taillis (moliniaie).

Les vides ont été un des éléments essentiels du paysage. Ils ont été envahis par la molinie, grande graminée haute de 2 mètres en année humide et par des saules à oreillettes disséminés, ainsi que par la bourdaine.

Généralement, il y a, de loin en loin, quelques chênes ou même des hêtres. Ils sont signalés dans les descriptions des XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles : en 1688 (Jean SANGUINIÈRE) 5 888 ha ; en 1724 (4 800 ha) ; dans celle de 1821 (1 500 ha) ; dans celle de 1888 (1 000 ha).

En 1955, les vides nets ne couvraient guère que 250 ha, mais de nombreuses zones clairiérées étaient (et sont encore) des témoins de ces grands vides du passé. Rares sont ceux qui ont une origine

récente (coupes définitives en séries de conversion). Généralement, ce sont d'anciens grands vides. *Ils sont tous en voie de fermeture naturelle* (même quand ils n'ont pas fait l'objet de plantations depuis 1948). On peut en voir encore d'assez typiques dans les parcelles 27, 312, 314, 636, 917.

Nous croyons pouvoir affirmer nettement qu'en l'absence de coupes et incendies, il n'y a nulle part de stades régressifs naturels. Il n'y a, sous l'effet des seuls processus naturels que des stades progressifs et sylvatiques.

### 3. PEUPELEMENTS FORESTIERS (fig. 17):

Coupe schématique

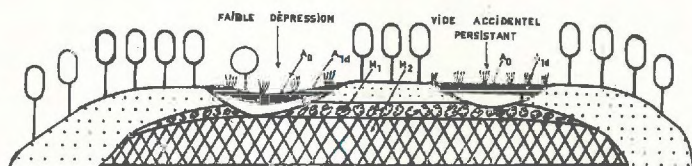


FIG. 17.

$A_0$  = Epaisse couche humifère noire due à la molinie (tourbiforme).

$A_{1d}$  = Couche éluviale délavée par la nappe perchée.

$M_1$  = Marmorisation tachetée.

$M_2$  = Marmorisation réticulée (fossile).

Les sols fortement hydromorphes (occupant les faibles dépressions ou les vides par incendies répétés) sont occupés par une végétation surtout graminéenne (molinie).

Aspects de la végétation forestière: sur les sols bruns des pentes, les fûts de chêne sont élancés (12 m), les hêtres sont bien venants, le taillis est à dominance de charme.

Sur les sols à marbrures très profondes, il en est de même. Le coudrier prend une certaine importance relative.

Sur les sols à marbrures peu profondes, le fût est moins long (8 à 10 m), les branches relativement plus importantes; les hêtres sont moins beaux; le taillis est plus clair, plus malingre, formé de bois blanc (coudrier...).

Sur les sols noirs de vides à molinie, les arbres sont rares, leur houppier est globuleux, étalé, on dit qu'ils sont « en pommier »; parfois même, ce ne sont que des arbustes rabougris. Le bois y est fréquemment gelivé et roulé; les hêtres ont un fût court et sont extrêmement branchus (3 stères par  $m^3$  de bois d'œuvre). Le taillis se réduit à quelques cépées de bourdaine, saule à oreillettes, aune glutineux.



#### 4. HISTOIRE DU COUVERT VEGETAL :

4.1. HISTOIRE ANTÉRIEURE A 1875 : qu'était la composition de la forêt primitive? il est difficile de la préciser. Certainement, elle était beaucoup moins riche en chêne ; le hêtre, qui en a été chassé volontairement, occupait (peut-être par îlots) 3 à 6/10. Nous supposons avec ETTER, MORIER, GENOUD 1963 qu'il y avait une proportion notable d'essences « secondaires ».

La végétation primitive (pour fixer les idées, disons 2 000 ans avant notre ère) était formée :

1° de quelques aunaies allongées dans les fonds de vallon à eau courante (Clauge, Tanche).

2° de charmaies, avec chênes plus ou moins nombreux sur des sols bruns caillouteux des pentes.

3° de rouvraies basses et claires sur les sols les plus caillouteux.

4° sur la majorité de la surface, de hêtraies et hêtraies-chênaies (chêne en proportion variable).

5° par place, de peuplements un peu plus clairs à majorité chêne, avec quelques taches de molinie apparaissant après la chute des grands arbres morts : ces vieillards ne succombaient qu'à des âges avancés (150 ans sur mauvais sol, 250 ou plus sur les moins mauvais).

6° dans les légères dépressions du glacis quelques moliniaies avec chênes et bouleaux disséminés.

Lorsque la forêt a envahi les anciennes toundras périglaciaires, elle ne fut que faiblement attaquée par l'homme en raison de la difficulté du travail d'un sol compact et mouilleux ; ce fut une futaie irrégulière à base de hêtre et (plus ou moins) de chêne ; elle était un peu plus claire dans les zones à mauvais drainage, où déjà apparaissaient quelques taches de molinie. Quelques feux furent provoqués par la foudre et favorisèrent localement cette graminée ; d'autre part, et surtout, les premiers incendies allumés par les chasseurs ou les bergers contribuèrent à l'ouverture des peuplements. Les populations s'installèrent en bordure, grâce aux conditions offertes par les Seigneurs. et grignotèrent la forêt ; au Moyen Age et au XVI<sup>e</sup> siècle l'accroissement de la population riveraine et l'accroissement des besoins unitaires par foyer déterminèrent une exploitation plus forte (surtout en bois de feu).

Il est probable que l'évolution sous l'influence de l'homme a provoqué :

1° une régression considérable du hêtre (de 60 % à 21 %) réduit actuellement dans le taillis-sous-futaie, à quelques îlots résiduels de hêtre-chêne.

2° une extension énorme du chêne.

3° une extension de la molinie, qui a décuplé sa surface; avec elle ont augmenté la bourdaine et les saules.

On peut se demander les raisons de la prédominance du chêne. Nous pensons qu'elle résulte d'une longue évolution guidée par l'homme. Ces raisons sont:

1° le chêne était recherché pour son gland, pour son bois de charpente, son bois de fente, son écorce à tan.

2° il résistait bien à l'incendie, tandis que le hêtre en mourait.

3° il supportait bien la lumière et les remontées du plan d'eau accompagnant l'état clair nécessité par le pâturage; il se régénérait bien à l'état clair.

4° il rejetait bien, tandis que le hêtre rejetait mal.

5° le feuillage de chêne était un fourrage un peu meilleur que celui du hêtre (motif pour le favoriser).

6° les verriers recherchaient la fougère dont l'extension exigeait l'élimination du hêtre, non celle du chêne.

Ainsi à la hêtraie-chênaie a succédé une chênaie en grande partie artificielle.

En 1607, un Edit interdit la coupe de jeunes hêtres « moindres que la grosseur d'un essieu de chariot »; il exige qu'on « garde forêt », c'est-à-dire qu'on n'extrait que 2 tiges sur 3, ou 3 sur 5: ce souci est admirable.

Des cordons de futaies sont conservés sur le bord des coupes pour les délimiter et pour assurer une certaine réserve permanente des gros bois.

Des vicissitudes nombreuses, dues au besoin des industries locales, firent le plus grand tort à la forêt. Le dernier aménagement était celui de 1889 qui était encore en taillis-sous-futaie. Dans l'ensemble, on peut dire que, pendant au moins 3 siècles, le sol a été découvert pendant 15 ans sur 30, que la couverture végétale fut formée de taillis plutôt que de futaies et que cette couverture fut à dominance de chêne. La connaissance de cet état de chose est capitale, pour la compréhension de l'état actuel dégradé du sol; heureusement les forestiers ont agi, surtout après 1878, dans un sens conforme aux intérêts de la forêt, en serrant les balivages. Le nombre des baliveaux à l'hectare est passé de 1824 à 1947, de 24 à 142, celui des modernes de 5 à 60; celui des anciens de 1 à 25. La réserve moyenne (1/3 des baliveaux + modernes + 3 fois les anciens) est passée ainsi de 16 à 182. Il convient de rendre hommage à certains forestiers: LORENTZ, Conservateur GRANDJEAN, Inspecteur de MONTFERRAND, Inspecteur adjoint VAULOT, Inspecteur adjoint LAINEZ.

En 1945 est apparue évidente à tous les Officiers l'opportunité de convertir en futaie. Le projet fut donc élaboré et présenté en



1956. La conversion par une méthode originale et bien adaptée aux caractères des diverses 1 403 parcelles, présente de nombreux avantages pédologiques (meilleure structure, plus grande profondeur utile, meilleure activité biologique), sylvicoles (diminution des incendies, régénération mieux assurée, peuplements plus stables), économiques (produits plus utiles, revenus triplés). Certes, elle exigera un personnel plus nombreux et, au début, nécessitera des investissements, mais sa réussite nous paraît assurée de façon absolument certaine.

4.2. HISTOIRE RÉCENTE: dès avant la conversion décidée en 1956, deux mesures étaient apparues très favorables :

4.2.1. *Vieillissement de taillis*: il y a 60 ans, la mévente des bois de feu avait amené les exploitants à laisser sur pied de mauvais taillis.

Ils permettent de fructueuses observations sur les modalités du retour de la forêt sur mauvais sol (développement de la chênaie sur souches, fermeture progressive du couvert, régression nette de la molinie, installation de semis...). Nous-même avons, entre 1946 et 1956, décidé le vieillissement de zones délimitées à la peinture rouge, celles assez riches en hêtre ou celles trop dégradées.

#### 4.2.2. *Balivages intensifs*:

a) c'est avec raison que l'aménagement de 1889 préconisait — ce qui malheureusement ne fut pas exécuté — la réserve de nombreux baliveaux à la périphérie des vides.

b) une expérience des plus intéressantes a été faite par l'Inspecteur adjoint LAINEZ. Pendant 3 ans (1933-1936) cet officier forestier a procédé à des balivages intensifs, réservant le maximum de « lances » dans le taillis, en particulier celles de hêtre, soit 1 000, ou plus, à l'hectare.

Or, après 30 ans, l'évolution des coupes ainsi martelées a été excellente: le couvert ne comporte plus de trouée; il s'est relevé, le hêtre prospère, la transformation en futaie sur souches s'opère, le sol est beaucoup plus propre, la molinie éliminée. L'expérience est concluante.

4.2.3. *Bilan de la conversion en futaie de 3 séries au XIX<sup>e</sup> siècle*: il s'agit d'une expérience à grande échelle puisqu'elle porte sur 1 500 hectares (ancienne 3<sup>e</sup>, 6<sup>e</sup> et 10<sup>e</sup> séries) et sur longue période (puisque elle a commencé vers 1827).

Elle présente un caractère qui la rend spécialement intéressante, c'est qu'elle porte sur les sols de natures les plus diverses et sur les diverses formes de terrain de la forêt de Chaux. On y trouve, en effet, des sols caillouteux et limono-graveleux (surtout en 6<sup>e</sup>

série), des sols de limons bruns des pentes non hydromorphes, des sols de limons à marbrures de plateaux aux divers stades d'hydromorphie.

Le peuplement primitif était un taillis-sous-futaie très varié avec des vides à molinie. Un cahier-affiche des ventes de 1835 nous a même donné des précisions numériques; il y avait 9/10 de chêne, 1/10 seulement de hêtre.

Or, à la suite de l'intervention de LORENTZ, prouvée par une lettre de lui, le vieillissement a été prononcé, le taillis fut ainsi maintenu sur pied, dans les diverses parcelles au cours d'une période de 30 ans.

Malgré les efforts de certains forestiers pour maintenir le chêne, le hêtre s'installa presque partout. Encore, en 1910, l'Inspecteur local recommandait au garde général d'étêter les hêtres au profit des chênes: ce fut en vain.

Le hêtre, essence d'ombre, envahit la surface sur 7/10; une partie, 1/10 seulement, fut conquise par le chêne, 1/10 occupé par le charme; 1/10 resta en trouées ou petits vides (surtout en X<sup>e</sup> série).

Mais, sauf dans ces trouées, et malgré les erreurs sylvicoles (dues en particulier à la guerre 1914-1918), la régénération fut assurée, aussi bien sur les plateaux à sous-sol marmorisé que sur les pentes mieux drainées.

Le hêtre forme des perchis ou de jeunes futaies de 30 à 90 ans. Les diamètres vont de 10 à 40 cm. Le couvert est à peu près complet. La molinie (sauf dans quelques trouées) a disparu. Le sol est propre. C'est une réussite éclatante.

4.2.4. *Plantations*: on a planté anciennement des pins sylvestres dans les sols caillouteux et dans certains vides: le résultat a été excellent. On a planté récemment des sapins pectinés dans 4 parcelles: le résultat est bon. On a planté des épicéas: le résultat est moins bon. Depuis 1946, nous avons planté environ 3 500 000 plants de résineux divers.

Nous avons semé 16 tonnes de glands de *Quercus borealis*, qui ont donné environ 250 000 plants d'avenir.

Les résultats sont, dans l'ensemble, satisfaisants, sauf dans les plus mauvaises conditions (sols très hydromorphes), où les plants boudent.

Les essais de tremble hybrides sur mauvais sol n'ont pas bien réussi.

Les techniques opératoires trop expéditives au début ont été perfectionnées; par exemple l'emploi de la tarière-plautoir, qui lisse les parois, est à déconseiller.

Pour conclure, nous dirons que sous l'effet des usages traditionnels et des pressions économiques, la forêt a été, au point de vue du sol, très mal conduite depuis 20 siècles, particulièrement de-



puis 4 siècles. La connaissance de cette histoire nous fournit ainsi indirectement un argument pour sa restauration: on peut légitimement supposer qu'en changeant de méthode, et en prenant le contrepied des anciennes, on peut provoquer une révolution inverse, donc favorable. *Elle nous invite d'autre part à rester vigilant, car rien ne dit que des pressions analogues n'aient pas dans le futur, les mêmes effets catastrophiques. « Errare humanum est ».*

*Bibliographie:* BERCHEN 1951, DEUSE (d.d.), ETTER... 1963, GOOR (d.d.), GUINOCHE... 1950, HENRY 1943, MALLET... 1956, MATHON 1954, PLAISANCE 1949 (a et b), 1953 (c), TRIPIER, VAULOT 1910, WILDE (d.d.), ZITTY 1939.

## CHAPITRE XV

---

### EFFETS DU SOL SUR LA VEGETATION

---

#### 1. DEFAUTS ANCIENS ET NOUVEAUX:

Le sol influe sur la végétation, c'est bien connu; mais comment faire la part de son état initial et de son état actuel, conditionné lui-même par la végétation antérieure ainsi qu'il est expliqué au chapitre XVI? C'est bien difficile. Essayons néanmoins d'analyser les défauts provenant les uns de la roche-mère et les autres de l'évolution fâcheuse ultérieure dans des forêts trop claires et sous des vides. Efforçons-nous d'étudier les répercussions sur la végétation forestière présente. Les défauts initiaux sont la richesse chimique insuffisante et la texture trop fine, non colloïdale. Les défauts acquis sont:

a) la saturation temporaire en eau asphyxiante de la couche moyenne, surtout si le couvert est insuffisant.

b) la dessiccation excessive, en été, due à la mauvaise structure, surtout si le couvert est insuffisant.

c) la pauvreté chimique (moins de 20 % d'argile et minéraux argileux peu fertiles). On sait (FRANC de FERRIÈRE) que les interstratifiés déjà appauvris par l'ouverture des feuillets fixent assez fortement les ions  $K^+$  provenant de la litière ou des engrais, mais en libèrent peu au profit des racines des arbres. En ce qui concerne la vermiculite, la fixation est encore plus forte et la libération plus faible. Quant aux argiles amorphes, elles sont extrêmement pauvres, incapables de fixer et libérer des ions.

d) l'insuffisance d'humus en profondeur.

e) l'activité biologique insuffisante.

On peut ainsi considérer qu'il y a 3 écrans superposés dont chacun s'oppose à la descente des racines (fig. 18):

1° un écran supérieur intermittent constitué par la couche gorgée d'eau,



- 2° un écran inférieur (mais souvent trop haut placé) constitué par le sous-sol compactifié par l'action de l'eau,
- 3° un autre écran plus profond formé par le sous-sol qui a été induré ou cimenté par des phénomènes paléopédologiques; cette dureté, qui s'accompagne d'absence d' « eau utile », empêche la pénétration des racines et la vie des micropopulations.

En résumé, par suite de la présence de ces 3 écrans, il y a une diminution notoire de la profondeur meuble et vivante; dans les plus mauvais cas, il s'y ajoute la nature de l'humus qui, soit par son origine (molinie), soit par les conditions de sa formation (en milieu gorgé d'eau) est de mauvaise qualité.

L'examen visuel, l'essai au pénétromètre, la mesure de la densité apparente, celle des indices de structure aux divers niveaux du sol, la mesure des niveaux d'eau après une pluie permettent de jauger la valeur des sols.

LES 3 ECRANS

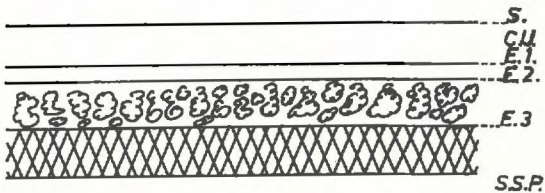


FIG. 18.

- S Surface
- CU Couche utile.
- E<sub>1</sub> Premier écran partiel et intermittent: celui du niveau supérieur de la nappe perchée.
- E<sub>2</sub> Deuxième écran constitué par la partie supérieure de la couche marmorisée (toujours plus ou moins tassée mais non indurée).
- E<sub>3</sub> Troisième écran constitué par la partie supérieure de la couche indurée (action ancienne paléopédologique).
- SSP Sous-sol profond non induré.

En ce qui concerne leurs qualités chimiques, elles peuvent être attestées par des cultures en pots; d'ailleurs le simple examen de la végétation donne à un forestier des éléments d'appréciation très utiles: rectitude des fûts, longueur des pousses annuelles, accroissement en diamètre, allure de la ramification, couleur du feuillage...

## 2. VALEUR FORESTIERE, PRODUCTION LIGNEUSE:

2.1. ASPECTS QUANTITATIFS: des statistiques ont donné une exportation de 0,6 m<sup>3</sup>/ha/an de bois d'œuvre et 3 st./ha/an de bois de feu, soit au total environ 2,3 m<sup>3</sup>/ha/an, mais ces chiffres ne

correspondent pas à la production réelle, car il est d'usage, dans la région de l'Est, d'enrichir la réserve du taillis-sous-futaie, donc d'exporter moins que la production. L'accroissement des peuplements riches en chêne, compte tenu de la capitalisation, doit être d'environ 4 m<sup>3</sup>/ha/an, celle des peuplements riches en hêtre de 6 m<sup>3</sup>/ha/an.

Il est certain que les racines étriquées ou les racines brunes (en milieu asphyxiant) donnent une production moindre.

Quoi qu'il en soit, l'analyse des peuplements obtenus par conversion montre que la forêt de Chaux n'a rien à envier, dès la première génération de semis, à d'autres forêts de valeur moyenne. Ainsi, en 4<sup>e</sup> Affectation en 1956, on a inventorié à l'hectare, à 45 ans, 900 tiges et 115 m<sup>3</sup>. Ces chiffres sont fort honorables, ils témoignent d'une densité et d'une croissance normale et satisfaisante.

2.2. QUALITÉ DU BOIS : nous avons constaté que les sols à marbrures portaient 3 ou 4 fois plus de chênes gélivés et roulés que les sols bruns profonds. La qualité est d'ailleurs forcément meilleure si les peuplements sont plus serrés, car il y a un meilleur élagage, même si l'humus est un humus doux. Nous n'avons pu établir la présence certaine d'éléments toxiques, mais l'hypothèse de cette existence n'est pas à rejeter. Il est incontestable que, sur mauvais sol, la croissance sérienne est freinée par la croissance des racines : la forme du houppier dépend étroitement de la forme des enracinement et la forme « en pommier » est en grande partie une conséquence du sol ; elle se produit sur des sols n'ayant que 25 cm de profondeur. Au-delà de 60 cm on a, en général, des fûts élancés et un bois de bonne qualité. Entre 25 et 60 cm, il y a tous les intermédiaires.

M. le Conservateur LACHAUSSÉE a émis l'hypothèse très plausible que la gélivure était en relation avec l'état chimique.

---

	Ca	Fe	Rapport Ca/Fe
Chaux (gélivé) .....	0.0312	0.0089	3.5
Saint-Aubin (non gélivé) .....	0.0589	0.0064	9.2

---

L'insuffisance de calcium et, peut-être, l'excès relatif de Fe expliquent-ils la fréquence de gélivure ?



*Richesse chimique*: nous avons fait analyser des sols de la forêt de Fraisans sous chêne gélivé et non gélivé.

	Gélivé	Non gélivé
N % .....	2,81	1,73
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ass. 0/100 (acide nitrique) .....	0,044	0,018
K <sub>2</sub> O ass. 0/100 .....	0,012	0,150
Fe libre (acide oxalique) % .....	1,37	1,65
Mn total % .....	1,25	0,30

Il semble certain, dans ce cas, que l'insuffisance de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, et surtout l'excès de Mn, sont responsables de la gélivure.

### 3. ENRACINEMENT :

L'étude de la forme et de l'importance des enracinements est bien souvent insuffisante. On peut citer en exemple les travaux de la *Forestry Commission*, ceux de SAUVAGE et MARION au Maroc, ceux de KRAUSS, HARTEL, MÜLLER, GARTNER et SCHANZ 1939 en Allemagne.

KREUTZER en 1961 a étudié les enracinements de jeunes arbres de 20 à 40 ans sur sols à pseudogley analogues à ceux de la forêt de Chaux; il a trouvé que les racines de sapin pectiné pénétraient davantage que celles d'épicéa dans le sous-sol marbré. Ce résultat est important pour la reforestation artificielle.

Nous avons observé des enracinements en forêt de Chaux :

*Chêne*: une grosse racine centrale et quelques fortes racines obliques. Elles se subdivisent en racines plus petites. Quelques-unes, de très petite taille, surtout chez les vieux arbres, pénètrent dans la couche marmorisée, soit qu'elles se soient accommodées des conditions qui y règnent, soit que les marbrures aient légèrement remonté depuis l'installation de l'arbre à sa place.

*Chêne rouge d'Amérique*: les principales racines sont obliques, mais certaines s'étendent au loin en suivant les inégalités du sous-sol dur; de fines racines descendent vers la profondeur, elles sont plus nombreuses que dans le chêne indigène.

*Hêtre*: enracinement très adapté aux mauvaises conditions régnantes parce que superficiel et doté de nombreuses fines racines sub-horizontales qui échappent aux inconvénients des défauts des couches profondes.

*Pin Weymouth*: un enracinement bien adapté, assez peu ramifié, suffit pourtant à assurer une bonne croissance des pins; mais probablement améliore-t-il peu la couche explorée.

#### 4. CIRCONSTANCES DIVERSES:

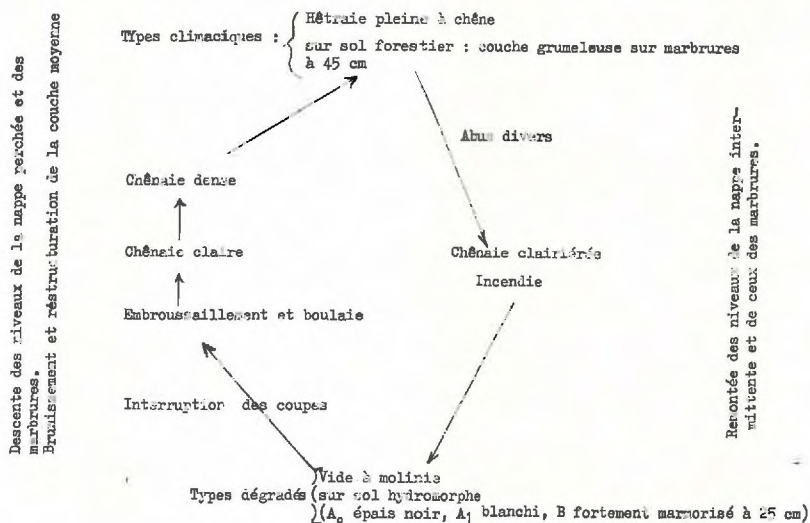
4.1. CIRCONSTANCES PLUS FAVORABLES (qui expliquent la meilleure venue de certains peuplements): ce sont la présence, en profondeur, d'un sous-sol argileux formé d'une meilleure argile (VIII/25), la texture plus grossière en surface, le drainage interne local meilleur, la marmorisation plus profonde et moins marquée, la conversion en futaie qui augmente, certes, l'exportation de bois, mais qui augmente encore plus le circuit nutritif et la quantité de matières organiques retournant au sol, régime qui, d'ailleurs, exporte des produits chimiquement moins épuisants.

4.2. CIRCONSTANCES DÉFAVORABLES: les gelées printanières, les fortes pluies printanières, la sécheresse estivale, toutes les causes de tassement du sol.

La médiocrité de la végétation forestière au centre des plateaux s'explique par:

1° l'absence de drainage latéral (compacité des couches moyennes) et vertical (impermeabilité quasi-totale des couches profondes):

#### EVOLUTION DE LA VEGETATION ET DE SOL DE PLATEAU





l'imperméabilité primitive a été aggravée par le lessivage ancien (en particulier celui de la montmorillonite).

2° la désagrégation des minéraux argileux (surtout dans les horizons superficiels des zones à molinie) provoquant l'appauvrissement chimique d'un matériau initialement peu riche.

Nous ne pouvons toutefois nous montrer pessimistes. Il y a un peu partout des signes prouvant que, lorsqu'est pratiquée une sylviculture prudente et adaptée, la végétation peut être fort satisfaisante, car ici, comme ailleurs, la végétation forestière sait tirer un bon parti de sols réputés « mauvais ».

*Bibliographie:* DUCHAUFOUR (d.d.), KREUTZER 1961, LACHAUSSÉE 1950, MATHY 1939, RID 1958, ROUSSEAU 1960, SMITH 1945, WILDE (d.d.).

---

## CHAPITRE XVI

---

### EFFET DE LA VEGETATION SUR LE SOL

---

#### 1. EFFETS GENERAUX

##### DU COUVERT VEGETAL (analyse de son action):

1.1. FONCTIONS D'UNE VÉGÉTATION VÉRITABLEMENT FORESTIÈRE : l'analyse de ce que les forestiers appellent d'un seul mot le « couvert forestier » aboutit aux fonctions:

1° *Fonction-parapluie*: nos mesures ont montré que la quantité d'eau entrant dans le sol était fortement diminuée.

2° *Fonction-écran* au sol par la litière: nous l'avons mesurée, voir paragraphe ci-dessous. Le glaçage et l'érosion sont diminués ou empêchés.

3° *Effet-pompe*: (qui envoie dans l'atmosphère l'eau excédentaire de la nappe perchée). L'eau qui entre dans le sol sert à accroître le taux d'humidité du sol, à nourrir la nappe qui vient de naître, et à alimenter les racines.

Si l'on multiplie la matière sèche produite à l'hectare, soit 7 000 kg par 500 litres d'eau (quantité évaporée pour 1 kg), on trouve 3 500 m<sup>3</sup>, soit une lame d'eau de 0,35 m par an.

Les teneurs en eau du sol s'accroissent après les pluies de, par exemple, 25 % pour amener le sol à saturation; au-dessus, l'eau forme nappe. Pour faire passer le sol de 10 à 30 % d'eau (avec une porosité de 50 %) il faut une lame d'eau d'environ 10 cm.

*L'effet total de la fonction-parapluie et de la fonction-pompe est de provoquer un abaissement relatif du niveau d'eau dans le sol de 10 à 30 cm (fig. 20).*

4° *Fonction-parasol*: l'écran de verdure et celui de la litière empêchent la dessiccation excessive en été. Le couvert forestier normal enlève de 50 % à 98 % de la lumière. L'évaporation est fortement



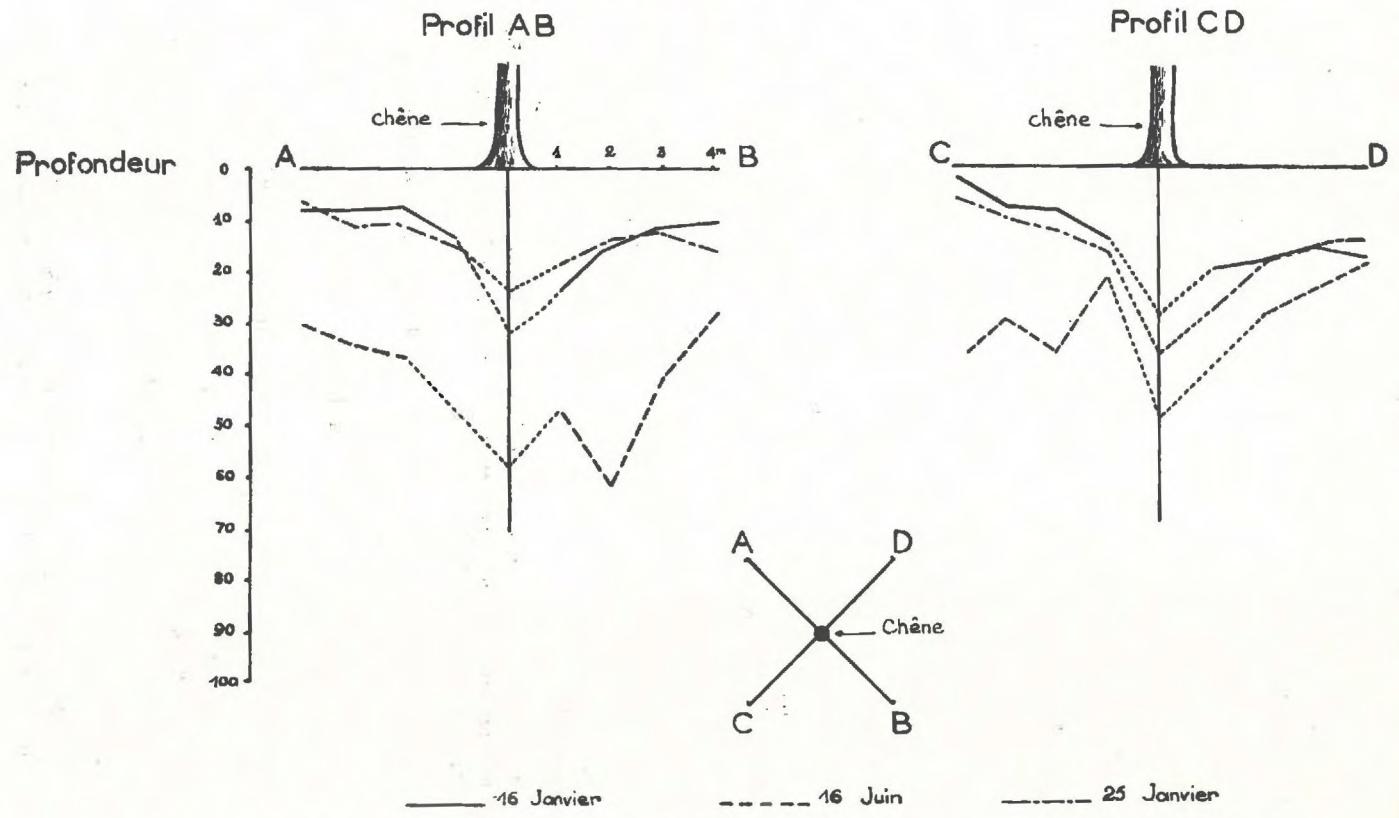


FIG. 19.

Les mesures de niveau d'eau ont montré l'existence nette d'un entonnoir à l'aplomb des arbres.

- - - - - id — 30cm.

- - - - - id — 130cm.

ralentie en été; le taux d'humidité du sol est légèrement augmenté. Cet effet favorise la pullulation de la petite faune édaphique et de la microflore.

5° *Effet-affouillant des racines profondes*: ailleurs, elles parviennent à désagréger les roches; elles arrivent, pour les sols qui nous occupent, à diviser les sous-sols consolidés, donc à y faire pénétrer l'eau, l'air, l'humus. Ce sont surtout les arbres de futaie et, parmi eux, les plus vieux, qui exercent cette fonction, surtout ceux à racines pivotantes ou obliques.

6° *Approvisionnement en matières organiques*, donc en humus (rémanents, feuilles, racines):

a) résidus ligneux (rémanents) non exportés; c'est même la totalité de la production ligneuse qui reste sur place dans le cas de *réserve totale* du peuplement (« mise à ban »).

b) racines qui pourrissent dans le sol même, à divers niveaux.

c) fixation de l'azote de l'air.

Ces matières organiques agissent directement sur la structure (action directe).

Les acides humiques eux-mêmes qui en résultent ont, eux aussi, une action multiple:

a) ils agissent sur la structure: les micro-enduits forment des voiles sustentateurs permettant une structure érigée poreuse.

b) ils absorbent de l'eau et augmentent ainsi la réserve hydrique disponible.

c) par leurs propriétés adsorbantes, ils augmentent la capacité d'échange puisque leur adsorption s'ajoute à celle des colloïdes minéraux (argiles feuilletées).

d) ils augmentent l'assimilabilité du phosphore et du potassium, et ils facilitent la libération de l'azote.

e) ils favorisent l'activité microbienne, qui est fixatrice d'azote, et, à son tour, génératrice de bon humus.

f) par contre, l'apport de tanin est nuisible. En définitive, leur action est généralement bénéfique.

Il faut noter, toutefois, que les matières organiques mal décomposées n'ont pas les mêmes effets, ni certains de leurs dérivés, en particulier ceux nés en milieu gorgé d'eau et asphyxiant. Dans ce cas, il peut y avoir rétention excessive d'eau et propriétés chimiques défavorables.

7° *Effet restituitif*: restitution aux couches supérieures d'éléments minéraux arrachés au sous-sol par celles des racines qui sont



les plus profondes : ainsi sont rendus disponibles pour la végétation forestière elle-même (ou pour toute autre qui la remplacerait) des éléments qui sont mis sous forme aisément assimilables. Ainsi  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ,  $CaO$ .

8° *Effet biotique*: les matières organiques accroissent la petite faune qui est mieux nourrie et les racines sont les véhicules d'une microflore rhizophile.

9° *Acidification de l'eau de pluie*: elle acquiert des propriétés faisant évoluer le sol minéral: action lessivante et inarmorisante. C'est le cas:

a) de celle qui a traversé la litière,

b) de celle qui lave les feuilles et les écorces: on a constaté que l'eau qui avait coulé le long des troncs de hêtre avait un pH de 4,5 tandis que celle des troncs de chêne avait un pH de 7: on peut donc attribuer une partie des particularités du sol à l'aplomb d'un hêtre à cet écoulement de l'eau sur les feuilles.

10° *Effet assainissant du réseau de conduits* formés par les grosses racines vivantes et mortes.

## 1.2. CONSÉQUENCES POUR LE SOL (fig. 16, 18, 19):

1.2.1. *Diminution d'épaisseur et surtout de durée de la nappe aquifère perchée à éclipses* (voir chapitre IV).

1.2.2. *Structure et porosité*: nous avons fait de nombreuses mesures qui ont montré que sous les meilleurs peuplements ces facteurs étaient meilleurs. Or, on peut légitimement penser qu'ils ne sont pas forcément situés sur des sols meilleurs, mais souvent sur des sols originellement identiques. Voir aussi RICHARD 1950.

### 1.2.3. *Propriétés chimiques*:

#### 1.2.3.1. *Pouvoir améliorant*:

1.2.3.1.1. *Données de divers auteurs* (WITTICH, LUTZ): les analyses foliaires rendent de grands services, mais leur interprétation appelle les observations suivantes:

1° les teneurs des feuilles dépendent dans une certaine mesure de la teneur du sol: sur sol pauvre, elles sont plus faibles; mais les différences ne peuvent guère suffire à caractériser un sol.

2° par contre, il y a une sélection spécifique pour chaque essence; chacune peut puiser en sous-sol certains minéraux et les restituer à la surface; si elle restitue davantage, elle a ainsi un rôle améliorateur marqué. Sous la réserve de l'observation précédente, les analyses foliaires renseignent donc sur les qualités améliorantes des diverses essences.

1.2.3.1.2. *En forêt de Chaux:*

a) les analyses foliaires ont été faites par le laboratoire de la Station d'Agronomie de Dijon.

	Ca %	Mg %	K %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	S %	N %
Charme	0.94	0.35	1.04	0.31	0.13	1.10
Molinie	0.23	0.16	0.52	0.14	0.15	2.12

Sauf en ce qui concerne l'N et le S, les chiffres sont très inférieurs pour la molinie: c'est un peu le reflet de la pauvreté du sol, c'est en tout cas l'indication que la restitution est plus faible, que le sol se maintient à un niveau de fertilité plus bas.

Le calcium est arraché aux rares minéraux calciques existant dans la couche-support (à l'extrémité des racines) et ramené en surface, d'où il descend dans la couche moyenne explorée par la plupart des racines.

On peut donc penser a priori, que le charme (et à moindre degré le hêtre) sont des améliorateurs du sol superficiel puisqu'ils l'enrichissent en calcium. Au contraire, l'effet de la molinie est nul à ce point de vue.

b) on a comparé les teneurs des feuilles de chêne rouvre (prises sur l'arbre) sur bon sol et sur mauvais sol (chêne « en pommier »). (Analyses faites au Laboratoire de la Société Commerciale des Potasses d'Alsace).

		Rouvre		Pédonculé	
		Bon sol	Mauvais sol	Bon sol	Mauvais sol
N	%	2.19	2.30	2.53	2.91
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0.33	0.23	0.37	0.33
K 20	%	0.89	0.85	1.24	1.10
CaO	%	2.07	0.96	1.29	1.23
MgC	%	0.46	0.44	0.40	0.46

La S.C.P.A. a fait également une série d'analyses:

- |                                            |                                                        |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1 — chêne rouvre, sol graveleux            | 8 — hêtre sur sol siliceux pauvre à sous-sol marmorisé |
| 2 — chêne rouvre, bon sol                  | 9 — aulne sur mauvais sol                              |
| 3 — chêne rouvre, sur arbre « en pommier » | 10 — bourdaine sur mauvais sol                         |
| 4 — chêne pédonculé sur bon sol            | 11 — coudrier sur mauvais sol                          |
| 5 — chêne pédonculé sur mauvais sol        | 12 — charme (bord de vide)                             |
| 6 — hêtre sur calcaire                     | 13 — molinie sur sol à sous-sol marmorisé              |
| 7 — hêtre sur sol siliceux à per-venche    | 14 — chêne rouge d'Amérique.                           |



N°		1	2	3	4	5	6	7
	N %	2.62	2.19	2.30	2.53	2.91	2.24	2.17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0.41	0.33	0.23	0.37	0.33	0.36	0.45
K <sub>2</sub> O	%	0.97	0.89	0.85	1.24	1.10	1.36	1.42
CaO	%	0.95	2.07	0.98	1.29	1.23	1.43	1.51
MgO	%	0.56	0.46	0.44	0.40	0.46	0.42	0.44

N°		8	9	10	11	12	13	14
	N %	2.24	2.70	2.69	2.57	2.41	1.90	1.99
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0.36	0.32	0.40	0.31	0.33	0.32	0.32
K <sub>2</sub> O	%	1.20	1.02	1.72	1.20	0.80	1.93	1.08
CaO	%	1.54	1.12	1.40	1.54	1.26	0.34	1.23
MgO	%	0.44	0.56	0.64	0.64	0.62	0.33	0.44

Le chêne pédonculé et l'aune ont les feuilles les plus riches en azote.

Le hêtre sur sol à pervenche est le plus riche en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

La molinie et la bourdaine sont les plus riches en K<sub>2</sub>O.

Le chêne rouvre sur bon sol est le plus riche en CaO (2,07 %).

Le hêtre a une teneur moyenne (1,5 % et 1,54 % peu différentes suivant le sol).

Le coudrier est le plus riche en MgO.

La molinie est de toutes les espèces la plus pauvre en CaO (0,34 % contre 0,95 à 2,07 %).

1.2.3.2. *Pouvoir dégradant*: les feuilles (ou les aiguilles) qui se décomposent mal donnent, on le sait, un humus acide à fort C/N ; ce peut être le cas des pins. En ce qui concerne le hêtre, cette décomposition un peu lente des feuilles mortes ne nous paraît pas mauvaise, car elle a l'avantage de former un matelas protecteur de structure et ralentisseur de l'évaporation ; le danger de dégradation par le hêtre est certainement beaucoup plus faible que dans des régions plus froides et plus humides.

Par contre, on peut considérer comme ayant une action nocive le chêne et l'épicéa dont les feuilles fabriquent beaucoup de tanin (LAATSCH 1937 : expériences de laboratoire). En ce qui concerne la molinie, il est probable que son action est très néfaste, il est possible que ce soit par la présence d'acide cyanhydrique (ZIRTTI 1934) ; certainement, en tout cas, par sa richesse en silice et sa pauvreté en bases.

Teneurs en tanin : Ecorce : de chêne 7 à 20 % ; de chêne rouge d'Amérique 5 à 6 % ; d'aune glutineux 15 % ; de saule 10 % ; d'épicéa 2 à 8 % ; de bouleau 4 % ; de hêtre 2 %.

Bois : de châtaignier 8 %.

Racines de chêne de forêt de Chaux (Lyon 1964) 2,6 % ; sciure de racine de chêne (Lyon 1964) 2,2 %.

Souches de bruyère 10 %.

1.2.4. *Effets indirects* : l'augmentation du couvert a des effets sur le peuplement végétal qui se répercutent sur le sol. C'est ainsi qu'il se produit l'envahissement du hêtre dont la fonction-parapluie et la fonction-pompe sont nettement plus marquées.

C'est ainsi qu'elle conduit à la disparition de la molinie, donc à l'amélioration de l'humus.

## 2. EFFETS SPECIFIQUES DU COUVERT VÉGÉTAL :

### 2.1. CHÊNE ROUVRE ET PÉDONCULÉ - *Avantages* :

a) il supporte bien les conditions de sol compact et pauvre ainsi que la nappe intermittente.

b) sa régénération est relativement facile si on prend soin de l'amélioration de l'humus.

#### *Inconvénients* :

a) son couvert est peu dense, surtout dans le cas du pédonculé, d'où une fonction de parapluie relativement réduite.

b) sa croissance est relativement lente.

c) son bois sur sol pauvre est de mauvaise qualité ; il est fréquemment roulé et gélivé.

d) son tanin est nuisible au sol.

e) son enracinement est peu ramifié, d'où un pompage relativement faible.

f) sa dépouille est relativement faible.

Tous ces défauts sont une raison de l'éliminer partiellement.

Néanmoins, les sols de taillis vieilli de chêne ont tendance à s'améliorer lentement ; aux endroits où il est installé on peut profiter, comme premier stade, de sa présence.

On notera que le chêne rouvre est, en général, mieux adapté et plus efficace sur des sols dont les réserves hydriques et nutritives sont peu élevées ; son couvert est un peu plus dense et sa dépouille un peu plus forte ; on pourrait, un peu théoriquement, imaginer une première génération de rouvre suivie d'une deuxième de pédonculé, si cette essence était conservée.



2.2. CHÊNE ROUGE D'AMÉRIQUE: ses *avantages* sont:

- a) c'est un améliorateur du sol par remontée des bases.
- b) son enracinement, très ramifié, assure un bon pompage.
- c) son feuillage dense forme un bon écran.
- d) sa litière épaisse, de décomposition un peu lente, protège bien le sol contre les pluies.

e) sa forte dépouille donne une grande quantité de matières organiques. Notons, par ailleurs, que sa croissance rapide, sa faculté de rejeter fortement et de se régénérer aisément par semis, le font également apprécier, mais il n'est pas sans inconvénients: il boude sur les mauvais sols et, de façon plus générale, montre une croissance très irrégulière d'un sujet à l'autre dans le jeune âge (voir les résultats de nos mesures au chapitre V).

2.3. HÊTRE: *avantages*:

a) tous les effets imputables à l'accroissement du couvert sont obtenus avec lui.

b) il provoque une forte remontée en surface du calcium du sous-sol.

c) sa dépouille est abondante.

d) son enracinement plus ramifié divise bien le sol.

Notons sa croissance rapide: 1 fois 1/2 à 2 fois celle du chêne, à égalité de fertilité de sol.

*Inconvénients*: il est très sensible au feu: il ne faut donc pas laisser la molinie s'installer sur les bords des hêtraies, ni dans les trouées.

Nous ne pensons pas qu'on puisse craindre son action dégradante comme on l'appréhende en Belgique (GALOUX 1953). En tout cas, il n'est pas responsable des défauts des sols de la forêt de Chaux qui relèvent soit de la paléopédologie, soit d'un découvert excessif. Si, comme nous le pensons, le hêtre est à sa place dans une certaine proportion, en forêt de Chaux, il amène un vieillissement très lent du sol (qui le rapproche d'une mort lointaine): elle est normale, mais non pathologique. En tout cas, nous n'avons pas, en forêt de Chaux, observé d'humus tourbeux dangereux dû au hêtre.

2.4. AUNE: *avantages*:

a) c'est un puissant améliorateur du sol par ses remontées minérales.

b) il effectue un bon pompage.

c) il constitue un bon écran.

d) sa feuille a une décomposition rapide.

e) c'est un enrichisseur en azote.

Notons sa croissance assez rapide.

*Inconvénients:* il donne des produits de faible valeur.

2.5. CHARME: *avantages:*

a) ses remontées sont améliorantes.

b) il a un bon couvert.

c) ses feuilles ont une décomposition rapide.

Notons qu'il rejette avec abondance.

*Inconvénients:*

a) il donne des produits de peu de valeur.

b) il ne supporte pas les sols à nappe perchée fréquente.

Notons qu'il concurrence dangereusement les semis de chêne.

2.6. TREMBLE: BÜRGER le considère comme défavorable car sa fane se décompose mal: C/N = 49; mais il occupe utilement des places vides.

2.7. COUDRIER: *avantages:* sa feuille est à décomposition rapide, c'est donc un améliorateur de sol. Remarquons que son léger couvert est favorable aux semis de chêne.

*Inconvénients:* l'effet d'interception de l'eau de pluie est faible.

2.8. BOULEAU: il a un couvert faible mais il est rustique; il vient bien après incendie; sa feuille est tendre. Sur sol podzolique, les Anglais (DIMBLEBY, BLOOMFIELD, WALKER) le considèrent comme ayant une forte action biogénique regradante; on ne sait si elle est aussi nette sur sol marmorisé.

2.9. LA BOURDAINE dont la feuille se décompose vite et le SAULE A OREILLETES ont probablement une action faible mais, comme ce sont les premiers stades de reconquête, ils peuvent, en attendant de céder la place à d'autres essences, jouer un rôle utile.

2.10. LE ROBINIER serait utile: nous avons constaté que ses racines se développaient bien dans des sols marmorisés en déblais.

2.11. PIN SYLVESTRE: *avantages:*

a) son couvert persistant toute l'année effective, au total, une bonne interception.



b) sa litière épaisse forme un bon écran.

Remarquons que sa croissance est assez rapide.

*Inconvénients:*

a) son humus est de moins bonne qualité que celui des feuillus; il ne restaure que peu ou pas la structure.

b) il offre un danger d'incendie tant par la résine que par la persistance de la molinie sous son couvert insuffisant.

2.12 PIN WEYMOUTH: a des propriétés analogues, mais sa croissance est plus rapide et son couvert meilleur; il convient de porter à son compte sa parfaite adaptation à des conditions très ingrates; elles lui permettent de subsister, donc de jouer un rôle, en définitive, très utile. Ce sera au moins une essence d'accompagnement ou une essence transitoire à propager largement.

2.13. L'ÉPICÉA a un couvert dense, mais il pousse souvent mal; il est exposé aux bostryches; son enracinement s'adapte bien aux mauvaises conditions, il s'étale donc en surface, d'où le danger de chablis; et pas d'amélioration du sous-sol.

2.14. LE DOUGLAS ne convient que dans les sols pas trop mal drainés.

2.15. LES DIVERS SAPINS, suivant les auteurs allemands, ont des racines qui descendent plus profondément que celles de l'épicéa dans le sous-sol marmorisé; d'autre part, la richesse des aiguilles est supérieure à celle des pins: ils ont donc un intérêt certain.

2.16. ESSENCES DE TRANSITION: on remarquera donc que certaines essences méritent d'être employées comme essences de transition, afin d'utiliser au mieux les forces naturelles et de diminuer les investissements: ce sont l'aune (à planter), le coudrier (à favoriser dans les chênaies claires), le charme (qui pourra encercler certains vides), le bouleau, le chêne rouge, les pins sylvestre et Weymouth et parfois les gaulis de chêne (dans les endroits où le hêtre n'est pas encore présent).

2.17. LA MOLINIE est, certes, bien adaptée aux conditions alternatives et asphyxiantes; elle remplace ses racines mortes par de nouvelles qui naissent au-dessus du collet; elle pousse vite et élimine ainsi les autres graminées; elle peut même, parfois, lutter victorieusement avec les arbres. Cette adaptation ne saurait donc être considérée comme un avantage, au contraire; elle a, il est vrai, un pouvoir structurant, c'est son seul mérite, mais *elle a une action indiscutablement très néfaste:*

- a) elle n'intercepte pas l'eau de pluie: la nappe monte.
- b) son réseau de racines est extrêmement ramifié, d'où une concurrence néfaste pour les essences forestières.
- c) elle forme des touffes sur lesquelles les glands restent posés, en surélévation, au sec, d'où des échecs de régénération: la molinie tend à supplanter la forêt.
- d) elle ombrage les semis en été; l'hiver elle leur nuit en se couchant sur eux.
- e) elle est un aliment de choix pour le feu (qui détruit les arbres): d'où l'action nocive sur les arbres qui la surmontent et aussi sur les peuplements voisins (extension des vides initiaux); comme elle rejette bien après le feu, elle est très dangereuse.
- f) propriétés chimiques: elle est riche en  $\text{SiO}_2$ , pauvre en Ca; elle a un C/N élevé: elle donne donc un mauvais humus.

Selon Gabriel BERTRAND, la molinie contient beaucoup moins de Mn (66 g/kg de m.s.) que la canche flexueuse (155) ou que la luzule (421); elle se comporte comme le calamagrostis qui a, lui aussi, mauvaise réputation.

Selon HÖHNE et FIEDLER 1963 les tissus de la molinie qui a cru sur sol à pseudogley de Tharandt ont une très faible teneur en calcium (la plus faible de toutes les graminées); celle-ci reste constante au cours de la saison de végétation; la teneur en azote va en décroissant; celle en potassium également; celle en silicium croît de 1,3 % (de la substance sèche) à 4,8 % (soit 1,2 g/m<sup>2</sup> de surface de feuille); elle reste néanmoins plus faible que celle de *Carex brixoides* ou *Deschampsia caespitosa*; qu'il s'agisse de Ca, K, P, Mg... les teneurs de la molinie sont, dans l'ensemble, inférieures à celles des autres graminées. Ceci est en relation avec le fait qu'elle pousse bien, non concurrencée, sur les sols les plus pauvres. Et cela implique que la restitution au sol par la litière de molinie ne permette qu'un enrichissement faible ou nul. Ce n'est qu'en ce qui concerne le Na et le Mn qu'elle peut soutenir la comparaison avec les autres.

D'autre part, les analyses des feuilles vertes et sèches montrent que ces dernières ont perdu la majeure partie de leur Mg, de leur P, de leur K et de leur N; par contre, le Na et le Mn subsistent, la teneur en silice augmente.

Comparée à la luzule (qui occupe, rappelons-le, les sols voisins mieux drainés), la molinie, selon HÖHNE et FIEDLER est plus pauvre en K, plus pauvre en Mn, plus riche en Si, la capacité totale d'échange T est plus élevée, mais le taux de saturation plus bas (12 % contre 17 %).

Le rapport C/N est, par exemple, de 47 (contre 28 pour *Milium effusum*) (mais 76 pour *Calamagrostis epigeros*); il est beaucoup plus faible (20) en été qu'en hiver (85).



Quoi qu'il en soit, son humus noir, souvent tourboïde est mauvais. Peut-être est-elle, par ses sécrétions, nocive aux végétaux forestiers: rien ne le prouve. Des essais d'arrosage de semis en pots avec des jus de molinie n'ont pas affecté la croissance de semis de chêne. Elle est surtout nuisible par son enracinement très conquérant et, à la longue, par la moindre restitution (feuilles plus pauvres en bases). Ce sont surtout les conditions asphyxiantes dans lesquelles elle se complait qui sont funestes, soit directement, soit indirectement, par le mauvais humus qu'elle donne à partir de ses feuilles.

Peut-être sa nocivité est-elle indirecte par action défavorable sur la microflore (y compris mycorrhizes), semblable à l'action de la callune signalée par W.-R.-C. HANDLEY (Cf. Boullard, *R.F.F.*, fév. 1964, p. 141): c'est possible, non démontré.

Il ne faut pas oublier que c'est avant tout le découvert (corrélatif de la présence de la molinie) qui est funeste. Nous n'en voulons comme preuve que la présence de chênes qui ne semblent pas souffrir (si ce n'est d'un ralentissement de croissance) en pleine moliniaie.

2.18. LA CALLUNE: l'influence très funeste de la callune (autrefois beaucoup plus étendue en forêt de Chaux) est certaine. Elle a été étudiée ailleurs par CAJANDER, GRABNER, HENRY, JEFFERIES 1916, LUNDEGARTH, HANDLEY, etc.

Par la teneur en lignine de ses feuilles coriaces, elle a certainement une action podzolisante et par conséquent marmorisante (puisque la marmorisation est une micropodzolisation, une endopodzolisation).

Heureusement, elle est plus sensible que la molinie à l'ombrage, et après avoir couvert de grandes surfaces, elle a presque disparu. Son action pédologique, depuis que les peuplements sont plus serrés, relève donc du passé.

2.19. GENÊT: le genêt à balai contient 25 % de CaO; son extension naturelle serait probablement utile à la restauration des sols, mais il ne vient que sur les sols de pentes, non sur ceux de plateau.

### 3. EFFET DE LA LITIÈRE:

Interception de l'eau: nous avons, en 1955, mesuré l'écoulement au travers d'une litière artificielle. A travers la litière simple:

Chute et lame d'eau qui a traversé (en 1/10 de mm)

Chute	écran simple	écran double
1	0	0
17	10	4

56,5 % de l'eau de pluie ont traversé; à travers la litière double: 19,9 % seulement. L'effet d'écran fut total ou très important pour les pluies fines, relativement moins important pour les fortes pluies.

#### 4. EFFET DU DECOUVERT :

4.1. EFFETS DIVERS : les effets du découvert se déduisent de ceux que nous venons d'étudier. En raison de l'importance du découvert en forêt de Chaux jusqu'à nos jours, la question mérite d'être traitée.

Le découvert expose le sol à la pluie et à l'insolation :

1° la quantité d'eau de pluie qui entre dans le sol est nettement plus grande, même s'il y a de la molinie au sol; elle est par exemple de 20 % supérieure; elle crée la nappe perchée, ou elle l'exhausse (de 3 à 10 fois la hauteur de pluie tombée). Cette entrée est plus nocive si la température est plus froide.

2° le pompage est considérablement diminué puisqu'il y a succion bien moindre par les racines, même s'il y a un tapis de molinie.

3° cet exhaussement de la nappe est d'autant plus marqué que l'évaporation, non freinée par l'écran végétal, ou moins bien freinée s'il s'agit de molinie, empêche l'évacuation par l'atmosphère de l'ex-cédent en période humide.

4° le choc des gouttes de pluie tasse la surface du sol riche en particules fines; elle le « glace », ce qui contribue à l'asphyxie interne.

5° il y a entraînement par les filets d'eau, lors des pluies violentes, de particules fines, donc diminution de la couche utile qui surmonte le sous-sol marmorisé, couche déjà de faible épaisseur; si cet entraînement atteint 0,5 mm par an seulement, en 300 ans, il représente 15 cm. Ainsi s'explique en partie la surélévation des touffes de molinie séparées par des bandes de sol nu en mauvais vide par érosion discrète.

6° l'insolation réchauffe le sol et accroît ainsi l'évaporation; celle-ci, en période sèche, amène le sol à un taux d'humidité insuffisant, dont parfois souffrent directement les plantes, qui, en tout cas, fait un tort énorme aux bactéries et à la microfaune dont le rôle est, on le sait, capital dans la dynamique chimique et la conservation de la fertilité. Cette dessiccation est d'ailleurs un facteur de marmorisation (reconcentrations et précipitations des hydroxydes).

7° l'action du vent devient plus forte: cette action peut être favorable si c'est en période de « table d'eau », défavorable si c'est en période sèche,



8° à la longue, le réseau de canalicules des grosses racines disparaît.

Notons d'ailleurs que l'action du découvert sur la végétation, par certains côtés, a une influence indirecte sur le sol :

1) le découvert favorise les essences de lumière, mais défavorise les essences d'ombre (ici le hêtre) qui sont justement celles préférables pour le maintien du bon état du sol.

2) il favorise la molinie qui est une héliophile très envahissante et propageant l'incendie : voir chapitre XV et ci-dessous, le paragraphe 5.5.

3) il favorise la callune, agent dégradant par excellence : voir chapitre XVII 2.18.

4) il favorise la roulure du chêne par les balancements des tiges insuffisamment résistantes.

5) il supprime les porte-graines, donc les chances de régénération forestière naturelle dans les trouées.

4.2. COUPE RASE : le cas extrême est celui de la coupe rase. Les fâcheux effets de la coupe rase (ou même de la coupe forte découvrant le sol) ont été décrits en d'autres lieux, par exemple par CAJANDER en 1909, MULTAMAKI en 1919 (Finlande); HESSELMAN en 1917, 1927, 1928; RUBNER en 1927 (Allemagne); NEMEC et KVAPIL en 1927; ENEROTH en 1928 (Norvège); FRASER en 1929; WITTICH 1930; WIEDMANN 1928, 1934; DENGLER 1935; KIVEKAS en 1939; AREND en 1941 (Missouri : influence sur la perméabilité des sols forestiers); CHAPMAN; ETTER et MORIER (qui ont formellement déconseillé la coupe rase sur des sols analogues dans leur étude des forêts de la région de Genève).

Il est certain qu'il faut, autant qu'il est possible, la proscrire, pour toutes les raisons évoquées plus haut à propos de l'effet de la végétation.

4.3. EQUILIBRE : de façon plus générale, on doit constater qu'il y a interaction entre sol et végétation. La végétation agit sur le sol : en particulier en s'opposant à la naissance de la nappe perchée. Le sol agit sur la végétation. Si celle-ci couvre mieux le sol, elle pompe mieux l'eau de la nappe perchée : elle en réduit l'épaisseur et la durée après les pluies ; elle absorbe davantage de bases minérales dans le sous-sol et elle les restitue par la litière dans les couches moyennes où se trouvent les racines. Elle absorbe davantage de gaz carbonique (celui qui émane des microorganismes du sol et qui, une fois dans l'air, favorise peut-être l'assimilation chlorophyllienne). Une structure plus érigée et plus stable qui provoque une évacuation de l'eau et une oxygénation favorable, une quantité ini-

tiale un peu plus grande de bases minérales, d'autres facteurs favorables causent une végétation forestière plus fournie, plus vigoureuse.

Un sol bien boisé est, particulièrement dans le cas des sols marmorisés, plus fertile qu'un sol nu ou mal couvert, ou qu'un sol cultivé, et même très probablement qu'un sol enherbé.

Les cycles de l'azote et des matières minérales portent, pour une surface donnée, sur des quantités plus grandes si le peuplement est plus serré. Arbre et sol forment une association bénéfique réciproque.

On peut parler d'équilibre entre sol et végétation, ou plutôt d'équilibres multiples à des niveaux différents.

D'autre part, alors même que certains facteurs de production restent constants (texture, nature minéralogique des argiles), d'autres (structure, vitesse de circulation des bases...) peuvent être améliorés si la végétation est, en fait, meilleure.

Il en résulte que *la notion de fertilité d'un sol forestier est une notion bien relative; il y a des relations étroites entre la forêt et son sol; tout dommage causé à l'un endommage l'autre.*

4.4. DÉGRADATIONS CONJUGUÉES: la dégradation du peuplement est toujours artificielle et généralement rapide (quelques heures si c'est un incendie, 1 an par exemple si c'est une coupe). La dégradation du sol qui en résulte est assez rapide (quelques années). Elle suit un processus en chaîne, avec auto-augmentation (*autauxie*).

La restauration du peuplement précède, elle aussi, la restauration du sol. De sorte qu'il y a un perpétuel décalage entre l'état du sol et celui du peuplement; si l'on adoptait des classes de peuplement et de sol, on verrait que le peuplement est déjà dans la dernière lorsque le sol n'est encore que dans l'avant-dernière.

Alors que la descente de classe de sol se poursuit, celle du repeuplement peut remonter. Vient un certain moment où le sol progresse à son retour, mais c'est toujours avec un certain retard.

La médiocrité des peuplements de la forêt de Chaux explique en partie celle des sols et réciproquement; mais aux causes éda-  
phiques profondes, parce que primitives, se sont ajoutées les causes d'origine humaine. C'est ce qui donne quelque espoir sérieux de restauration.

## 5. EFFETS DE PRATIQUES FORESTIERES DIVERSES:

5.1. EFFET DU SOUTRAGE ET DE LA RÉCOLTE DU FOURRAGE: les extractions de litière (fauchages, arrachages) (fougère, molinie, bruyère), les exportations de fourrage surtout ont été, du XI<sup>e</sup> au XIX<sup>e</sup> siècle, largement pratiquées. Ici comme dans d'autres forêts, elles se sont exercées d'abord sur les bordures (actuellement constituées principalement de forêts communales) et autour des villages



de baraques installées en forêt. On sait que ces enlèvements exportent non seulement autant, mais davantage d'éléments nutritifs que les exportations ligneuses. Ces pratiques sont nuisibles à la structure, au taux d'humidité (diminution de 20 %). C'est ce qu'ont montré, entre autres, HENRY (E.) 1909, TRIPIER 1901, VAN GOOR 1963, WITTICH 1951, etc.

On peut estimer la quantité perdue par hectare par l'enlèvement de la couverture morte à 287 kg d'N, 44 kg de  $P_2O_5$ , 21 kg de  $K_2O$ , 107 kg de CaO. On a calculé que la réduction de production ligneuse était de 2 m<sup>3</sup>/ha/an.

5.2. EFFET DU PATURAGE: le pâturage a été considérable: ainsi au XVII<sup>e</sup> siècle entraient chaque année, 20 000 porcs, 20 000 bêtes à cornes, 2 000 chevaux, des chèvres. Ce pâturage a eu un effet variable; il est hors de doute que la fumure naturelle apportée par les déjections des animaux a été utile (équivalente à 500 kg de fumier par ha/an) (augmentation de matière organique de 0,6 %); le piétinement modéré, le fouissement par les porcs ont pu favoriser les régénérations et être favorables (surtout avant fainée ou glandée) si, ensuite, les troupeaux ont été écartés à temps des endroits améliorés.

Mais, d'autre part, que de semis et de rejets abrutis! que de piétinements excessifs ou intempestifs, après des périodes pluvieuses!

Tout autre est l'effet d'un pâturage modéré et réglementé et celui d'un pâturage excessif (surpâturage) et anarchique, tel qu'il était habituellement pratiqué, à une époque où la police de la forêt était insuffisante.

Que de délits de coupes commis par les pâtres! ébranchages pour donner les feuilles à leurs bêtes, éhoupages, ramassages de litière, coupe par les bûcherons (coupe à 2 ou 3 pieds de haut)!..

### 5.3. ACTIONS DIRECTES SUR LE SOL PAR L'EXPLOITATION EN FORÊT:

5.3.1. Dans cette forêt intensément exploitée pour les usines, a régné pendant plusieurs siècles une grande activité: d'où *piétinement* par les hommes et les animaux, d'où *tassement* d'un sol à structure particulièrement fragile.

5.3.2. Les implantations de charbonnières ont occasionné une dégradation locale du sol par les acides pyroligneux; nous y avons observé des types de sols marmorisés passant aux vrais gleys.

5.4. EFFET DES DÉFRICHEMENTS ET DES CULTURES VIVRIÈRES EN FORÊT: les cultures en forêt ont eu des effets très variables: si après une culture de peu de durée on a semé des glands de chêne,

dans une culture de seigle, ce qui probablement s'est fait quelque fois, le résultat a été bon et les arbres ont profité de la fumure (vraisemblablement d'ailleurs assez maigre).

Mais généralement ces cultures temporaires étaient abandonnées; le sol était envahi par la friche; les bruyères s'installaient et acidifiaient le sol qui se détériorait gravement. *Toutes les zones portées « places vaines et vagues » en 1725 sont aujourd'hui, en grande partie, reboisées, mais dans l'ensemble médiocres.* Sous ces cultures, il y a eu découvert, donc augmentation de la quantité d'eau entrant dans le sol; il y a eu, certes, brassage d'une mince couche superficielle ralentissant le lessivage; il y a eu, par contre, lissage d'une « semelle de labour » qui a accentué l'effet d'écran à un niveau d'ailleurs plutôt élevé, donc plus défavorable que l'écran primitif naturel. Peut-être est-ce à de telles cultures qu'il faut attribuer cette limite particulièrement nette entre les 2 couches non marmorisé et marmorisée que l'on observe parfois (I 14)?

5.5. EFFET DES INCENDIES: si les documents historiques sont rares, l'état de la végétation prouve nettement la fréquence des feux anciens, et la ressemblance des vides avec une savane boisée est frappante.

On peut supposer que le tiers de la forêt a brûlé 2 ou 3 fois par siècle pendant 3 siècles.

Les limites curieuses de certaines essences en bordure des vides justifient cette explication. Parfois, c'est une ligne de division de coupes qui, sur un même plateau, sépare deux formations végétales différentes sur un même sol original: c'est évidemment parce que le feu s'est arrêté (ou a été arrêté par des sauveteurs) le long de la dite ligne.

Qui plus est, *souvent cette limite coïncide avec une des lignes du réseau ouvert en 1775: c'est la preuve, dans ce cas, que certains des incendies causes de la dégradation sont postérieurs à cette date, c'est-à-dire qu'elle est récente.*

Ailleurs, la limite irrégulière n'est pas explicable, si ce n'est par l'arrêt accidentel du feu (chute du vent) ou par les mesures prises lors de l'un des incendies (les incendies suivants ont tendance à adopter les mêmes limites, du fait que la molinie est plus développée sur l'emprise du premier feu).

Ces incendies étaient allumés dans diverses occasions accidentellement par les charbonniers opérant en forêt, ou les bûcherons désireux de se chauffer, ou volontairement par les bergers pour régénérer le pâturage (technique encore classique Outre-Mer), par les verriers pour favoriser la fougère, pour la chasse, par représailles contre le pouvoir royal (ainsi au XVIII<sup>e</sup> siècle).

5.5.1. *Effets utiles* (autres que ceux sur la repousse de l'herbe) ou au moins temporairement favorables.



1° Combustion de l'humus mal décomposé (par suite de l'asphyxie) et nuisible (en particulier l'humus des graminées).

2° Incorporation au sol, par dissolution des cendres des arbres, du matériel minéral, existant dans des espèces végétales sans valeur forestière (molinie, bruyère, saules...). D'où alcalinisation. D'où le « coup de fouet » bien connu. D'où peut-être, ralentissement du lessivage et de la marmorisation favorisant la fructification des essences précieuses (chêne) et la croissance des jeunes plants pendant 1, 2 ou 3 ans ; cet effet heureux ne se produisait que si l'incendie survenait certaines années seulement et en particulier si par suite de l'humidité le feu se propageait lentement.

5.2.2. *Effets nocifs*: nous ne tiendrons pas compte de la perte sèche (arbres morts ou tarés au point de vue production forestière). Mais nous noterons les actions des incendies :

1° ils favorisent la pullulation de la molinie qui seule rejette et dont les effets funestes sont certains (de multiples façons).

2° ils détruisent les hêtres qui, en fait, peuvent exister isolés sur les plus mauvais sols (et qui auraient été les meilleurs agents de reforestation).

3° ils créent un découvert qui augmente de 20 %, ou plus, la quantité d'eau entrant dans le sol en période pluvieuse et augmente l'évaporation en période sèche : d'où alternances hydriques accrues et marmorisation subséquente.

4° ils détruisent en surface la microflore et la microfaune du sol (d'où un tassement par les pluies en surface) et éloignent temporairement les oiseaux et autres animaux jouant un rôle dans l'équilibre biologique local.

5° on remarquera que les conditions ainsi créées, en particulier le développement d'une molinie prospère, déterminent des conditions favorables pour le retour du feu. Un premier feu est le début d'un enchaînement maléfique.

Le bilan est négatif : *les incendies sont la cause principale de la dégradation des peuplements et des sols en forêt de Chaux. Il ne faut jamais l'oublier pour comprendre l'évolution de cette forêt.*

## 6. TRAITEMENT FORESTIER PROPREMENT DIT :

6.1. MONOCULTURE DU CHÊNE : le chêne a été séculairement et systématiquement favorisé, soit sous forme de futaie en vue de la production des glands, nécessaires au panage des porcs, soit, à d'autres moments ou en d'autres endroits, sous forme de taillis

nécessaires à la production d'écorces à tan, soit par suite du feu qui lui donnait la supériorité sur le hêtre. Cette monoculture a eu un double effet :

a) couvert faible et restitution relativement faible de matière organique végétale.

b) action marmorisant sur le sol par action des dérivés des tanins.

*On a là un bel exemple d'une spéculation économiquement intéressante ,mais néfaste à la longue pour le milieu producteur.*

6.2. EFFET DU TRAITEMENT EN TAILLIS: le traitement en taillis a un effet double :

a) il a provoqué des découverts fréquents tous les 20, 25 ou 30 ans et longs (près de 8 ans à chaque passage en coupe).

b) il a eu pour effet d'exporter relativement plus de petits bois que de gros bois. Or, on sait que l'épuisement du sol est, dans ce cas, très supérieur. D'après GRANDEAU, la teneur en cendres est dans la tige 0,36 % ; les branches 2,04 % ; l'écorce 6,34 % ; les feuilles 6,34 %.

Si, d'autre part, on tient compte de ce que le volume des branches pour un peuplement donné est, en général plus grand que le volume des fûts, on arrive à cette conclusion que l'exploitation forestière sous forme de petits bois (bois de feu, charbon de bois) est plus épuisante (7 fois) pour le sol que celle de bois d'œuvre (pourtant actuellement de beaucoup plus grande valeur).

c) l'exploitation à courte révolution a conduit, suivant les endroits, à l'envahissement du charme: les sous-bois composés d'essences variées sont ainsi devenues des « taillis à charme » ; il n'y a eu aucun inconvénient pour le sol, mais diminution de valeur du peuplement.

Quant à l'envahissement du coudrier sur les plateaux, il est certainement dû souvent à des coupes excessives ; c'est, il est vrai, un indice de dégradation plus qu'une cause.

L'envahissement récent du bouleau a la même origine ; il s'est jeté dans les vides, surtout après les feux : c'est un indice de dégradation, non un facteur de dégradation. *C'est au contraire un stade de reconquête.*

6.3. EFFET DE L'ABATTAGE MASSIF DES RÉSERVES: à plusieurs reprises, on signale, pour passer à l'état de taillis, des abattages massifs de réserves de futaie, en particulier de cordons de futaie précieusement conservés jusqu'au XVIII<sup>e</sup> siècle: l'effet de ces coupes rases fut très funeste sur les surfaces ainsi exploitées.



6.4. ABUS DIVERS: de nombreux abus furent commis par les bûcherons et pâtres: mutilation..., qui contribuèrent plus ou moins au découvert du sol.

Peut-être les vanniers étaient-ils heureux de favoriser localement la bourdaine, et les verriers la fougère!

En résumé, nous croyons pouvoir affirmer que *c'est toujours l'altération des peuplements qui a provoqué l'accélération de la marmorisation*. C'est la sommation de ces traumatismes (abus et incendies) qui, sur un support fragile, a provoqué par de fâcheux enchaînements la formation des vides et clairières, la remontée de la marmorisation, l'influence de la molinie sur les horizons supérieurs.

*Bibliographie:* BOUDRU 1947, DUCHAUFOUR (d.d.), GALOUX (d.d.), HOLMES 1880, LIVENS... 1956, LOSSAINT 1951.

---

## CHAPITRE XVII

---

### BASES DE L'AMELIORATION

---

L'amélioration des sols hydromorphes peut être recherchée par des méthodes naturelles ou des méthodes semi-artificielles. Nous proposerons diverses méthodes qui résultent soit de nos observations et essais sur le terrain, soit de nos cultures en pots sur des sous-sols marmorisés, remués et aérés avec des sols témoins.

Il faut faire ici une remarque importante : ce n'est pas tant par elle-même que la marmorisation est nuisible. Certes l'hétérogénéité du milieu dans laquelle plongent les radicelles est fâcheuse pour leur bonne extension. Mais ce sont surtout les conditions asphyxiantes et trop alternantes, donc en définitive l'excès et l'insuffisance d'eau qui sont nocifs pour la végétation.

#### 1. ETUDE PAR NATURE D'AMELIORATION :

Nous envisageons ici, surtout les objectifs à réaliser, plus que les modalités pratiques.

##### 1.1. AMÉLIORATION PHYSIQUE :

1.1.1. *Texture* : on pourrait envisager, pour améliorer de tels sols, des apports de sable grossier ; mais en forêt il s'agit d'un projet purement théorique ; c'est réalisable en pépinière.

##### 1.1.2. *Evacuation de l'eau* :

1.1.2.1. *Assainissement artificiel* : les assainissements en forêt ont fait l'objet de rares publications : BERAUD 1870, BURGER (H.) 1937 ; nous leur avons consacré un article en 1950 dans la R.F.F. (p. 553-563). L'assainissement des plateaux doit faire l'objet de techniques différentes de celles des vallées marécageuses.

Si l'on veut évacuer une lame d'eau de 30 % de la pluie arrivant au sol, c'est-à-dire 200 mm, soit 2 000 m<sup>3</sup>/ha, en 10 pério-



des de 3 jours, soit 30 jours, c'est-à-dire  $30 \times 24 \times 60 \times 60 =$   
 $\frac{2\ 000\ 000}{1\ 728\ 000}$  secondes, il faudrait un débit de  $\frac{1\ 728\ 000}{1\ 728\ 000} = 1,1$  l/sec/

ha. En fait ce débit est rarement atteint, de sorte qu'un réseau de fossés n'arrive pas à faire disparaître la nappe.

D'après nos essais de limnigraphie, en étudiant la courbe du 16 au 22 mai 1955, on constate que (malgré un débit qui, par moments a atteint 60 l/minute après la pluie du 17 juin) c'est une lame d'eau de 1,6 mm seulement qui a été évacuée. C'est donc, compte tenu de la porosité, une épaisseur de sol de 6 mm environ qui a été assainie; pendant le même temps il est tombé 73 mm de pluie: malgré le débit des fossés, le niveau général de l'eau est remonté fortement.

Les courbes du limnigraphe Richard montrent (ce que nous savions déjà par des observations horaires):

1° que le niveau monte rapidement après chaque pluie (ceci se comprend puisque l'eau ne peut occuper que la faible fraction du sol qui est vide, fraction d'ailleurs d'autant plus faible que le sol est plus compact); la montée se fait en quelques heures.

2° que le niveau descend lentement à chaque période sèche entre deux pluies.

#### *Modalités de l'assainissement:*

Les débits, en XII 5, au printemps 1954, ont varié de 0 à 300 l/minute pour 1,20 ha; ils étaient fréquemment de 1 à 10 l/minute. Ainsi donc, généralement l'assainissement ne se traduit pas par un débit durable important d'eau dans les fossés ouverts. Ceci nous a d'abord étonné. Mais ce serait cependant une erreur de sous-estimer les effets de ces fossés.

1° pendant les pluies, ils évacuent une partie des eaux superficielles qui ruissellent; c'est une quantité plus faible qui entre dans la masse du sol; cet effet n'est visible que pendant la pluie.

2° après les pluies, dans les heures qui suivent, ils évacuent (lentement, il est vrai) une partie de l'eau interne.

3° en tout temps, en particulier pendant des périodes chaudes et sèches qui suivent des pluies, ils augmentent notablement la surface évaporante; avec des fossés rapprochés à 4 m on augmenterait cette surface de 1/3 de sa valeur. C'est donc 1/3 de la quantité d'eau retenue dans le sol qui peut être éliminée sans qu'il y ait écoulement.

Force est de constater le bon effet des anciens réseaux ouverts il y a 100 ans et plus. Les peuplements (il est vrai trop clairs, par suite du traitement en taillis-sous-futaie) en ont manifestement profité: ainsi dans les anciennes 7<sup>e</sup> et 8<sup>e</sup> séries.

L'assainissement des plateaux (à profils plus ou moins convexés) est totalement différent de celui des vallées (à profils concaves). Ceci a été souvent perdu de vue. Il ne faut pas s'attendre à des écoulements permanents, ni même durables.

*Efficacité des fossés:*

	A 20 cm du bord	A 300 cm du bord
Surface .....	27 cm	35
25 cm .....	19	25
60 cm .....	20	23

L'effet semble favorable, mais il s'agit de mesures délicates. et il faut être prudent dans l'interprétation.

Nous avons mesuré des débits de collecteurs de fossés. Exemple:

Parcelle 42 (surface assainie 1 ha); le débit varie de 0,03 l/min. à 40 l/min. (après une pluie);

Parcelle 88 (surface assainie 3 ha): le débit varie de 0,5 l/min. à 40 l/min.

Parcelles 102/103 (surface assainie 4 ha) (réseau de 1 300 m, soit 325 m/ha): débit 2 l/sec, soit 120 l/min.

Parcelle 116 (surface 3 ha) (réseau de 900 m): débit le 1<sup>er</sup> avril 1963: 1,5 l/sec, soit 90 l/min.

Parcelles 97, 98, 99, 111, 112, 113 (surface 15 ha, réseau de 3 800 m, soit 253 m/ha): débit le 1<sup>er</sup> avril 1963: 4 l/sec, soit 240 l/min.

Couramment la quantité d'eau qui sort d'un hectare assaini après une pluie est donc de 86 400 litres; elle correspond à une couche de 0,8 mm donc à une « table d'eau » (compte tenu de la matière

solide) de  $\frac{0,8 \times 100}{40} = 2$  cm. C'est faible. Nous avons obtenu des chiffres 20 fois plus faibles et d'autres 10 fois plus forts.

*Effets de l'assainissement:*

1° aérer le sol, ce qui améliore l'activité biologique et évite le pourrissement des racines;

2° faciliter ainsi le développement et la descente des racines, donc la multiplication des racines et l'augmentation de la couche fertile;



3° restructurer le sous-sol, donc augmenter sa capacité de rétention en eau, justement dans une partie qui est à l'abri de l'évaporation;

4° réchauffer le sol;

5° favoriser le développement d'une microflore restructurante;

6° diminuer les phénomènes dus au gel, nuisibles au sol ou aux végétaux.

D'où il résulte :

1° une augmentation de la couche meuble productrice;

2° une meilleure élongation des fûts (1 à 2 m);

3° une amélioration technologique du bois;

4° une augmentation de la production (par exemple de 1 à 2 m<sup>3</sup> de bois par ha et par an s'il s'agit de feuillus, 2 à 4 m<sup>3</sup> s'il s'agit de résineux):

5° régénération facilitée.

Les fossés pourront être abandonnés après 40 ans quand la végétation sera devenue « normale ».

*On a pu craindre*, en d'autres régions (Vierzon), *l'effet défavorable d'un très fort assainissement*; cette crainte serait, dans une vue superficielle de la question, d'autant plus forte ici puisqu'il s'agit d'une nappe temporaire; en fait s'il est exact que des assainissements aient été intempestifs ailleurs, en sol sableux, nous considérons que *cette crainte ici n'est pas justifiée*, en raison des effets décrits ci-dessus sous les n<sup>os</sup> 2 et 3 (réserve plus grande même en saison sèche et système racinaire approfondi mieux armé contre la sécheresse). Précisons que cette sécheresse est d'autant moins à craindre que le couvert est plus dense puisque, dans ce cas, l'évaporation est ralentie.

1.1.2.2. *Assainissement naturel*: nous ne ferons que rappeler l'effet-pompe qui est un assainissement par en haut; la transpiration d'un hectare de hêtre, par exemple, évacue 3 500 tonnes, ou plus, par ha et par an (HÖHNEL 1880).

1.1.3. *Amélioration structurale*: il s'agit d'améliorer la structure en la rendant plus aérée et surtout de la rendre plus stable.

On peut espérer une amélioration, très variable suivant le niveau considéré, de 10 à 50 %, par des amendements minéraux ou organiques, ou par des conditionneurs, ou encore par la végétation naturelle (fourreau de racines et galeries d'animalcules lissées).

L'amélioration conjointe de la forme et de la stabilité de la structure a pour effet direct :

1° Meilleure aération du sol en tout temps; meilleure aération de l'eau du sol qui circule au lieu de stagner.

2° Plus forte réserve hydrique en saison sèche.

3° (probablement) Réserve minérale plus forte consolidant les ponts colloïdaux.

4° Microflore aérobie plus abondante et plus favorable à la nutrition végétale.

5° Facilité mécanique d'allongement et pénétration des racines.

6° S'il s'agit de la couche superficielle, érosion éolienne et hydrique diminuée.

Elle a aussi des conséquences secondes :

1° Démarmorisation (brunissement et restructuration);

2° Végétation meilleure en quantité et en qualité.

1.2. AMÉLIORATION CHIMIQUE: la pauvreté signalée au chapitre V n'est pas irrémédiable, elle est minérale et organique.

1.2.1 *Amélioration minérale*: elle provient de la pauvreté initiale d'un matériel déjà partiellement lessivé et épuisé, et des altérations sur place par l'eau stagnante interne: marmorisation qui provoque probablement une mauvaise répartition des bases, lessivage latéral, exportation excessive de petits bois, monoculture du chêne. Certes les essences à cendres riches, telles que le frêne, donc à forte restitution, ne prospèrent que sur les bons sols, et sur les mauvais sols il ne vient habituellement que les essences indigènes à cendres pauvres et à faible restitution. Est-on pris dans un cercle vicieux? Certainement non, car on peut apporter des engrais par la culture, on peut accroître la profondeur des racines, qui peuvent dès lors explorer des couches habituellement inutilisées, c'est-à-dire un garde-manger nouveau; on peut aussi faire appel à des essences exotiques à faible exigence, mais ayant un accroissement naturel un peu plus profond, et on peut faire appel à des essences indigènes enrichissantes, telles que l'aune, capable de capter et réincorporer au sol l'azote atmosphérique.

1.2.2. *Amélioration organique*: elle est due à la fane, aux racines, aux apports d'engrais organiques. L'effet des matières organiques est multiple:

1° elles sont un élément de division; elles ont un volume régressif; elles laissent, après leur transformation, des vides qui se remplissent d'air;

2° elles diminuent la mouillabilité;



3° elles augmentent la cohésion ;

4° elles augmentent la teneur en eau utile, formant une réserve.

Les travaux de HÉNIN, TURC, MOREL, MONNIER, S. MÉRIAUX ont montré les bienfaits de la fumure sur sols de limon.

Il y a aussi un effet physiologique de l'humus (si c'est un bon humus). Il agit sur l'absorption d'éléments fertilisant les racines (CHAMINADE) : il influence le métabolisme ; il agit sur le processus respiratoire ; il améliore la microflore ; c'est une source de « facteurs de croissance » ; il stimule les racines.

## 2. ACTION COMPLEXE DES AGENTS BIOLOGIQUES :

### 2.1. VÉGÉTATION :

2.1.1. *Dôme de feuillage* : il empêche le choc des gouttes de pluie sur le sol exposé au glaçage et il diminue la quantité qui arrive au sol par suite de l'évaporation sur le feuillage. Les résineux agissent toute l'année ; les feuillus l'été seulement.

2.1.2. *Litière* : en même temps qu'on augmente le couvert, on augmente la litière. Or, celle-ci a un effet mécanique protecteur sur la structure du sol ; elle l'enrichit en matières organiques ; elle empêche une perte d'eau par évaporation en période sèche ; elle abrite et nourrit la pédofaune.

### 2.1.3. *Racines et souches* :

a) *Action directe des racines sur l'agrégation* : pendant la présence de la racine, celle-ci agit de façons diverses :

1° BAYER estime que la compression locale favorise la stabilité de la structure.

2° la déshydratation locale est assurément très favorable ; ainsi que les sécrétions d'acides organiques par les racines qui peuvent constituer au voisinage de celles-ci des ciments consolidant les conduits.

Après pourrissement, la lacune qui subsiste, et surtout l'incorporation de matière organique décomposée ainsi que la microfaune attirée sont des facteurs importants.

b) *Ameublissement des couches durcies* : l'attaque des couches dures par les racines des arbres a été peu étudiée. DIMBLEBY 1953 a observé d'heureuses altérations de *hardpan* sous des arbres dans des landes à bruyère ; il se forme, même en profondeur, des poches d'humus descendu de la surface le long des conduits laissés par les racines.

En examinant les chablis, nous avons, à plusieurs reprises, observé une pénétration des racines dans les couches dures; ceci surtout sous de vieux arbres de 140 à 200 ans. Certes, les racines extrêmes sont fines; elles sont coudées car elles évitent les obstacles (zones trop dures et trop sèches).

Mais les racines qui s'aventurent ainsi dans le sous-sol jouent un double rôle de fragmentation et d'enrichissement en matière organique, donc de restructuration. Force est de constater que *seuls les grands arbres, bien armés parce que déjà pourvus d'un enracinement puissant installé dans les couches moyennes, peuvent envoyer dans le sous-sol ces racines pionnières dont certaines périssent parce que les conditions y sont trop ingrates et dont certaines ameublissent le sol.*

Nous avons, il est vrai, constaté la descente de racines de bourdaine de 3 cm de diamètre dans le sous-sol dur (ce qui explique d'ailleurs l'existence de la bourdaine dans les vides). Mais le cas général c'est l'étalement des racines des végétaux ligneux de taille moyenne au-dessus de ce socle dur, de cette semelle difficilement pénétrable. Par contre, les grands arbres peuvent, eux, assurer cette pénétration. On aimerait chiffrer le gain possible et sa vitesse. *Diverses observations nous permettent de penser que l'on peut regagner 10 à 25 cm sur le sous-sol, et ceci avec une vitesse de 1 cm par an.*

Or, *il ne faut pas perdre de vue que souvent la profondeur de la couche dure est critique (30 cm par exemple), alors qu'une profondeur de 55 cm ou 65 cm est suffisante pour obtenir de très beaux peuplements.* Cette dernière constatation peut être faite à Seillon, à Purlans, au Parc de Neublans. Par conséquent, le gain escompté peut être d'importance considérable. Grâce à lui, on peut espérer avoir une belle futaie productrice, là où l'on n'avait qu'une médiocre clairière à végétation languissante et de basse qualité technologique.

c) *Effet-souche:*

1° *Effets antérieurs à la coupe*, dont le sol conserve le souvenir:

a) protection par l'arbre contre le choc des gouttes de pluie et contre la dessiccation; incorporation des feuilles (chaque année), des fruits (qui pourrissent, mais sont riches en matières minérales) autant de fois qu'il y a eu de fructification.

b) la microflore et la microfaune ont toujours été localement meilleure à l'aplomb du couvert.

c) le long des racines, suivant des fourneaux, les écoulements d'air et d'eau se sont faits (microdrainage) et continuent de se faire, même avant que les racines pourrissent.



2° *Effets consécutifs au pourrissement:*

a) les racines laissent la place à des conduits qui activent grandement la circulation de l'air et de l'eau.

b) ces conduits facilitent la descente de nouvelles racines.

c) la masse de la souche et des racines (dont le volume total, on le sait, est approximativement celui de l'appareil externe de l'arbre), en se décomposant, libère des matières organiques qui peuvent être absorbées par les petits organismes du sol et des matières minérales qui se déposent et accroissent la fertilité.

Effectivement, *on observe souvent une meilleure venue de ceux des jeunes plants forestiers qui ont été plantés à proximité des anciennes souches.*

Après quelques années, ils forment un *cône* qui, d'ailleurs, conserve longtemps sa forme dans la suite, l'avance des plants du centre n'étant jamais rattrapée par ceux de la périphérie.

Ce phénomène est particulièrement visible dans la parcelle 769 avec des pins Weymouth (semis naturels du peuplement voisin plantés autour d'une souche de chêne). D'où la croissance plus forte et la santé meilleure des plants.

En généralisant, on peut induire que beaucoup d'hétérogénéités des sols de forêt viennent du passé forestier, plus précisément de la présence d'anciennes tiges devenues souches après exploitation et souvent disparues au jour de l'observation. D'où les mosaïques, les variations « accidentelles » dans les régénérations.

On peut en conclure qu'il convient, lorsqu'on plante, de rechercher systématiquement les abords de souches. Cette méthode a deux inconvénients :

1° la trouaison est plus difficile du fait de l'obstacle des racines.

2° les rejets des feuillus (lorsque la tige coupée était jeune) peuvent gêner le jeune plant (en particulier jeune résineux). Cet inconvénient disparaît si on dévitalise la souche avec un phytocide.

2.14. *Stades prairiaux et cultures améliorantes:* leur action est double :

1° les racines de graminées sont plus fines et forment un chevelu plus serré que celles des arbres; d'autre part, elles sont très nombreuses; elles divisent finement le sol et elles s'incorporent intimement à la matière organique.

2° elles contiennent peu de lignine et se décomposent bien.

3° l'enfouissement artificiel des parties aériennes provoque rapidement (plus rapidement que par décomposition d'une litière forestière) l'enrichissement en bon humus.

Il s'agit donc là, en principe, d'excellents moyens de créer une bonne stabilité structurale, ou de la restaurer si elle a disparu.

Malheureusement, ils sont, en fait, peu faciles à employer en terrain boisé, même si le peuplement arboré est clair.

A) *Graminées*: certes, la molinie a une action restructurante, mais elle a de tels inconvénients que, même en envisageant de la tuer au moment voulu, on ne peut guère en recommander l'emploi; par les désherbants, on risquerait d'ailleurs d'intoxiquer le sol. Peut-être pourrait-on essayer d'autres graminées supportant un demi-ombrage.

B) *Légumineuses*: les Allemands emploient fréquemment les lupins; on a aussi essayé le trèfle, le genêt.

## 2.2. FAUNE:

2.2.1. *Lombrics*: sous l'effet des vers de terre, par exemple, la porosité capillaire peut passer de 22 % à 33 % d'où amélioration de la qualité de la structure et de sa stabilité; il y a également une amélioration chimique (calcium), bactériologique, et une augmentation des ferments.

2.2.2. *Fourmis*: un couvercle conique métallique de four à carboniser avait été placé sur un sol de prairie avec sous-sol marbré, près de la maison forestière du Grand-Contour, en 1960. Recherchant l'ombre et l'humidité, des fourmis y ont installé une fourmilière. Le résultat en 1964 est la forte surélévation du sol sous le couvercle; elle a été de 40 cm. Cette surélévation résulte:

- 1° des petites galeries qui ont été percées même dans le sous-sol dur;
- 2° du foisonnement du sol grumeleux extrait en profondeur, accumulé à la partie supérieure;
- 3° secondairement, des galeries de muridés qui ont été attirés par les fourmis.

La densité apparente du sous-sol est les 90 % de ce qu'elle est à côté, la densité de la partie moyenne, approximativement au niveau du sol supérieur, est de 79 % du même terme de comparaison. La densité apparente de la partie supérieure de la fourmilière est de 1,34, soit 70 % de celle du sous-sol non travaillé. Cette densité est acceptable pour la production ligneuse. On notera qu'il s'agit d'une structure stable, donc bien meilleure.

2.3. COMPARAISON ENTRE LES DEUX AGENTS: pédofaune et rhizosphère sont étroitement liés.



*Actions communes:*

- 1° Leurs galeries aèrent le sol.
- 2° La compression sur les parois améliore la structure dans les alentours de celles-ci.
- 3° Leurs cadavres augmentent localement la teneur en matière organique, donc l'agrégation, l'humidité et la nutrition en P et K.
- 4° Ce sont des véhicules de microorganismes.

*Actions spéciales:*

- 1° *Racines:* diminuent partiellement, par le pompage, l'engorgement et l'asphyxie.
- 2° *Petits animaux:* augmentent par leur déjection la teneur locale en calcium et matières organiques.

### 3. ETUDE PAR COUCHES:

#### 3.1. COUCHE SUPÉRIEURE:

3.1.1. *Sous forêt*, elle est en général d'une structure satisfaisante, comparable aux sols habituels de belles forêts, ce qui ne veut pas dire qu'elle ne puisse pas être améliorée. Le pulvérisage peut lui donner une forme émiettée apparemment très favorable; en fait, cet état ne dure pas longtemps et les pluies, lorsqu'il n'y a pas un couvert suffisant, provoquent rapidement un relatif tassement; autrement dit, les améliorations qu'on peut faire sous le couvert par des crochétages, sont assez peu durables.

3.1.2. *Vides.* Lorsqu'on opère dans des vides, il faut savoir que l'effet du fraisage est bref. Par contre, il y a lieu de modifier l'humus tourbiforme qui est améliorable.

3.2. COUCHE MOYENNE à démarmoriser, celle de 15 cm à 45 cm; c'est celle qui est affectée par le délavage et c'est justement celle où il y a beaucoup de racines. Le labour à la charrue, possible seulement lorsqu'il s'agit de zones déboisées, a un effet plus profond que le fraisage.

L'assainissement par fossés et le tranchage ont pour principal objet d'évacuer l'eau de cette couche, donc de l'améliorer.

L'incorporation de matières organiques serait particulièrement utile dans le cas de plantations; elle peut être faite grâce à la moto-foreuse hélicoïdale et par râclage de la terre humifère superficielle, ou par addition de fumier. C'est tout le problème de la démarmorisation des marbrures floues qui se pose à propos de cette couche moyenne; il nous semble qu'elle est possible, surtout si il y a occur-

rence d'années sèches, couvert végétal dense, et incorporation de matières organiques. Racines et animalcules prolifèrent, effectuent un brassage minéral et minéralo-organique dès que les conditions asphyxiantes ont disparu. Le sol peut passer de la teinte beige à la teinte ocre clair, et reprendre des qualités qu'il avait perdu par suite du découvert; ceci peut être assez rapide.

Nous avons eu l'occasion, en Bresse, d'examiner plusieurs étangs asséchés. Les sols gris marbrés se transforment à l'air et la végétation forestière se réinstalle (aunes, chênes...) sans difficultés, après 2 ou 3 dizaines d'années. C'est ce qui s'est passé aussi dans les étangs dits « de Chaux » qui servaient à donner des « coups d'eau » pour le flottage du bois sur la Clauge.

3.3. COUCHE INFÉRIEURE: il s'agit de la couche consolidée. Il ne s'agit pas, à proprement parler d'une restauration, d'une régénération de structure, puisque cette couche n'a probablement jamais été meuble, mais plutôt d'une premier ameublement et d'une création de structure un peu aérée. Bien que difficile, elle nous apparaît possible par action des racines; de cette reconquête d'un volume de terre utile, tout le mérite en reviendra à l'homme, de même que c'est lui qui, par les horizons médians, au contraire, a été responsable de la perte de structure et fertilité.

#### 4. DEMARMORISATION (fig. 20):

Le phénomène consiste essentiellement en trois transformations:

1° uniformisation des teintes, donc réoxydation des parties réduites, et rediffusion du fer dans la masse. Cette diffusion ne peut évidemment pas se faire à partir des concrétions dures; elle ne peut concerner que les parties marbrées molles et floues pour lesquelles le phénomène est réversible.

2° formation d'une structure érigée en agrégats, entraînant une forte augmentation de la porosité et de la perméabilité.

3° activation biologique (microflore et microfaune) corrélative de ces améliorations physiques et contribuant à les accroître. Les conditions de cette démarmorisation sont:

##### 1) l'exposition à l'air.

Mais cette exposition ne suffit pas à elle seule. Il faut, en effet, pour qu'il y ait *rebrunification*, qu'il y ait des mouvements de diffusion, c'est-à-dire des humectations suivies de précipitations.

Nous l'avons vérifié en laissant exposés à l'air, dans des verres, des échantillons de sous-sol bigarré à l'intérieur d'un local: après plusieurs années ils n'avaient pas changé d'aspect.



Au contraire, des échantillons exposés à la pluie (déblais de fossés) brunissent en surface en quelques années : l'approfondissement semble être d'environ 1 cm par an (soit 20 cm en 20 ans).

2) des alternatives d'humectation et de dessiccation provoquant des dilatations et contractions ; probablement aussi des alternatives de chaud et de froid contribuent au même résultat. Les déplacements de solutions permettent aux parties surcolorées d'alimenter les parties décolorées.

3) semble aussi nécessaire la pénétration d'un agent de liaison, habituellement la matière organique : la démarmorisation ne peut, semble-t-il, guère se faire sans l'intervention des végétaux.

4) enfin, elle ne peut se faire rapidement, le facteur « temps » est essentiel.

Elle se produit naturellement en surface sur les parois de fossés, sur les flancs de monticules artificiels (déblai de fossé, buttes de chablis...). Les facteurs favorables sont : l'occurrence d'années sèches, le couvert végétal dense, l'incorporation (naturelle ou artificielle) de matière organique.

Des interventions artificielles semblent pratiquement indispensables pour la démarmorisation en grand du sous-sol, car les racines et les êtres vivants ne peuvent explorer ce sous-sol tant qu'il reste compactifié. Elle est plus longue et beaucoup plus difficile à réaliser. Il faut, aussi, l'addition de matière organique.

L'amélioration d'un sous-sol marmorisé sous l'effet de l'exposition à l'air se fait progressivement, mais par couches peu épaisses : il y a oxydation directe, modification de la microflore, installation de racines. Sans pouvoir l'affirmer, nous avons l'impression que c'est ce qui s'est passé pour le monticule situé près de la Maison forestière du Grand-Contour, sur le bord de la route de Dole à La Vieille-Loye. *La forme incurvée de la limite du marmorisé est parallèle à la surface externe du monticule (fig. 20).*

L'approfondissement du brunissement a été de 30 cm en 100 ans. Mais le phénomène est certainement plus rapide pour les premières couches et sa vitesse va en diminuant, il tend vers une limite naturelle, fonction du climat (et des enracinements des végétaux).

Rappelons que le danger de *remarmorisation* d'un sol démarmorisé est assez grand ; il suffit qu'il y ait :

- 1° occurrence d'années très pluvieuses,
- 2° défaut de drainage (situation en plateau, obstruction des fossés d'assainissement),
- 3° découvert persistant,
- 4° enlèvement artificiel de la couverture morte (ou sa combustion par découvert),

5° acidification (action de la bruyère),

6° action des tanins,

7° tassement par le piétinement ou roulage.

Ainsi peut être freinée ou perpétuellement empêchée la démar-  
moration.

Après que le sol a été tassé par compression mécanique ou même  
sans tassement mécanique, par simple ennoyage, la structure s'ef-  
fondre.

En quelques mois ou un petit nombre d'années, la remarmorisa-  
tion peut se faire; ce n'est pas étonnant, c'est une loi de la nature  
qu'il est plus aisé de détruire que de construire.

En tout cas, *en constatant ainsi la réalité et la possibilité d'une  
déarmorisation, nous apportons un motif d'espoir dans la restau-  
ration des sols de la forêt.*

## 5. ETUDE PAR NATURE DE SOL :

Il est certain que la méthode employée doit être différente sui-  
vant qu'il s'agit de sol de vides ou de sol ordinaire sous forêt claire  
(taillis-sous-futaie).

5.1. SOL DE VIDE: il est facile de circuler, donc d'y faire des  
labours moyens ou profonds, ainsi que d'ouvrir des fossés à l'écar-  
tement désiré. La couche noire peut être traitée, par exemple, par  
des amendements calciques (chaux).

5.2. SOL ORDINAIRE DE FORÊT (sol forestier à marbrures): la  
structure est, dans l'ensemble, moins dégradée. On est limité dans  
les interventions artificielles, mais on peut, par contre, profiter de  
la végétation existante qui est un bon point d'appui pour les opéra-  
tions de restauration; par exemple on peut planter près des souches;  
le demi-couvert et la litière, ainsi que l'absence ou la raréfaction  
de la molinie sont des facteurs favorables. On peut récupérer la  
couche supérieure humifère pour remplir les trous de plantations;  
on peut aussi profiter du demi-couvert pour introduire des essences  
d'ombre dont on sait qu'elles ont, en général, une plus grande valeur  
restauratrice puisqu'elles ont habituellement elles-mêmes un couvert  
plus dense, agissant après quelques années ou quelques dizaines  
d'années; elles sont préférables aux essences de lumière.

## 6. PRINCIPES GÉNÉRAUX

### QUI RESULTENT DES ANALYSES PRÉCÉDENTES :

Il s'agit de résoudre un double problème physique et chimique  
(minéral et organique). Notons que le problème est différent de  
celui de l'amélioration des sols podzoliques; il n'y a pas le pro-



blème de l'écroûtage du « mor » ; il n'y a pas non plus forcément celui du brassage des horizons (exigeant la destruction du peuplement forestier pour l'emploi de grosses machines). Certains principes se sont dégagés au cours de nos essais :

6.1. Certaines des améliorations proposées par divers auteurs sont inopérantes. Le problème des sols marmorisés n'a pas encore été étudié par les chercheurs ; par exemple la question des amendements calciques reste entière.

6.2. Une amélioration unique est généralement inopérante : *il faut agir simultanément sur plusieurs facteurs*. Par exemple, inutile de mettre des engrais si l'on n'évacue pas l'eau en excès.

6.3. *La nature reste l'agent le plus puissant de restauration et également le plus économique.*

6.4. Ceci implique qu'on ne peut se passer du facteur « temps » ; *aucune amélioration n'est instantanée, ni très rapide* ; il ne faut pas oublier que nous sommes dans le domaine de la biologie.

6.5. Le développement des racines, de la petite faune et de la microflore bactériennes (qui seraient capables d'agir efficacement pour la démarmorisation) est en réalité gêné par les *conditions régnantes* qui, justement, engendrent cette marmorisation. Il peut sembler donc qu'il y ait là un cercle vicieux. En réalité, on peut y échapper en modifiant quelque peu les conditions d'aération et autres. Il y a déclenchement réciproque de progrès successifs. On peut aussi, secondairement, favoriser le pullulement de la petite faune et de la microflore par des inoculations, en supposant qu'il y a toujours un certain retard dans leur extension consécutive au progrès des propriétés physiques. Les inoculations peuvent permettre l'exploitation rapide de ces progrès physiques.

6.6. *Des méthodes semi-artificielles capables d'amorcer les processus favorables peuvent être employées.* Souvent, l'amélioration se fait en deux temps : un stade d'action principalement physique précédant un stade biologique (lui-même générateur de bienfaits physiques et chimiques). Des méthodes semi-artificielles permettent aussi de combler des lacunes de la reforestation naturelle et d'établir des peuplements de raccord.

6.7. *L'amélioration des sols ne peut être conçue indépendamment de celle des peuplements.* L'embroussaillage précède la vraie reforestation. La restauration des sols (par approfondissement) est liée à celle des peuplements. *L'évolution naturelle de la végétation est toujours progressive* (Gaussen). La nature répare elle-même les plaies que l'homme a causées, chaque fois que celui-ci ne vient pas, par d'intempestives interventions, contrarier les cicatrisations.

## 7. PREUVES DE LA POSSIBILITE DE RESTAURER LES SOLS A MARBRURES :

1° *La forêt s'est réinstallée sur d'anciens étangs desséchés à sol très marmorisé, par exemple: le Petit Etang de Chaux, le Grand Etang de Chaux et l'étang Tharin; les chênes y ont un développement normal.*

2° *Il y a un progrès net de la végétation forestière dans les zones assainies par fossé il y a environ 100 ans, alors même que ces fossés n'ont pas été, depuis 50 ans, bien entretenus; ceci est visible, en particulier, dans la région de la Châtelaine (anciennes VIII<sup>e</sup> et IX<sup>e</sup> séries). Il est difficile d'apporter des preuves chiffrées puisque le progrès concerne non seulement la densité, mais l'élongation et la vigueur du peuplement; en tout cas l'impression est nette.*

3° *On peut voir de très beaux peuplements de chêne rouvre aux Baraques Jupille, de chêne rouge à la 1<sup>re</sup> colonne et à la Royale: le sol avoisinant est médiocre; le sous-sol des placettes très marmorisé; il s'agit d'anciennes concessions; la seule culture suivie de l'état serré a suffi pour bonifier le sol.*

4° *On observe couramment et régulièrement une démarmorisation et un brunissement des sols de buttes: buttes subsistant après le renversement d'un chablis, déblais de fossés, etc...*

5° *Nous avons obtenu de bons résultats par des cultures en pots de lupin, de lin, de chênes rouges d'Amérique, sur des échantillons de sous-sol fortement marmorisé, mais émietté, donc aéré. La croissance s'est avérée, après émiettement du matériau, sinon excellente, au moins moyenne ou bonne. Ce ne serait pas le cas s'il s'agissait d'un matériau définitivement appauvri, épuisé ou stérilisé.*

6° *Plusieurs comparaisons peuvent être faites par couple de fractions marmorisée et non marmorisée: les analyses donnent toujours des différences relativement faibles ou nulles.*

En résumé, les diverses imprudences dans le traitement forestier, certaines consécutives aux pressions économiques des époques passées ont provoqué le délabrement des peuplements et des sols en forêt de Chaux.

*Le résultat en a été l'accentuation de faibles différences initiales et l'accentuation de l'infertilité.*

*Il apparaît désormais possible de rendre meuble et fertile les couches médianes tassées par hydromorphie (soit 10 à 20 cm). On peut même espérer regagner 5 à 10 cm sur le sous-sol consolidé au périglaciaire.*

*On peut également améliorer l'humus défectueux des couches supérieures dans les zones où la molinie a puissamment porté sa marque.*

Tout ceci est possible, soit par des méthodes naturelles relevant d'une sylviculture appropriée et quasi gratuite, ou par des méthodes



semi-artificielles dont le but principal est de déclancher ou favoriser les processus naturels favorables.

Nous estimons que les restaurations sont possibles et rentables, grâce aux mesures prévues par l'aménagement de 1957, renforcé par quelques autres.

S'il en est bien ainsi, la Pédologie aura bien servi la Foresterie.

---

Texture,	Apport d'éléments grossiers (théorique)	
	Amélioration directe de la structure	Amendement minéraux
		Conditionneurs
		Matières organiques apportées
Structure,	Structuration par la végétation	Ecran naturel du feuillage
Aération,		Litière
Evacuation d'eau et ralentissement de l'évaporation		Racines et souches
		Engrais verts (repeuplements)
	Par couverture artificielle (cas particulier)	
	Ameublissement artificiel	superficiel
		profond (sous-solage)
	Assainissement	Fossés
		Rigoles
		Remodelage de la surface
		Billons Grands ados
Amélioration chimique	minérale	Engrais
		Oligo-éléments
	organique	Apport de fumier
		Plantation ou semis serrés
		Mélange systématique d'essences diverses
	Introduction d'essences améliorantes	
Amélioration biologique (faune et micropopulation)	Mesures pour conditions écologiques favorables	
	Inoculations.	
Destruction de la molinie par moyens divers.		

---

*Bibliographie:* DARWIN 1882, FREI, HENRY 1908, JEANSO-NLUSINANG (d.d.), LAATCH (d.d.), MICHON 1954, PERIGAUD 1961, WITICH (d.d.).

## DEMARMORISATION

### A) COUCHE MOYENNE (MARMORISATION TACHETEE):

Moyen	Effet primaire	Effet secondaire
Suppression de la nappe perchée	Aération Oxydation	Brunification des parties grises (referrisation)
Envahissement de la végétation naturelle ou plantation	Multiplication des racines	Erection de la structure
Fractionnement mécanique	-- d° --	Augmentation du taux d'humus

### B) COUCHE PROFONDE (MARMORISATION RETICULEE):

Les processus sont analogues, mais pratiquement il faut surtout compter sur la descente lente des racines d'une végétation conservée avec prudence et longuement.

D'autre part, une action de l'eau dans la masse (lorsqu'elle est rendue possible: émiettement...) semble pouvoir jouer un rôle utile en dissolvant les enrobements d'hydroxydes.

#### *Principales améliorations des sols à sous-sols marmorisés*

	Sol forestier à marbrures	Sol de vide à molinie
Couche supérieure	Néant	Substitution d'un humus doux à l'humus tourbiforme noir
Couche moyenne	Elimination de l'eau dans les périodes où elle est excédentaire. Changement de faune et flore; développement plus fort de racines (D'où restructuration et forte aération).	Comme ci-contre, mais plus lent et difficile
Couche inférieure	Division du sol-sol cimenté (cause et effet de la descente de nouvelles racines). Enrichissement en matière organique (Par voie de conséquence, création d'une structure faiblement aérée).	Comme ci-contre, mais plus lent et difficile.



## CHAPITRE XVIII

---

### TECHNIQUE DE L'AMELIORATION PAR LES MOYENS NATURELS (Pratique)

---

Nous avons vu que *l'augmentation du couvert et son amélioration qualitative étaient le principal agent, aussi bien de la restauration des sols que de celle des peuplements; c'est à la fois la plus efficace et la plus économique, c'est donc la plus importante. C'est elle qui a motivé la création d'une « sous-section de restauration différée », mais des mesures du même ordre s'imposent dans les autres sections ou sous-sections.*

#### 1. MESURES A PRENDRE :

1.1. SUPPRESSION DES ENLÈVEMENTS DE LITIÈRE : c'est chose déjà faite.

1.2. SUPPRESSION DE L'INCINÉRATION DES RÉMANENTS : elle a été ordonnée dans le cas général et doit être maintenue de façon à ce qu'il y ait décomposition biologique des matériaux ligneux non exportés.

1.3. SUPPRESSION DU SURPATURAGE ET MÊME DU PATURAGE : l'évolution économique a joué dans un sens favorable puisque les troupeaux ne vont pratiquement plus en forêt.

1.4. SUPPRESSION DES INCENDIES : un ensemble de mesures ont été prises pour la prévention des incendies (précautions supplémentaires prévues par arrêté préfectoral : nettoyage des bords de routes et entretien de pare-feu...) et pour la lutte contre les incendies permettant d'en empêcher l'extension (empierrement de routes, installation de téléphones, établissement de permanences, matériel de lutte...). On a constaté une forte diminution de la surface brûlée et on peut espérer des progrès dans le même sens.

1.5. MAINTIEN DU TAILLIS SUR PIED au-delà de l'âge habituel d'exploitation qui était de 30 ans. Cette mesure a été prise d'abord dans le cas du taillis-sous-futaie, sous forme d'îlots qui étaient cerclés à la peinture. Après 20 ans, on voit déjà des améliorations notables; il y a refermeture des vides, soit par encerclement, soit par extension des bouquets d'arbres qui, parfois, se trouvent disséminés dans les vides. *La conversion en futaie est la première et la plus essentielle de toutes les améliorations.*

1.6. SUPPRESSION DE L'EXPORTATION DES PETITS BOIS: elle est déjà partiellement réalisée par le maintien du taillis sur pied; il convient, également, de laisser sur place les débris du houppier, de préférence après façonnement et éparpillement.

1.7. ALLONGEMENT DE LA RÉVOLUTION: il est utile, sur les plus mauvais sols, que les arbres restent jusqu'à leur mort naturelle!

1.8. PROTECTION DES OISEAUX: elle est obtenue par la conservation de quelques arbres morts dans chaque parcelle et par des mesures diverses (nichoirs, nourrissage, abreuvement); elle est conforme à une meilleure activité biologique.

Toutes ces mesures sont applicables dans le cas général.

## 2. MESURES PRISES DANS LE CAS DE LA FORET DE CHAUX:

Le nouvel aménagement approuvé par Arrêté Ministériel du 17 mai 1957 prévoit *une section de conversion* composée des parcelles les plus riches, *une sous-section de restauration immédiate* dans laquelle le vieillissement des taillis sur pied est conjugué avec des plantations de complément, et *une sous-section de restauration différée*, où est pratiquée une mise en réserve systématique pendant au moins 30 ans, et peut-être 100. Cet aménagement prévoit:

1° le maintien du couvert maximum par la futaie régulière dans la section de conversion, par la futaie jardinée par bouquets dans la section de restauration.

2° les mélanges systématiques d'essences, en particulier installation de sous-étages.

3° une large extension du hêtre.

4° des interventions artificielles en temps voulu, avant que le dé-couvert ait eu une influence néfaste, si la régénération tarde au-delà de 5 ans. Par exemple cet aménagement prévoit des dégagements de semis, les éclaircies des vieux taillis, des débroussailllements, l'élimination de la molinie dans la mesure du possible. On pourra compléter par des mesures telles que:



a) création de micro-abris (tas de ramilles) (qui constituent, il est vrai, un danger d'incendie, mais ils sont des foyers d'animaux utiles au sol). Des couvercles en métal ou matière plastique disséminés tous les 50 mètres peuvent jouer le même rôle.

b) dissémination des débris de rémanents préalablement broyés mécaniquement.

### 3. EFFETS A ESCOMPTER :

#### 3.1. EFFETS PÉDOLOGIQUES :

3.1.1. *Diminution ou suppression de la nappe perchée aquifère intermittente* par moindre alimentation ou par évapo-transpiration.

#### 3.1.2. *Amélioration de la structure :*

a) de la couche moyenne parcourue par les racines,

b) de la partie supérieure de la couche profonde dont l'induration cessera.

3.1.3. *Amélioration chimique* (minérale et organique) : on peut essayer d'évaluer grossièrement les quantités d'engrais équivalentes au bois du taillis maintenu sur pied, par exemple 100 stères à l'hectare après 30 ans. Ce bois équivaut à :

900 kg de nitrate de chaux à 0 F 31 .....	279 F
2 200 kg de scories (à 17 %) à 0 F 10 .....	220 F
170 kg de chlorure de potassium (à 60 %) à 0 F 27 ..	65 F 90
	<hr/>
	564 F 90

soit une économie d'environ 560 F, ou 18 F par an.

Certes, ultérieurement, il y aura exportation sous forme de bois de la futaie future, mais *cette restriction temporaire d'exportation provoque un utile enrichissement relatif du capital pédologique.*

L'humus sera amélioré en quantité et en qualité aux divers niveaux.

#### 3.2. EFFETS SYLVICOLES :

3.2.1. *Meilleure qualité technologique du bois :* élongation meilleure, proportion d'arbres roulés diminuée par suite de la meilleure qualité chimique du sol et de l'atténuation des sautes de vent ; proportion d'arbres gélivés diminués par suite des meilleures propriétés chimiques du sol et de l'atténuation des variations brusques de températures aux environs de 0°.

3.2.2. *Progression naturelle du hêtre* (parce que c'est une essence d'ombre): on aura ainsi des peuplements plus stables et de plus forte production.

3.2.3. *Elimination de la molinie*: elle souffre conjointement de la diminution de l'éclairement, de l'amélioration chimique du sol et de la suppression de la nappe perchée.

3.2.4. *Meilleures réussites de régénération naturelle* par suite de l'amélioration des propriétés physico-chimiques du sol et de la disparition de la dangereuse concurrente que constitue la molinie.

#### 4. PROSPECTIVE VEGETALE (*pénéclimax*):

Si l'on décidait, actuellement, de cesser toute intervention en forêt de Chaux, c'est-à-dire toute exploitation, et toute amélioration artificielle, l'évolution serait, à notre avis, la suivante:

*Après 100 ans*: les chênaies les moins claires seraient très chargées en matériel; il n'y aurait guère de chênes morts par l'âge, donc peu de régénération; les chênaies très claires montreraient des arbres très étalés, et de ci, de là, dans des trouées du taillis (en particulier dans les coudraies) des taches de semis; les hêtraies actuelles seraient en bel état, les zones de taillis-sous-futaie où le hêtre actuellement est déjà présent seraient entièrement envahies par le hêtre; les taillis riches en charme et pauvres en réserves seraient devenus des charmaies; les vides seraient tous embroussaillés et déjà refermés sur leurs bords. Quelques parties plus claires seules montreraient encore des bouleaux et des aunes. La moliniaie ouverte n'occuperait plus que quelques centaines d'hectares. La molinie sous les futaies serait en nette régression.

*Après 300 ans*: des hétaombes de chênes morts renversés par les vents se seraient produites, les trouées ainsi ouvertes envahies par des semis de chêne ou de hêtre (à proximité des hêtraies); des hêtraies couvriraient ainsi la majeure partie de la surface totale; les vides à molinie seraient refermés et seraient surtout envahis par des chênes d'allure quelconque ou médiocre.

En chaque point, le sol serait à un stade de qualité nettement supérieure à celui de 1965.

En fait, l'intervention des exotiques accélérera la fermeture du couvert.

L'abandon du régime du taillis-sous-futaie, l'abandon de la primauté du chêne, l'extension du hêtre à partir des îlots où il a subsisté, l'enrichissement des peuplements clairs ou sans hêtre, par des résineux, et le repeuplement des vides, permettront une restauration conjointe des sols et des peuplements qui sera étudiée au chapitre XIX.



## CHAPITRE XIX

---

### AMELIORATION PAR LES MOYENS SEMI-ARTIFICIELS

---

Certaines interventions qu'on peut considérer comme artificielles agissent soit par elles-mêmes, soit surtout parce qu'elles déclanchent des processus naturels favorables. Il est difficile de faire la part de ce qui est artificiel et de ce qui ne l'est pas.

#### 1. ASSAINISSEMENT:

1.1. FOSSES SIMPLES: on pourra ouvrir, sur tous les plateaux où la végétation donne des signes de souffrance, des fossés de 70 cm de profondeur et de largeur quelconque, tous les 10 mètres; ils devront être parallèles et dirigés suivant la ligne de plus grande pente (qui est d'ailleurs toujours très faible).

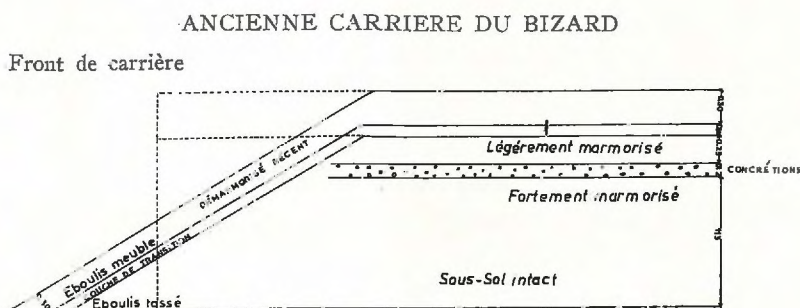
Ces fossés peuvent être ouverts à la main, ou à la pelle mécanique, ou à la trancheuse. Nous avons préconisé et réalisé des fossés à l'excavatrice dont la profondeur allait en croissant de 50 cm à 2 m, ce qui permettait un bon écoulement sur des surfaces sub-horizontales.

On peut prévoir le bouchage des fossés avec des fagots (produits de recépage, élagage et dégagements).

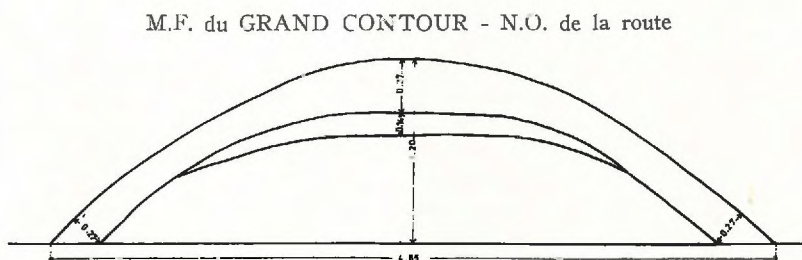
1.2.1. RIGOLLES: une variante de l'assainissement par fossé est celui de l'assainissement par rigoles de 30 cm de profondeur; c'est une pratique fort recommandable, en particulier en bordure des taches de semis. Les *rigoles* avec évacuation d'eau dans des fossés sont peu coûteuses et très utiles.

1.2.2. *Tranchage*: signalons aussi le bon effet du tranchage (« trenching »); (il a été constaté dans la Réserve de Crissey): il s'agit de rigoles sans écoulement; semis: hauteur 120 cm au lieu

de 153, diamètre 1,35 cm au lieu de 0,65 cm pour des chênes rouges d'Amérique. En ouvrant une rigole autour d'une tache de semis, on obtient une supériorité nette des semis situés à l'intérieur de la placette; on ne peut parler d'évacuation d'eau puisque le fossé n'a pas de sortie. *Le tranchage écarte assurément la concurrence des*



Etat en 1965 de l'ancien front de la carrière de terre à tuile au Bizard, carrière abandonnée depuis 80 ans.



La masse de déblai marmorisé s'est démararmorisée sur 27 à 37 cm, donc à une distance presque constante de la surface. L'intérieur reste marmorisé. Entre les deux faciès, existe, à l'aplomb de la partie supérieure du bombement, une couche intermédiaire d'environ 14 cm.

*racines des arbres voisins; mais aussi, et surtout, nous pensons qu'il a comme effet une ventilation du sol, donc une aération favorable et une restructuration progressive à partir des faces exposées à l'air.*

1.3. PUISARDS: des puisards avec réseau collecteur en étoile ont été ouverts en I/14, II/23, V/15, VII/13, XI/13, XIV/13: leur but était d'évacuer en profondeur dans les cailloutis l'eau excédent-



taire des plateaux. On pensait qu'ainsi on pourrait faire des économies sur la longueur des émissaires, et résoudre des problèmes d'écoulement.

En fait, nous n'avons pu mettre au point des systèmes de galeries filtrantes bétonnées en profondeur, trop onéreuses, et la plupart de ces puisards se sont plus ou moins colmatés. Celui de V 15 avec buses perforées fonctionne encore. Cette méthode ne peut être généralisée.

1.4. DRAINAGE A LA CHARRUE-TAUPE: étant donné les proportions de limon et d'argile, il ne semble guère possible de réaliser de tels réseaux d'assainissement souterrains durables; les racines gêneraient d'ailleurs le passage des machines.

1.5. LES EXPLOSIFS AGRICOLES émettent le sous-sol ou l'ébranlent utilement, mais un tassement se produit ensuite après les pluies. Le prix de revient est relativement élevé.

## 2. CULTURE DU SOL:

2.1. CULTURE DU SOL SUPERFICIEL: elle peut être utilement réalisée, surtout dans les vides, par labours à la charrue, ou par fraises par rotavator.

2.2. SOUS-SOLAGE: des essais de sous-soleuse portée Fondeur ont été faits (ainsi en 1960 dans les parcelles 88, 89, 1344 et dans les parcelles 72, 73, au total 20 km); mais la présence des racines rend l'exécution difficile et, d'autre part, le sous-sol se recomacte vite.

## 3. REMODELAGE DE LA SURFACE:

Il a, en somme, un double effet d'assainissement et de culture.

3.1. BUTTES: nous avons constaté qu'une butte (ancien chablis) exposée à l'air depuis 30 ans voyait sa porosité augmenter de 22 % par suite des alternatives de dessiccation — humectation et par des actions biotiques. Néanmoins, nous n'avons pas constaté de résultats très intéressants depuis 15 ans; en ce qui concerne les plantations sur buttes; peut-être les plants souffrent-ils de la sécheresse?

3.2. BILLONS: nous avons réalisé, sur une grande surface, des billons de la façon suivante: passage de rotavator, suivi de 2 passages de charrue ramenant la terre au milieu: la surélévation initiale de 60 cm ne dure malheureusement pas très longtemps, car il y a un affaissement sous l'effet des pluies. On sème ou on plante sur le sommet du billon; le résultat est assez satisfaisant.

3.3. GRANDS A-DOS: le remodelage par grande masse de la surface permet de créer un léger relief artificiel. Il est possible, désormais, avec les gros engins mécaniques (bulldozer). Ceci n'est appli-

cable que dans les parties vides d'arbres ; on peut réaliser des à-dos de 20 m de large, ou encore râcler la terre humifère et constituer des gros bourrelets. On obtient ainsi un double résultat, celui d'assainir, et celui d'augmenter l'épaisseur de terre fertile au droit des plants. Il faut serrer davantage les plants sur les lignes.

#### 4. COUVERTURE ARTIFICIELLE DE LA SURFACE :

Elle est possible en pépinière. On peut envisager aussi des carrés de métal ou de matière plastique percés d'une fente, de 50 X 50 cm, placés au pied des plants : ces plaques seraient rigides, ou souples et retenues par 4 piquets. Elles empêchent l'herbe de pousser, maintiennent la fraîcheur, protègent la structure, favorisent l'activité biologique. Le seul inconvénient est le prix de revient.

#### 5. AMENDEMENTS - ENGRAIS :

5.1. AMENDEMENTS MINÉRAUX : nous avons obtenu des effets discordants ; tantôt spectaculaires, sur douglas et chênes rouges en particulier ; tantôt nuls ; tantôt dépressifs. Ces essais ont porté sur de la chaux, de la poudre calcaire venue du Premier Plateau du Jura et sur du plâtre. Voici les résultats obtenus sur 4 placettes de semis de chêne rouvre près de la Maison forestière du Grand-Contour :

N°	Hauteur	N°	Hauteur
1. témoin .....	0,60 m	3. chaux (100 kg) .....	0,20 m
2. plâtre (15 kg) .....	0,80 m	4. calcaire (100 kg) ....	0,40 m

	pH		Ca		C %/oo	N %/oo	C/N
	Surf.	30 cm	Surf.	30 cm	surf.	surf.	surf.
1 témoin	4.9	4.9	2.3	0.6	20.9	1.5	15.9
2 plâtre	4.5	4.6	3.4	1.0			
3 chaux	7.5	5.6	21.5	5.4	24.6	1.65	14.9
4 calcaire	7.4	6.0	23.3	3.9			

Nos essais sur des plants en forêt n'ont pas eu d'effet général, ni marqué. Peut-être y aura-t-il arrière-action ?

Peut-être l'effet sera-t-il utile dans les vides à molinie pour aider à la résorption de l'humus noir, et sous les vieux peuplements de pin sylvestre.



## 5.2. CONDITIONNEURS :

a) *Krilium*: les essais de RICHARD sur lehm sont encourageants (pourcentage d'agrégats doublé). Nos propres essais, en pots, n'ont pas donné des résultats très satisfaisants. Le sol a été fortement durci. Ce conditionneur et la plupart des autres sont d'ailleurs beaucoup trop coûteux en forêt.

b) *Blanose*: (carbonyl-méthyl-cellulose de sodium, colloïde hydrophile, malheureusement de peu de durée): 3 pots ont été traités; il a rendu le sol imperméable, l'eau y a séjourné davantage sur les pots traités; après 3 mois, le sol s'est affaissé; le résultat a donc été négatif. De plus, les glands et plants de chêne rouge ont souffert par action directe ou indirecte, et sont morts dans le pot traité avec forte dose.

## 5.3. AMENDEMENTS ORGANIQUES :

a) *Tourbe*: nous avons essayé celle de la Sarthe et celle du Haut-Doubs, soit en incorporant au sol au moment de la plantation de la tourbe émiettée, soit en plaçant une brique de tourbe au pied du plant, contre les racines. Les résultats ont été nuls ou négatifs. Il est possible que la tourbe absorbe l'eau du sol au détriment des racines du jeune arbre, ce qui compenserait les avantages de l'augmentation de porosité.

b) *Fumier*: Mine MÉRIAUX a étudié l'effet sur limon à pseudo-gley d'Arc-sur-Tille. Nous avons fait des essais à grande échelle avec 1 kg de fumier par plant et nous espérons de bons résultats.

Il faudra envisager l'emploi de fumier artificiel (arrosage au sulfate d'ammoniaque).

c) *Graissage*: nous avons fait des essais d'épandage d'huile dans l'espoir de diminuer la mouillabilité, mais les résultats n'ont pas été probants.

d) *Humauby* (tourbe activée): d'excellents résultats ont été obtenus en pots et en pépinière, ainsi que sur chênes rouges. La *poudrette* a eu également un bon effet, par contre l'Humigine, le Regenor, le Cofuna n'ont eu aucun effet. Les gadoues mériteraient d'être essayées.

## 5.4. ENGRAIS VERT :

a) dans un vide ou sur une bande traitée au rotavator, on peut utilement faire une culture de légumineuse et l'enfouir.

b) nous avons semé des graines de lupin en bordure immédiate des semis directs de chêne rouge ou à proximité des jeunes plants; l'effet est probablement favorable, mais souvent l'ombrage gêne le développement de ces lupins. Les variétés pérennes seraient préférables.

5.5. ENGRAIS MINÉRAUX: les résultats obtenus sont fort irréguliers.

5.5.1. *Azote*: le purin de porcs, dilué, n'a pas donné de bons résultats; le nitrate de chaux a donné des résultats excellents, en particulier en pépinière.

5.5.2. *Phosphore*: les scories Thomas et l'hyperphosphate semblent utiles, mais nous avons eu peu de résultats très nets, probablement par suite de la compacité qui joue le rôle de facteur limitant.

5.5.3. *Potassium*: les effets nocifs ont été obtenus par du chlorure; il faudrait, probablement, des fumures faibles et répétées pour alimenter les minéraux argileux; il faudrait des sels autres que les chlorures; mais la dispersion des points d'épandage est un inconvénient sérieux pour la généralisation des engrais.

5.6. ROCHES VOLCANIQUES BROYÉES: en Tchécoslovaquie, on a obtenu des améliorations de 10 à 30 %; les farines de basalte méritent d'être essayées en forêt de Chaux en raison de la pauvreté minéralogique des sols (1 kg par plant).

5.7. ACTIVATEURS BIOLOGIQUES: il semble que de tels produits (par exemple à base d'algues marines) aient leur rôle à jouer, soit pour activer les composts, soit au pied des plants.

5.8. INOCULATION DE TERRE A TRÈS BONNE ACTIVITÉ BIOLOGIQUE: elle est très souhaitable à proximité des plants mis en place artificiellement, car les sols de la forêt de Chaux semblent souffrir souvent de carence d'oligo-éléments ou d'insuffisance biologique.

5.9. LES ENSEMENCEMENTS FAUNIQUES (lombrics...) à partir de stations d'élevage et les ensemencements microbiologiques à partir de cultures systématiques *in vitro* pourraient constituer une méthode tentante d'amélioration des sols. BARRET a obtenu, en agriculture, des résultats intéressants.

En réalité, ces espèces favorables ne peuvent se développer que lorsque les conditions écologiques nécessaires sont réalisées, et il est probable que souvent la propagation naturelle se fait dès que ces conditions sont établies. C'est donc de ce côté que doit se porter l'effort: et nous sommes ramenés au difficile problème de l'aération et de la structure. Il ne faut pas, néanmoins, les rejeter en bloc, car il est possible qu'on parvienne, par des ensemencements artificiels, à accélérer l'installation de ces espèces utiles.



## 6. REPEUPEMENTS ARTIFICIELS :

### 6.1. PRINCIPES GÉNÉRAUX :

a) *il faut planter suffisamment serré* (1 m à 1,50 m) pour que rapidement le couvert se ferme et pour que les enracinements occupent après peu de temps le volume total du sol :

1° Couvert du sol meilleur, et obtenu plus rapidement.

2° Dépouille plus forte (au moins jusqu'à ce que les plants se gênent nettement), donc restauration du sol par accroissement de matières organiques.

3° Gêne pour la végétation concurrentielle.

4° Soudure réciproque des racines, d'où aide réciproque des sujets.

5° Entraide du peuplement par l'extension de la microflore.

6° Meilleur élagage naturel.

Le seul inconvénient est le coût plus élevé.

Ceux, invoqués fréquemment, de concurrence pour l'eau et les substances fertilisantes, au moins avec des essences assez frugales, ne surviennent que plus tard et ne doivent pas être surestimés.

b) *il convient de mélanger des essences différentes*, en particulier des feuillus et des résineux :

1° le danger d'incendie est diminué par la présence des feuillus.

2° la nourriture de la pédofaune est plus variée ; cette pédofaune devient plus abondante et plus variée : ce facteur, trop méconnu, est décisif. Les essences dont les feuilles ont une rapide décomposition sont les plus favorables.

3° à l'inverse, *il est bon* dans le cas des sols exposés à la dégradation par l'eau qu'aux essences à décomposition rapide soient jointes quelques essences dont les feuilles se décomposent plus lentement (hêtre, chêne rouge) pour assurer le double fonction-écran (interception de la descente et de l'évaporation).

4° les enracinements à tendances évolutives différentes peuvent mieux trouver leurs places respectives et ainsi mieux occuper le volume de sol. Certaines essences peuvent (profitant pour leur propre existence de la présence des autres) s'insérer plus profondément et contribuer ainsi au si désirable approfondissement de la couche meuble. Il en est de même d'ailleurs pour les houppiers qui se juxtaposent et s'imbriquent ; ils offrent ainsi aux rayons solaires une surface captatrice plus grande.

5° diminution des risques de maladies et insectes, ralentissement de leur propagation si les sujets d'une même espèce qui sont atteints ne touchent pas les autres.

c) dans les cas les plus difficiles, il faudra prévoir un peuplement transitoire (aune), ou encore un *mélange à plusieurs essences* (aune, pin Weymouth, chêne rouge et hêtre), chacune disparaissant successivement au profit de celle qui reste.

Il faudra évidemment traiter de façon différente :

- 1° les reboisements de vides,
- 2° les enrichissements par des feuillus (hêtre) de zones insuffisamment boisées,
- 3° les substitutions d'essences (enrésinement de taillis).

6.2. PLANTATIONS : il vaudra mieux planter au printemps ; on utilisera la motoplanteuse maniée par 2 hommes ou portée par un tracteur ; avec elle on peut évacuer si on le désire, les parties trop compactes et marmorisées et les remplacer par de la « bonne terre » de surface. L'opération est évidemment coûteuse. Avec l'outil « en cœur » on peut faire un bon brassage du fumier et du sol.

6.3. SEMIS DIRECTS : nous en avons fait sur plus de 70 ha avec des glands de chêne rouge d'Amérique d'une bonne race des Dombes. Ils sont particulièrement bien réussis dans les parcelles 53, 184, 1338, 1339, 1354. Les bandes sont cultivées au rotavator : un passage au printemps, un à l'automne, un peu plus profond, le troisième au printemps suivant, un peu plus profond encore. On sème un gland tous les 10 cm. Il faut prévoir 250 kg à l'hectare. Les menaces des sangliers obligent à prévoir des clôtures électriques.

Si l'on tient compte des travaux préparatoires (débroussailllements), on constate que ces travaux doivent être échelonnés sur plusieurs années ; 5 ans par exemple. Les dégagements devant être poursuivis pendant 10 ans au-delà.

6.4. EVOLUTION DU PAYSAGE FORESTIER : un peu partout on verra les chênaies se réduire à quelques îlots ; elles laisseront la place à des chênaies de chêne rouge d'Amérique avec douglas ; les hêtraies s'étendront truffées de résineux plus ou moins nombreux ; ailleurs, les charmaies deviendront des sapinières ; les vides laisseront la place à des pineraies de Weymouth, aunes et bouleaux qui, elles-mêmes passeront à la hêtraie.

6.5. BILAN FINANCIER : une évaluation sommaire nous a donné par hectare pour 60 ans :

Travaux préparatoires .....	1 000 F
Semis et plantations .....	1 430 F
Entretien .....	700 F
Frais de garderie .....	1 000 F
TOTAL .....	4 130 F



Valeur escomptée des produits (600 m<sup>3</sup>) 6 550 F. Déduction faite des intérêts, il reste une marge d'environ 620 F: le repeuplement est rentable.

SOLS ET PEUPELEMENTS FORESTIERS

Sol	Peuplement actuel	Peuplement futur	
		Naturel	Artificiel
Sol caillouteux	Mauvaise rouvraie		Pineraie de pin sylvestre (par endroits avec hêtre)
Sol brun des pentes	Assez bon taillis-sous-futaie	Hêtraie avec ilots de chênes	Douglasaie - sapinière à hêtre et chêne rouge
Sol de plateau à marbrures profondes	Assez bon taillis-sous-futaie	Hêtraie avec ilots de chênes	Douglasaie - sapinière à hêtre et chêne rouge
Sol de plateau à marbrures peu profondes	Peuplement clairié		Pineraie avec feuillus
	Vide		Pineraie avec feuillus
Sol de vallon	Chênaie de pédonculé à carex	Chênaie	Pineraie de pin Weymouth

*Bibliographie:* FAIL, GÖHRE-WAGENKNECHT 1955, O.E.C.E. 1952, RICHARD (d.d.), TROLL 1954.

## CONCLUSION

---

### 1° *Histoire géomorphologique et pédologique:*

On peut résumer ainsi l'histoire du massif. Au Villafranchien, dépôt de cailloutis en forme de glacis. Leur surface fut ferretisée au Mindel.

Submersion partielle par plusieurs lacs bressans successifs.

Dépôts de limons lacustres ou alluviaux, ou diluviaux (ruissellements en nappe).

Dissection du glacis aux époques interglaciaires.

Dépôt de poussières sur les parties émergées.

Altération par le froid aux diverses époques rissiennes: simple durcissement et compaction; par endroits, polygonation et marmorisation réticulée.

Au tardiglaciaire, l'érosion a fait affleurer les sols caillouteux du substratum profond et des limons alluviaux; des solifluxions se sont produites, qui ont amené des paquets de limon marmorisé dans les graviers.

Peut-être y eut-il brouillage du dessin polygonal et troncature du sol périglaciaire. En tout cas (et peut-être à plusieurs reprises) se produisit un lessivage des argiles et des hydroxydes, ainsi que la vermiculitisation et l'émiettement de certains minéraux argileux.

Peut-être y eut-il des démararmorisations superficielles.

Probablement, y eut-il emmarécagement des faibles dépressions qui furent à l'origine de certains des plus « mauvais vides » actuels.

En somme, dans le passé, une évolution pédologique périglaciaire de type encore peu étudié, mais qui a donné définitivement son caractère au sous-sol.

Ultérieurement, il y a eu, dans les limons éoliens reposant sur ces vieux sols, une marmorisation tachetée normale, la surface restant non marmorisée ou étant démararmorisée par l'exposition à un climat tempéré. Elle a été accrue par le découvert excessif (traitement en taillis-sous-futaie, incendies), et par la monoculture du chêne (elle-même en relation directe avec ces mauvais traitements); de cette dégénération (« dégradation » au sens vulgaire du mot)



l'homme est en grande partie responsable, car s'il avait respecté la forêt de l'époque atlantique, riche en hêtre, elle se serait maintenue en équilibre; le niveau compact plus ou moins marmorisé flou est remonté, diminuant l'épaisseur de la couche productrice.

Sur une bonne partie de la surface, la molinie a contribué à la dégradation.

Sur certaines parties (anciennes cuvettes marécageuses périglaciaires) ou vides très anciens dus à l'incendie, cette action de la molinie l'emporte sur celle des arbres forestiers.

Dans cette évolution, il y a un rapport étroit entre l'état de la végétation et celui du sol, chacun des deux retentissant sur l'autre. Ce sont des sols en partie phytogéniques.

Il faut dire aussi que l'évolution récente a été en partie commandée par l'évolution ancienne (sous-sol exceptionnellement compact par suite de la cryergie et du lessivage). Ce sont d'ailleurs des « sols hérités ».

## 2° Possibilités de restauration:

Certains défauts sont partiellement inhérents à la texture trop fine de la masse des roches-mères, ou à des phénomènes anciens (compaction, transformation des argiles): ils sont, les uns et les autres, difficilement remédiables.

Mais certains des caractères d'une partie des sols sont récents et dus aux erreurs de traitement, ils sont remédiables. La compaction récente des horizons médians et la marmorisation tachetée floue peuvent disparaître si l'on arrive à supprimer ou réduire la nappe aquifère perchée, si on ameublisse ces horizons par des façons culturales, si l'on installe une végétation améliorante (au besoin par étapes). C'est ce qui est en cours depuis 1949. C'est ce qui est possible si l'on se montre conservateur et prudent.

Quant à la marmorisation contrastée, elle est probablement plus difficile à effacer (elle-même et les caractères qui lui sont attachés). Mais il ne semble pas impossible par des actions énergiques, de la maîtriser. C'est évidemment plus coûteux. On peut noter toutefois, *que le sous-sol profond est plus riche en cations que le sol lui-même*. En brassant les deux, on peut donc améliorer le sol par le sous-sol. La technique devrait toutefois être mise au point car, jusqu'à maintenant, le temps nécessaire à la restauration biologique de ce sous-sol est apparue trop long. Peut-être parviendra-t-on un jour à le réduire. L'homme de demain si féru de sa puissance, en trouvera le moyen, espérons-le. On peut, pour commencer, favoriser la descente des racines.

En tout cas, dans une économie qui se veut plus productive, *les sols de la forêt de Chaux et les sols de ce type méritent des investissements pour leur amélioration*.

Après restauration, grâce à une technique forestière suffisamment protectrice et à des investissements rentables, on peut obtenir une productivité presque doublée en volume total de bois, et surtout quintuplé en volume de bois d'œuvre et en valeur argent.

L'aménagement de conversion en futaie de la forêt domaniale de Chaux (1957) a été une mesure prise en application directe des études de la présente thèse : il a déjà des effets très heureux et en aura bien d'autres. Encore faut-il qu'il soit appliqué intégralement et surtout que les investissements prévus soient faits ; quelques mesures supplémentaires peuvent même être prises, dictées par le souci pédologique.

Un grand nombre d'autres forêts communales ou particulières sont justiciables des mêmes mesures de conversion et restauration.

Les buts à atteindre sont : circulation de l'eau interne, aération, meilleure structure, meilleur humus, meilleure microflore, enracinements plus développés.

Les moyens à employer sont : *couvert plus dense et plus continu, choix des essences, façons culturales, ouvertures de fossés, apport d'amendements et d'engrais pour amorcer les processus favorables.*

Les traitements (sylviculture et repeuplements artificiels) doivent être étroitement adaptés aux conditions locales des diverses stations.

Chaque fois que c'est possible, on se contentera de favoriser les facteurs naturels de restauration.

Si celle-ci tarde trop, on peut employer les moyens semi-artificiels.

De nombreux sols dégradés, de nombreuses friches, de nombreuses forêts clairiérées appellent ses efforts et ses soins. Parmi elles, la forêt de Chaux.

C'est un beau et noble travail en perspective pour les générations à venir !

---



## ABREVIATIONS

Principales abréviations  
(en particulier celle des périodiques)

A.A.	Annales Agronomiques.
A.E.N.E.F.	Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts.
A.F.E.Q.	Association Française d'Etude du Quaternaire.
A.F.E.S.	Association Française pour l'Etude des Sols.
A.I.N.A.	Annales de l'Institut National Agronomique.
A.S.A.F.E.	Annales de la Science Agronomique Française et Etrangère.
B.A.F.E.S.	Bulletin de l'A.F.E.S.
B.S.C.F.B.	Bulletin Société Centrale Forestière de Belgique.
B.S.G.F.	Bulletin de la Société Géologique de France.
B.S.R. Bot. Belgique	Bulletin de la Société Royale de Botanique de Belgique.
Ch., chap.	Chapitre.
C.R. Ac. Agr. Fr.	Compte rendu des Séances de l'Académie d'Agriculture de France.
C.R. Ac. Sc., C.R.A.S.	Compte rendu des Séances de l'Académie des Sciences.
C.R.S.S.G.F.	Compte rendu des Séances de la Société Géologique de France.
d.d.	Dates diverses.
J.	Journal.
Mém. Soc. EM.	Mémoire de la Société d'Emulation.
Mitt..	Mitteilungen der schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen.
M.O.	Matière organique.
m. s.	Matière sèche.
P.	Parcelle
R.E.F.	Revue des Eaux et Forêts.
R.F.F.	Revue Forestière Française.
R.G.B.	Revue Générale de Botanique.
R.G.D.	Revue de Géomorphologie Dynamique.
R.G.P.G.D.	Revue de Géographie physique et de Géologie dynamique.
S.C.P.A.	Société Commerciale des Potasses d'Alsace.
S.S.S.A.P.	Soil Science Society America Proceedings.
V.	Voyez.

---

## BIBLIOGRAPHIE

*Les astérisques indiquent les textes les plus importants.*

- AGAFONOFF V. et MALYCHEFF V. — 1929 — Le loess et les autres limons du plateau de Villejuif. — *B.S.G.F.*
- AIGRET Cl. — 1911 — Une plante quelque peu réfractaire à l'incendie. — *B.S.R. Bot. Belgique*, XLVIII, p. 283.
- ANDERSON J.-U. and WHITE J.-L. — 1958 — A study of fragipans in some southern Indiana soils. — *S.S.S.A.P.*, p. 450-454.
- ARSENS R., KRAMER F. et LANGNER Ch. — 1958 — Ueber die Bodenstruktur, der Wasserhaushalt und die Ertragsfähigkeit von Pseudogleyen und gleyartigen Braunerden. — *Zeitschr. Acker und Pflanzenbau*, 107 p, 67-98.
- AUBER G. — 1963 — Soils with ferruginous or ferrallitic crusts of tropical regions. — *Soil Sci.*, 95, 4, p. 235-242.
- AUBERT G. et BÉTRÉMIEUX R. — 1944 — Etude des sols des prairies marécageuses de la région de Gray. — *A.A.*, p. 389-408.
- Auteurs divers (CAILLEUX, TRICART, MANIL...). — 1960 — Le périglaciaire würmien. — *Coll. Int. Liège*, 1959 (Univ. Liège), 197 p.
- BACSAK G. — 1942 — Die Wirkung der skandinavischen Vereisung auf die Periglazialzone. — *Ung. R.A.F. Meteor. Erdm.*; n.R. n° 13. Budapest.
- BARJAC (de) : Voir POCHON.
- BEL B. — 1955 — Les sols de Nuits-Saint-Georges. — *A.A.*, 2, p. 383-421.
- BEL B., DENIZOT H., et MATHIEU Z. — 1951 — Minéralisation de l'azote dans quelques sols de la région de Dijon. — *C.R. Ac Agric. Fr.*, 7 nov., 3 p. (Pour Aige d'Henroux et Chocelle).
- BENOIT E. — 1958 — Esquisse de la carte géologique et agronomique de la Bresse et de la Dombes. — *B.S.G.F.*, 2, 15, p. 315-344.
- BERGHEN C.-V. (Van den). — 1951 — Les prairies à Molinia de Belgique. — *B.S.R.B. Belgique*, 83.
- BERTHOIS L. — 1953 — Remarques sur la paléopédologie des limons des environs de Rennes. — *Ann. Ec. Nat. Agr. Rennes*, XV, p. 63-75.
- BERTOUILLE H. — 1964 — Ferruginisation des sables. — *Bull. de l'A.F.E.Q.* n° 1, p. 75-84.
- BERTRAND M. — 1882 — Note sur l'âge des terrains bressans (feuille de Besançon). — *Bull. Soc. Géol.*, 3<sup>e</sup> série, t. X, p. 256.
- BÉTRÉMIEUX R. — 1951 — Etude expérimentale de l'évolution du fer et du manganèse dans les sols. — *A.A.*, p. 193-296 (en particulier p. 258-261).
- BÉTRÉMIEUX R. — 1955 — Influence du plan d'eau sur la précipitation des éléments minéraux du sol. — *C.R. Ac. Sci.*, t. 241.
- BIBELRIETHER H. — Die Bewurzelung von Schwarzerlen in den Auwäldern von Prekmurje. — *Allg. F. Zeitsch.*, n° 42, 17 octobre 1965.
- BLOOMFIELD C. — 1950 — Gleying. — *Soils and fertilizers*, XII, 5, p. 319-321.
- BLOOMFIELD C. — 1950 — Some observations on gleying. — *The Journal of Soil Sc.*, Oxford, 1, 2, p. 205-211.
- BLOOMFIELD C. — 1952 — Distribution des oxydes de fer et aluminium dans les sols à gley. — *J. Soil Sc.*, 3, 2, p. 167-171.
- BLOOMFIELD C. — 1955 — Le déplacement des sesquioxydes et de l'argile dans le sol : 1. Gleyification. — *Sols africains*, III, 4, oct. 1953, p. 488-494.



- BLOOMFIELD C. — 1957 — The possible significance of polyphenols in soil formation. — *J. Sc. Food Agric.*, n° 7, p. 389-392.
- BLÜMEL F. — 1962 — Formen der Eisenoxydrat Ausscheidungen in Gleyen und Pseudogleyen. — *Z. Pflanzern Düng. Bodenk.*, p. 258-264.
- BLÜMEL F. — Bodengefügeveränderungen durch Maulwurfdränung. — *Ost. Wasserwirts.*, 8, 11.
- BOGATIREW K.-P. — 1953 — (Au sujet de la question de la gleyification sur l'influence de l'eau du sol superficiel et interne dans les territoires humides et sud tropicaux). — *Pédologie*, XII.
- BOISCHOT P. et DROUINEAU G. — 1936 — Sur la présence et la constitution de concrétions ferrugineuses dans un sol méditerranéen. — *Bull. A.F.E.S.*, 3, 4.
- BONNEAU M. — 1963 — Premiers résultats d'une expérience ed fertilisation sur pin Laricio de Corse en forêt de Moulières. — *A.E.N.E.F.*, XX, 3, p. 313-341 (Sols à pseudogley de l'Ouest de la France).
- BORDES F. — 1952 — Stratigraphie du loess et évolution des industries paléolithiques dans l'Ouest du Bassin de Paris. — *L'Anthropologie*, 56, 1 et 2.
- BOUDRU M. — 1947 — A propos de certaines propriétés des feuilles, aiguilles mûres de nos arbres forestiers en liaison avec leur pouvoir améliorant. — *B.S.G.F. Belg.*, 3-4, p. 129-162.
- BOURDIER F. — 1947 — Les caractères distinctifs de chaque glaciation alpine d'après les couvertures de loess et les loess d'altération. — *Sess. Extr. Soc. Belge. Géol.*, 1946, Bruxelles, p. 332-347.
- BOURDIER F. — 1953 — Pliocènes et quaternaire dans le bassin du Rhône. Résumé de leurs subdivisions. — *Géologica Bavarica*, 19, p. 114-132.
- \*BOUDIER F. — 1961 — Le Bassin du Rhône au Quaternaire (Géologie et Préhistoire). — *C.N.R.S.* (2 vol., 364 et 295 p.).
- BOURGAT (Abbé). — 1906 — Quelques remarques géologiques et géographiques sur la Bresse. — *Mém. Soc. Em. Jura*, 7<sup>e</sup> série, V, p. 241-251.
- BOURGAT (Chanoine). — 1917 — Le conglomérat de la forêt de Chaux. — *Mém. Soc. Em. Jura*, p. 1-14.
- BOYER G. — 1885 — Sur la provenance et la dispersion des galets silicatés et quartzeux dans l'intérieur et sur le pourtour des Monts Jura. — *Mém. Soc. Em. Doubs*, 5, X, p. 414-459.
- BRAQUE R. — 1961 — Observations sur quelques sols forestiers des confins méridionaux du Bassin Parisien. — *B.A.F.E.S.*, mai, 5, p. 216-234 (analyse M, fig. 14).
- BRAY R.-H. — 1935 — The origin of horizons in claypan soils. — *Am. Soil Surv. Ass.*, Bul. 16, p. 70-75.
- BREUIL H. — 1934 — De l'importance de la solifluxion dans l'étude des terrasses quaternaires. — *R.G.P.G.D.*, VII, 4, p. 269-331.
- BROECK (Van den) E. — 1877 — Sur les phénomènes d'altération des dépôts superficiels. — Bruxelles.
- BRUNNACKER K. — 1956 — Das Lössprofil in Kitzingen (Unterfranken). — *Germania*, 34 H, 1, 2, p. 3-11.
- BRUNNACKER K. — 1958 — Zur Parallelisierung des Jungpleistozans in den Periglazialgebieten Bayern und seiner östlichen Nachbarländer. — *Geol. Jb.*, 76, Hannover, p. 129-150.
- BRUNNACKER K. — 1959 — Bemerkungen zur Parabraunerde. — *Geol. Jb.*, 76, Hannover, p. 561-576.
- BRUNNACKER K. — 1962 — Feldbodenkundliche Untersuchungen in Frankenjura. — *Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch* 1 (Pseudogley-pelosol du Jura franconien).
- BRUNNACKER K. — 1963 — Die schweren Böden Bayerns in geologischer und bodengeschichtlicher Sicht. — *Bayerisches Landw. Jahrbuch*, 40, H 3.

- BRYAN K. — 1946 — The study of frozen ground and intensive frost action with suggestions on nomenclature. — *Amer. Jour. Sci.*, 244, p. 622-642.
- BUHLER A. — 1891 à 1898 — Untersuchungen über Sickerwassermengen. — *Ann. Inst. Fed. Rech. For.* Zürich, I, p. 291-322; II, p. 203-248; III, p. 37-52.
- BURGER. — 1879 — Assèchement du sol par les essences forestières. — *R.E.F.*, VIII, p. 266; XVI, p. 48 et 92.
- BURGER H. — 1923 — Physikalische Eigenschaften der Wald und Freilandböden. — Zürich.
- BURGER H. — 1934, 1943, 1945 — Einfluss des Waldes auf den Stand des Gewässers. — II. — *Mit. schweiz. Anst. f. d. forstl. Vers. Wes.*
- BURGER H. — 1937 a et suiv. — Physikalische Eigenschaften von Wald und Freilandböden. — *Mitt. der Schw. Anstalt f.d.f. Vers.* (plusieurs numéros).
- BURGEVIN H. et HENIN S. — 1943 — Influence de la profondeur du plan d'eau sur le développement des plantes. — *A.A.*, 3, p. 228.
- CAILLEUX A. — 1953 — Les loess et limons éoliens de France. — *B.S.C.G.F.* 240, L I, 24 p.
- CAILLEUX A. — 1956 — Mares, mardelles et pingos. — *C.R. Ac. Sci.*, C.C.X.L II, p. 1912-1914.
- CAILLEUX A. et TAYLOR G. — 1954 — Cryopédologie. — Hermann et Cie, Paris.
- CAIN Charles C. and RIECKEN F.F. — 1958 — Sequence relationships of loess derived forested planosols in Southeastern Iowa. — *S.S.S.A.P.*, p. 445-449.
- CAMEZ Th. — 1962 — Etudes sur l'évolution des minéraux argileux dans les sols des régions tempérées. — *Mém. Serv. C. Géol. Als. Lor.* (en part. p. 42-46, 62, 63).
- CAMEZ Th. et ROTH Ch. — 1957 — Evolution des minéraux argileux des lehms des environs de Strasbourg. — *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lor.*, t. 10, f. 2, p. 21-23.
- CANAT. — 1847 — Sur le terrain lacustre de la Bresse. — *Bull. Soc. géol.*, 2<sup>e</sup> série, t. IV, p. 1085.
- \*CARLISLE F.J., KNOX E.-G. and GROSSMANN R.-B. — 1957 et 1958 — Fragipan horizons in New-York soil. — *S.S.S.A.P.*, p. 21 et p. 320-330.
- CASTELA P. et TRICART J. — 1958 — Une coupe typique du cône de déjections nivopériglacière de la Bruche: la carrière Zimmer à Lingolsheim. — *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lor.*, 11, 2.
- CAVAILLÉ A. — 1950 — Les boubènes. — *Le Tarn-et-Garonne agricole*, p. 17-21.
- CAVAILLÉ A. — 1951a — Phénomènes de dessiccation du sol en Quercy. — *R.G.D.*, 4, p. 170-172.
- CAVAILLÉ A. — 1951b — Les sols de boubène de l'Aquitaine et les climats quaternaires. — *Rev. Géo. Pyr. et du S.O.*, XXII, f. 2-3, p. 199-206.
- CAVAILLÉ A. — 1952 — Formation, évolution et classification des sols du département du Tarn-et-Garonne. — *Ann. E.N.A.*, Montpellier, XXIX, déc., p. 39-51, 53-57, 67.
- CHABOT G. — 1927 — Les plateaux du Jura Central — Etude morphogénique. — Fac. L. Un., Strasbourg, Paris, Les Belles Lettres, 350 p.
- CIRY R. — 1951 — Contribution à l'étude des influences périglaciaires en Bourgogne. — *Bull. Soc. Archéologique Beaune. Tome spécial du Centenaire. XXII Congrès Ass. bourguignonne des Soc. Savantes*, Beaune, 4 p.
- CIRY R. — 1959 — Le rôle du sous-sol gelé quaternaire dans le modelé des plateaux bourguignons. — *C.R.A.S.*, t. 248, p. 2068-2610.
- CLEMENTS F.-E. — 1921 — Aeration and air content: The role of oxygen in root activity. — *Carnegie Instit. Wash. Publ.* 315.



- CLINE M.-G. et JOHNSCARD, — 1957 — A Contribution of the department of agronomy. — *N.Y. State Coll. of Agr. Cornell Un.* (sur l'extension des fragipan).
- COPPENET M. et HELIAS M<sup>me</sup>. — 1956 — Le fer, le manganèse dans quelques profils caractéristiques du Finistère. — *Bull. A.F.E.S.*, 76, mai.
- COULSON, DAVIES C.-B. et LEWIS D.-A. — 1960 — Polyphenols in plant, humus and soil. — *The Journ. of Soil Sci.*, 11, 1 mars, p. 20-44.
- CRAENE (de) et LARUELLE J. — 1955 — Genèse et altération des latosols équatoriaux et tropicaux humides. — Ministère des Colonies, Bruxelles, 131 p.
- CROMPTON E. — 1952 — Some morphological features associates with poor soil drainage. — *Journal of Soil Sci.*, 3, 2, p. 277-289.
- DARWIN Ch. — 1882 — The formation of the vegetable mould through the action of worms, with observations on their habits. — New-York, Appleton, 326 p.
- DAUBRÉE M. — 1846 — Recherches sur la formation du minerai de fer des marais et des lacs. — *Annales des Mines*, 4<sup>e</sup> série, t. X, p. 37-68.
- DAUBRÉE A. — 1852 — Description géologique et minéralogique du département du Bas-Rhin. — Strasbourg, p. 263.
- DAUBRÉE A. — 1887 — Les eaux souterraines à l'époque actuelle. — Dunod, t. I, p. 171-174; t. II, p. 125-131 (fig. p. 130).
- DECKERS J. — 1956 — Sols hydromorphes des hauts plateaux de l'Ardenne belge et leur mise en valeur. — 6<sup>e</sup> Congrès Int. de la Sc. du Sol, VI, 42.
- DEJOU J. — 1963 — Etude des sols du Centre Nivernais, Région de Prémercy. — *B.A.F.E.S.*, mai, p. 210-255 (avec analyses; en particulier sol de Boulon).
- DEJOU J. et LAVIELLE G. — 1964 — Observations sur les sols hydromorphes au sud de Villeveux (Jura). — *B.A.F.E.S.*, 10, p. 431-454.
- \*DEJOU J. et MERIAUX S. — 1961 — Etude des sols de la vallée de l'Orain et de la Grozonne (Jura). — *A.A.*, 12, 5, p. 489-512.
- \*DELAFOND F. et DEPERRET C. — 1893 — Les terrains tertiaires de la Bresse et leurs gites de lignites et de minerai de fer, dans: Etudes des gites minéraux de la France, Paris, in-4°, 2 vol. 332 p.
- \*DEMOLON A. — 1926 — Recherches physico-chimiques sur la terre à brique considérée comme milieu naturel. — Thèse. Paris.
- DEMOLON A. et HENIN S. — 1954 — Place des facteurs physiques dans le syndrome caractérisant un sol au point de vue de sa capacité de production. — *C.R.A.S.*, t. 238, p. 1635-1638.
- DEMORY P. — 1936 — Les limons blanc et les limons rouges. — *C.R. Ac. Agr.*, p. 62.
- DENIZOT H., BEL B. et MATHIEU G. — 1952 et 1953 — Etude de quelques sols caractéristiques de la région de Dijon. — *A.A.* n° 2 de 1952, p. 191-206 et 5 de 1953, p. 669 à 685.
- DEUSE P. — 1949 — Sur les caractères écologiques de *Molinia Caerulea*. — *Lajeunia*, 13, p. 35-38.
- DEUSE P. — 1950 — Ecologie de *Molinia Caerulea* Moench. Germinations. — *Lajeunia*, 14, p. 53-60.
- DIJKSTRA N.-D. — 1953 — Process of gleying and migration of iron in the soil. — *Landbouwkuntig Tijdschrift*, avril, p. 191.
- DOSEN R.-C., PETERSON S.-F. and PRONIN D.-T. — Effect of ground water on the growth of red pine and white pine in Central Wisconsin. — *Trans. of the Wisconsin Ac. of Sc. A. and L.*, vol. 40, p. 29-82 (la croissance en hauteur et diamètre est meilleure si le plan d'eau de la nappe phréatique est plus proche).
- DOUVILLÉ R. — 1913 a — Remarques à propos du Rhin français pliocène. — *C.R.S.S.G.F.*, p. 214-216.

- DOUVILLÉ R. — 1913 b — Révision de la feuille de Besançon au 80 000°. Terrains tertiaires et quaternaires. — *B.S.C.G.F.*, XXIII, 1913-1914, n° 136, C.R. coll. Camp. de 1913, p. 71-75.
- \*DROSDOFF M. and NIKIFOROFF C.-C. — 1939 — Iron Manganese Concretions in Dayton soils. — *Soil Sci.*, 49, p. 333-345.
- DROUINEAU G. — Voir BOISCHOT.
- DUBOIS G. — 1924 — Recherches sur les terrains quaternaires du Nord de la France. Thèse Fac. Sci. Lille et Mém. Soc. géol. Nord VIII, 1.
- DUBOIS G., FRANC de FERRIÈRE P.-J.-J., BADRÉ L. — 1955 — Notice explicative de la carte géologique et agronomique du Haut-Rhin (avec carte). Préfecture du Haut-Rhin (Serv. Carte géol.).
- DUCHAUFOUR Ph. — 1949 — Les sols à horizon de gley. — *R.F.F.*, nov. 8, p. 357-361.
- DUCHAUFOUR Ph. — 1950 — Dégradation des sols forestiers par évolution pédologique défavorable. — *R.F.F.*, p. 241-245.
- \*DUCHAUFOUR Ph. — 1953 a — La dégradation de la structure des sols forestiers. — *R.F.F.*, p. 657-665.
- DUCHAUFOUR Ph. — 1953 b — Note sur l'influence de l'incinération sur l'évolution de l'humus. — Actes 72<sup>e</sup> Congrès A.F.A.S., Luxembourg, p. 729-731.
- \*DUCHAUFOUR Ph. — 1956 — Pédologie. Applications forestières et agricoles. — Ecole Nationale des Eaux et Forêts, Nancy, p. 215-233.
- \*DUCHAUFOUR Ph. — 1957 — Pédologie. Tableaux descriptifs et analytiques des sols. — Ec. Nat. Eaux et Forêts, Nancy.
- \*DUCHAUFOUR Ph. — 1960 — Précis de pédologie. — Masson, p. 276-287.
- DUDAL R. — 1953 — Etude morphologique et génétique d'une séquence de sols sur limon loessique. — *Agricoltura*, Bruxelles, 1<sup>o</sup>, 2<sup>e</sup> série, oct., p. 119-163.
- DUPUIS J. — 1952 — Contribution à l'étude des sols du Gâtinais. — *Ann. I.N.A.*, 256 p.
- DUPUIS J. — 1958 — Observations pédologiques dans le Sud-Ouest de la France. — *Ann. I.N.A.*, XLIV, p. 48-57 (Brandes du Poitou, et conclusions).
- DUVIGNEAUD P. et DENAEYER de SMET S. — 1960 — Action de certains métaux lourds du sol (Cu, Co, Mn, etc) sur la végétation dans le Haut Katanga. — Dans Viennot-Bourgin: Rapports du sol et de la végétation (Pour le Mn, p. 134-137).
- EBERMAYER E. — 1884 — Etude sur les exigences en eau de la végétation forestière. — *A.S.A.F.E.*, t. II, p. 283-311 (Trad. par Hickel).
- EBERMAYER E. — 1889 — Influence de la forêt et de la consistance des peuplements sur le degré d'humidité du sol. — *An. Sc. Agr. Fr. et Etr.*, t. I.
- EBERMAYER E. et HARTMANN O. — 1904 — Untersuchungen über der Einfluss des Waldes auf den Grundwasserstand. — München.
- ENGLER A. — 1887 — Untersuchungen über den Einfluss des Waldes auf dem Stand der Gewässer. — *Mitt. der S.A.f.d.V.*, XII.
- ENGLER A. — 1903 — Untersuchungen über der Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. — *Mitt. schweiz. Anst. Forstl. Vers. Wes.*, 12, p. 1-626
- ENGLER A. — 1919 — Untersuchungen über der Einfluss des Waldes auf den Stand der Gewässer. — *Ann. Inst. Fed. Rech. For.*, Zürich, 1919, p. I-XV, 1-626, Suite par Burger, 1934, p. 311-416.
- ERB L. — 1933 — Ein begrabener diluviale Spaltenfrostboden in Breisgau. Sonderdruck aus den *Badischen Geologischen Abhandlungen*, V, 2, p. 132-137.
- \*ETTER H. et MORIER-GENOUD P.-O. — 1963 — Etude phytosociologique des forêts du canton de Genève. — *Mémoires Inst. Suisse Rech. For.*, 39, 2.



- FAIL H. — Effet des appareils de culture rotatifs sur les mauvaises herbes à rhizomes. — *Journal of Agricultural Eng. Res.*, I, 1, 16 p. (diffusé par Rotavator B.P. 28, Pont-Sainte-Maxence - Oise).
- FEDOROFF A. — 1961 — Influence des propriétés structurales sur la pénétration de l'eau dans uns sol. — *C.R. Ac. Agr.*, 47, p. 164-167.
- FINK A. — 1952 — Okologische und bodenkundliche Studien über die Leistungen der Regenwürmer für die Bodenfruchtbarkeit. — *Zeits. f. Pfl. D.B.* 58 (103) H 2, p. 120-145.
- FINK J. — 1953 — Prinzipielle Fragen bei der Erforschung fossiler Böden im Löss. — Ber. IV I.N.Q.U.A. Congrès Rome-Pise.
- FINK J. — 1954 — Die fossilen Böden im österreichischen Löss. — *Quartär VI* 2.
- \*FINK J. — 1961 — Die Südostabdchung der Alpen. — Exkursionen durch Österreich (*Ost. Bodenk. Gesellschaft*, Heft 6, Wien, en part. p. 175-183, avec bibl.
- FITZPATRICK A. — 1956 — An indurated soil horizon forme a by permafrost. — *Jour. Soil. Sci.*, V, 7, p. 248-254.
- FOURNET. — 1859 — Note sur les phénomènes du lehm. — *Bull. Soc. Géol.*, 2<sup>e</sup> série, T. XVI, p. 1049.
- FOURNET. — Sur le diluvium de la France. — *A. Sc. Géol.*, t. I, p. 98.
- FOURNET. — 1868 — Etudes sur les influences colorantes des pluies et de l'état de l'atmosphère.
- FOURNIER E. et PIROUTET M. — 1922 — Notice explicative jointe à la feuille de la Carte géologique de Besançon.
- FRANC de FERRIÈRE J. — 1935 — Evolution pédologique des sols de boulbène dans le département du Gers. — *Bull. A.F.E.S.*, juil., p. 58-62.
- FRANC de FERRIÈRE J. — Minéralogie des argiles de quelques sols de France. — *Service Agron. de la S.C.P.A.*, p. 9 et 19.
- FRANC de FERRIÈRE J. — 1963. — Minéraux argileux du Centre Est de la France. — *B.A.F.E.S.*, oct., p. 421-436.
- FRANZ H. — 1956 — Die Walddüngung im Lichte der Bodenbiologie. — *Allg. Forsts.*, 25-26.
- FRANZ H. — 1960 — Feldbodenkunde. — Verlag G. Fromme, p. 248-249, p. 311-320 (Pseudogley, Obokboden d'Autriche).
- FREI E. — s.d. — Gefügeuntersuchungen an landwirtschaftlichen Kulturböden. — *Mitt. der Eidg landw. Versuchsanstalt Zürich-Oerlikon* (types de structure, influence des vers de terre).
- FRYE J.-C., WILLMANN H.-B. et GLASS H.-D. — Gumbotil, accretiongley and the weathering profile. — *Div. of the Illinois St Geol. Survey, Urbana: Circ.* 295.
- GAIN et RIECKEN. — 1958 — Sequence relationships of loess derived forested planosol. — *S.S.S.A.P.*
- GAISER R.-N. — 1952 — Readily available water in forest soils. — *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.*, 16, n° 4, p. 334-338.
- GALOUX A. — 1953 a — Le hêtre et la dégradation des sols forestiers loessiques. — *B.S.R.F. Belgique*, mai, p. 228-230.
- GALOUX A. — 1953 b — Les essences forestières et l'évolution secondaire des sols. — Congrès int. U.S.R.F. Rome, 10 p. et *B.S.R.F.B.* (page 352: pour l'eau conduite par les troncs).
- GARNAUD et BAUDIC. — 1953 — Etude hydrologique par prospection géophysique en forêt de Chaux. — Soc. Gén. de Géophysique (dactyl., hors commerce) (6 p. et graphiques).
- GARNER .. — 1954 — New techniques for the study of restoration of compacted soils. — *Science*, 120, p. 668-669.
- GERARD C.-J. et al. — s.d. — Soil hardpan formation as affected by rate of moisture loss cycling wetting and drying and surface-applied force. — *S.S.S.A.P.*, 26, 6, p. 601-615.

- GIBERT A. — 1930 — La Porte de Bourgogne et d'Alsace (Trouée de Belfort). — Etude géographique, Paris, s.d., 637 p. (thèse).
- GILE (LELAND) H. Jr. — 1958 — Fragipan and water table relationships some Brown Podzolic and Low Humic Gley Soils. — *S.S.S.A.P.*, v. 22, p. 560-565.
- \*GIROD J. — 1953 — Etude chimique d'un sol provenant du Bois du Baron. — *Bull. Soc. Hist. Nat. Doubs.* 57, p. 73-84 (Massif de Chaux).
- GLANGEAUD Louis — 1949 — Evolution morphotectonique du Jura septentrional pendant le Miocène supérieur et le pliocène. — *C.R. Ac. Sci.*, t. 229, p. 720-722, 10 octobre.
- GODMAN R.M. — 1959 — Are water levels an important factor in the establishment and growth of yellow birch. — *Pap. Of the Michigan Ac. of Sc.*, XLIV, p. 183-190.
- GODWIN H. et BARUCHA F. — 1932 — The water table and its control of plant communities. — *Journ. Ecol.*, 20, p. 157-191.
- GÖHRE-WAGENKNECHT. — 1955 — Die Roteiche und ihr Holz. — Deutscher Bauernverlag, 300 p.
- GOOR C.-P. van — 1954 — De bestryding van bunt (*Molinia caerulea*) op kaalkamperreinen; — Korte meded Bosbouwproefstation. — T.N.O., Wageningen n° 23.
- GOOR van et autres. — 1957 — Uitvoeringe Verslagen van de Sichtung Bosbouwproefstation de Dorschamkamp. Wageningen (lutte contre molinie).
- GOOR C.-P. van, ZONDERWIJK P. et DRIFT J. van der — 1957 — Chemische Bestrijding van Enkele grasse en houtige gewassen in de bosbouw. — Centre exper. de sylviculture de Dorschkamp, Wageningen (lutte contre molinie).
- GRAINDOR J. — 1948 — Les limons quaternaires des environs de Rouen. — *A.A.*, nov., p. 659-686.
- GRAINDOR M. et BOURDIER F. — 17 avril 1950 — Les limons quaternaires de la région de Rouen et leurs relations possibles avec ceux du Bassin du Rhône. — *C.R.S.G.F.*, 171, p. 107-110.
- GRANVIGNE Ch. et OUDIN A. — 1950 — Notes sur la pédologie du département du Jura. — *A.A.*, n° 4, p. 9-12.
- GRAS Sc. — 1857 à 1859 — Comparaison chronologique des terrains quaternaires de l'Alsace avec ceux de la vallée du Rhône dans le Dauphiné. — *B.S.G.Fr.*, XV, 1857-1858, p. 148-187, 1 pl.
- GRAS R. — 1961 — Relations entre les propriétés physiques du sol et la croissance du pommier dans la Sarthe. — *A.A.*, 12, 2, p. 207-248.
- GUINOCHE et LEMÉE G. — 1950 — Contribution à la connaissance des races biologiques de *Molinia caerulea* (L.) Moench. — *R.G.B.*, 57, p. 565-593.
- GUTZWILLER A. — 1895 — Die Diluvialbildungen der Umgegend von Basel. — *V. naturf. Ges. Basel*, X, 3, p. 512-690.
- GUTZWILLER A. — 1912 — Die Gliederung der Diluvialen Schotter in der Umgebung von Basel. — *V. Nat. Ges. Basel*, Bd XXIII.
- \*HABIG F. — 1953 — Beitrag zur Dynamik und Genetik Stauwasserbeeinflusste Böden. — Diss. Han Münden.
- HALLAIRE. — 1956 — L'état de l'eau dans le sol et l'alimentation en eau des végétaux. — *Bull. Soc. Fr. Phys. Vég.*, II, 1, mars, p. 1-17.
- HARTMANN F.-K. — 1930 — Ueber den waldbaulichen Wert des Grundwassers. — *Mitt. Forstwirtschaft. und Forstwiss.*, 1, p. 345-437.
- HARTMANN F. — 1952 — Forstökologie. — Vienne G. Fromme, en part. p. 20-29, 205 à 208, 209, p. 231, 232, fig. 67 et 68, p. 267 (sols à gley) fig. 67 et 68.
- HENIN S. — 1936 — Idées actuelles sur l'eau du sol et ses rapports avec la plante. — *A.A.*, 5, p. 723-741.
- HENIN S., FEDOROFF A., GRAS R. et MONNIER G. — 1960 — Le profil cultural. — *S.E.I.A.*



- HENIN S., ROBICHET O. et JONGERUS A. — 1955 — Principes pour l'évaluation de la stabilité de la structure du sol. — *A.A.*, IV, p. 537-557.
- HENRY E. — 1898 — Les forêts et les eaux souterraines dans les régions de plaine. — *A.S.A.F.E.*, I, p. 1.
- HENRY E. — 1908 — Les sols forestiers. — Berger-Levrault (en particulier ch. V, ch. VIII (vers de terre), ch. XIV (eau du sol), ch. XVIII (amélioration des sols forestiers).
- HENRY (Mlle) S. — 1943 — La forêt de Bouconne. — Toulouse, 250 p. (pour comparaison).
- HENSEN (von). — 1877 — Die Thätigkeit des Regenwurms für die Fruchtbarkeit des Bodens. — *Z.f.w. Zool.*, p. 354-365.
- HESS E. — 1940 — Le rôle des feuillus dans la reforestation. — *Beih. 19, Schw. Z.f.f.*
- HÖHNEL (F. von). — 1880 — Über die transpiration grossen der forstliche Kolzgewächse. — *Mitt. Forst. Vers. Oester.*
- HOLSTENER-JORGENSEN H. — Etude sur l'influence de l'essence et de l'âge du peuplement sur le plan d'eau permanent en forêt de Bregentved. — Fiche n° F 1207 de l'A.T.V.F.
- HUFTY A. — 1959-1960 — Ferruginisations en Lorraine belge et leur utilisation en géomorphologie. — *Ann. Soc. géol. de Belg.*, LXXXIII, p. 71-86.
- \*HUNGER W. — 1963 — Beitrag zur Kenntnis der Böden Westsachsens. — *Arch. f. Forstwesen*, 12 Bd, H 2, p. 126-128, 132-139.
- IBERG R. — 1954 — Beitrag zur Kenntnis von Tonmineralien einiger Schweizerischer Böden. — Th. E.T.H. Zürich (profils Obergurnigel, 174, 236, 139 et Murgenthal 1001, Fährach 1031, Aspi 1020 à 1025).
- IJJASZ E. — 1938 — Grundwasser und Baumvegetation unter besonderer Berücksichtigung der Verhältniss in der ungarischen Tiefebene. — *Erd. Kiserleteck, Sopron*, 40.
- JANEKOVIC GJURO. — 1961 — Über das Alter und den Bildungsprozess von Pseudogley aus pleistozänen Staublehm am Südwestlichen Rande des pannonischen Beckens. — Exk. durch Osterreich (*Ost. Bodenk. Gesellschaft*, Heft 6, p. 184-189).
- JARNISON V.-C. et VHAVER H.-A. — 1952 — Soil hardness measurements in relation to soil moisture content and porosity. — *S.S.S.A.P.*, 16, 1.
- JEANSON-LUSINANG (Mme Colette). — 1960 a — Evolution de la matière organique du sol sous l'action de *Lumbricus herculeus* Savigny. — *C.R. Ac. Sci.*, 23 mai, t. 250, p. 3500-3502.
- JEANSON-LUSINANG (Mme Colette). — 1960 b — Etude expérimentale de l'action de *Lumbricus herculeus* (Savigny) sur la stabilité structurale des terres. — *C.R. Ac. Sci.*, 2 mai, t. 250, p. 3041-3045.
- JOFFE J.-S. — 1935 — Soil profiles studies: VII The glei process. — *Soil Sci.*, 39, p. 391-401.
- JOFFE J.-S. — 1949 — Pedology. — New Brunswick (p. 429: glei-like podsol).
- \*JOURNAUX A. — 1956 — Les plaines de la Saône et leurs bordures montagneuses. — Etude morphologique (thèse) — Caen, Caron, 531 pages.
- JULLET A. et ZITI R. — 1935 — *Molinia caerulea* Moench graminée toxique à acide cyanhydrique. — *B.S.B.F.*, p. 23-34 et *C.R. Ac. Sci.*, 1934, p. 617.
- \*KNOX E.-G. — 1957 — Fragipan horizons in New York soils. — *S.S.S.A.P.*, 21, p. 320-330 (3 parties).
- KOEHNE W. — 1925 — Die Grundwasserbewegung in Grunewald bei Berlin. — *Zeitschr. für Bauwesen*, Berlin.
- KOEHNE W. — 1931 — Übermässiger Einfluss der Niederschläge bei sehr flachen Grundwasser, — *Wasserkraft und Wasserwirtschaft*, Jgt 26, H. 7, p. 77-78.

- KOEHNE W. — 1937 — Die Grundwasserverstandsschwankungen in Verbindung mit der Frage fortschreitenden Austrocknung. — Tr. 6° Con. A.I.S.S. Zürich, p. 58.
- KÖSTLER J.-N. — 1956 — Waldbauliche Beobachtungen an Wurzelstöcken Sturmgeworfener Nadelbäume. — *Forst. Cbl.* (Pin Weymouth).
- KRAMER P.-J. — 1940 — Causes of decreased absorption of water by plants in poorly aerated media. — *Am. Journ. Bot.*, 27, p. 261.
- \*KRAMER F. — 1957 — Über die Bodenstruktur der Pseudogleye und der gleyartigen Braunerden Diss. Bonn.
- KRAUSS G. — 1926 — Die sogenannten Bodenkrankungen. — *Jahresh. d. Deutschen Forstvereine*, p. 121-133.
- KRAUSS G., HARTEL F., MÜLLER K., GARTNER G., SCHANZ H. — 1939 — Standortagemässe Durchführung der Abkehr von der Fichtenwirtschaft im nordwestsächsischen Niederland. — *Thar. Forstl. Jb.*, 90, p. 481-716.
- KRAUSS G. — Voir aussi MÜLLER K., 1936.
- \*KREUTZER K. — 1961 — Wurzelbildung junger Waldbäume auf Pseudogleyböden. — *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 80 (11-12), nov.-déc., p. 365-392, 10 fig., 7 tabl.
- KROTH E.-M. et PAGE J.-B. — 1947 — Aggregate formation in soils with special reference to cementing substances. — *S.S.S.A.F.*, 11 (1946), p. 27-34.
- KUBIENA. — 1953 — The soils of Europe. Th. Murby and Cy. London (p. 242-248).
- KULLMANN A. — 1957 — Die Abhängigkeit der Bewurzelung von der Standortbedingungen bei *Molinia caerulea*. — *Archiv. für Forstwesen*, Berlin, t. 6, n° 5-6.
- \*LAATSCH W. — 1937 a — Entwicklungstendenz und System der deutschen Acker und Waldböden. — *Kolloid. Beih.*, 46, p. 143-228.
- LAATSCH W. — 1937 b — (Formation expérimentale d'un pseudogley). — *Koll. Beih.*, 46, p. 215.
- \*LAATSCH W. — 1937-1938 — Die Gerbsäure Zerstörung nasser Eichenwaldböden. — *Forstw. Zentralblatt*.
- LAATSCH (von W.) — 1954 — Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden. — Dresden Steinkopff, en part. p. 84, 177 à 188, 234, 247 à 251. tableau III et IV (4° éd. en 1957).
- LAATSCH W. — s.d. — Die Wissenschaftlichengrundlagen der Waldbodenemeli-  
oration.
- LACHAUSSÉE E. — 1933 — Notes sur la rouille et la gélivure du chêne. — *B.S.F.F.C.*, XXVI, 12.
- \*LACHAUSSÉE E. — 1950 — Les sols sous la dominance de l'eau et de la forêt. — *R.F.F.*, mai (avec la collaboration de G. Plaisance).
- LAMBERTS D. et LIVENS P.-J. — 1954 — L'accumulation d'oxydes de fer dans les sols sur limon loessique. — *C.R. C.I.S.S.*, Léopoldville, p. 478-485.
- LANGNER Ch. — 1956 — Untersuchungen über die Bodenfeuchteverhältnisse auf starken Pseudogleyen und gleyartigen Braunerden unter Acker und Gründlandnutzung. — Diss. Bonn.
- LAVOILLE G. — 1938 — La Bresse, région naturelle et avicole. Sa délimitation. — *B.S. Nat. Ain*, p. 44-81 et 1939, p. 51-83.
- LEDEBEFF A.-P. — 1927-1928 — Die Bewegung des Wassers im Boden und im Untergrund. — *Zeitschr. f. Pfl. D. und Bodenkunde*, A. X.
- LECKWIJCK W. van et MACAR P. — 1949 — Phénomènes pseudo-tectoniques la plupart d'origine périglaciaire, dans les dépôts sablo-graveleux dits ONX et les terrasses fluviales de la région liégeoise. — *Ann. Soc. Geol. Belg.*, t. 73, M. 3-74.
- LECKWIJCK W. van et MACAR P. — 1951 — Nouvelles observations sur des phénomènes périglaciaires dans la région de Liège. — *Ann. Soc. géol. Belg.*, oct., LXXXV, p. B 49-70.



- LEIBUNDGUT H. et KREUTZER K. — 1958 — Untersuchungen über die Wurzelkonkurrenz. — *Mitt. Schw. Anstalt. d.d.f. Vrs.*, 34,5.
- LEIBUNDGUT H., DAFIS Sp. et RICHARD F. — 1963 — Untersuchungen über das Wurzelwachstum verschiedener Baumarten. — *Journal forestier suisse*, 114, 11, nov., p. 621-646.
- LELAND H. — V. GILE.
- LEMÉE G.) LOSSAINT P. et autres. — 1958 — Recherches préliminaires sur les caractères biochimiques de l'humus dans quelques groupements forestiers de la Plaine d'Alsace. — *Ber. über des Int. Symp. Pfl. Bodenkund.*, 1956, H 15, et *Angewandte Pflanzensoz.*, H 15, p. 93-101.
- LEMKE K. — 1954 — Untersuchungen über das Wurzelsystem der Roteiche (non publiée). Thèse.
- LEVY J.-F. — 1964 — Potassium absorbé, potassium échangeable du sol, texture des sols. — *La Potasse*, janv., n° 311, p. 9-20.
- LIBBERT W. — 1928 — Soziologische Untersuchungen am Molinietum der neumärkische Staubeckenlandschaft. — *Verh. bot. Ver. Prov.*, Brandenburg 70, Berlin.
- LIVENS J. et VANSTALIEN R. — 1956 — Recherches sur le rôle de la litière dans la désaturation en bases des sols forestiers sur limon loessique. — *Agricultura*, 4, 2<sup>e</sup> s., 2, p. 113-132.
- LIWERANT M.-J. — 1946 — Les sols d'alluvions de la vallée de la Garonne dans la région toulousaine. — *Bull. Agric. S.O.*, 242, II, p. 1 à 19.
- LIWERANT J. — 1953 — La fumure des arbres fruitiers. — *Bull. techn. inf. I.S.A.*, juil., p. 575-581.
- LOSSAINT P. — 1951 — Influence de la végétation forestière et de la mise en culture sur l'évolution des sols sableux aux environs de Strasbourg. — *A.A.*, 6, p. 803-817 (Profil 5: chênaie à molinie).
- LOSSAINT P. — 1956 a — Résultats expérimentaux sur le rôle des litières forestières dans la solubilisation du fer dans le sol. — 6<sup>e</sup> Congrès Int. Sc. Sol. Co<sup>n</sup> II, Paris.
- LOSSAINT P. — 1957 — Sur le pouvoir réducteur de quelques litières forestières. Litières non décomposées. — *C.A.A.C.S.*, t. 245, p. 2091-2093.
- LOSSAINT P. — 1959 — Etude expérimentale de la mobilisation du fer des sols sous l'influence des litières forestières. — *A.A.*, 10, p. 369-414, 493-542.
- LOSSAINT P. — 1961 — Etude in vitro de l'influence des litières forestières sur la minéralisation de l'azote organique dans un mull acide. — *C.R. Ac. Sci.*, t. 253, p. 2245-2247.
- LOYCKE. — 1957 — Bodenfräsen in der Forstwirtschaft. — *Allgem. Forstwirtschafts.*, 12, 7, 13 fév.
- LUTZ H.-J. — 1940 — Disturbance of forest soil resulting from the uprooting of trees. — *Yale Univ. Sch. of For.* Bul. 45.
- LUZE (de) — 1927 — Les drainages en forêt. — *Journ. For. Suisse*, mai.
- LYFORD W.-H., GOODLETT J.-C. et COATES W.-C. — 1963 — Landforms, soils with fragipans and forest on a slope in the Harvard Forest. — *Harvard Forest*, Bull. 30.
- MACAR I. et LECKWIJCK (W. van). — 1958 — Les fentes à remplissage de la région liégeoise. — *Ann. Soc. Géol. Belg.*, LXXXI, mai, p. B. 369-407.
- MAIGNIEN R. — 1954 — Formation de cuirasse de plateaux, Labe (Guinée fr.). — *C.R. 5<sup>e</sup> Congrès C.I.S.S. Léopoldville*.
- MAIGNIEN R. — 1956 — De l'importance du lessivage oblique dans le cuirassement des sols en A.O.F. — *Rapports 6<sup>e</sup> C.I.S.S.* Paris, V, 76, vol. E, p. 463-467.
- MALLET J. et LIWERANT J. — 1956. — Bouconne, chênaie dégradée du pays toulousain: Sols et peuplements. — *R.F.F.*, nov., p. 1-27.

- MALSTRÖM C. — 1931 — (Le risque d'une dégénération de sols forestiers en Suède septentrionale à cause d'une montée de la nappe souterraine, combinée avec un envahissement du sol productif par une couche de tourbe). — *Medd. Statens Sjöogsfärs*, 26, p. 1-162 (en suédois).
- \*MALTERRE H. — 1946 b — Contribution à l'étude des limons quaternaires du Bassin de Paris. — Amiens, 108 p.
- MALYCHEFF V. — 1929 à 1933 — Le loess. — *Revue de géographie physique et de géologie dynamique*. II (2), 1929, p. 147-182; III (4), p. 379-398, 1930; IV (3), 1931, p. 263-281; V (3), 1932, p. 323-361; VI (2), 1933, p. 131-164.
- MANGIN. — 1896 — Etudes sur la végétation dans ses rapports avec l'aération du sol. — *A.A.*, t. I, p. 1-64.
- MANIL G. — 1958 — L'humus forestier. — 2<sup>e</sup> partie, p. 24-25 (sols à pseudogley).
- MANIL G. — 1958 — Observations macromorphologiques microscopiques et analytiques sur les fentes de gel. — *Ann. Soc. Géol. Belg.*, t. 81, p. B 409-421.
- MANIL G. et PECROT A. — 1954 — Les sols forestiers oligotrophes du climat des Ardennes belges. — *C.R. V<sup>e</sup> Congrès Intern. Sci. Sol*, Léopoldville, IV, p. 441-446.
- MARAN B., LHOŤA O. — 1952 — (La signification de la composition et du traitement du peuplement forestier sur l'infiltration de l'eau dans le sol). — *Sborn. cal. Akad. zemed.*, 25, n<sup>o</sup> 6, p. 555-570 (en tchèque).
- MARÉCHAL R. — 1956 — L'étude des phénomènes périglaciaires en Belgique. — *Rapp. Comm. Morph. Périgl. U.C.I. Rio de Janeiro*, p. 83-98.
- MAROCKE R. — 1961 — Sols de l'Autriche orientale. — *Bull. A.F.E.S.*, p. 203-206.
- MARTIN J. — 1873 — Limon rouge et limon gris. Observations sur divers produits d'origine glaciaire en Bourgogne. — *Mém. Acad. Dijon*, 1871-1872, p. 1-160.
- MARTIN J.-B. (Abbé). — Sur quelques vicissitudes du lac bressan. — *B.S. Nat. Ain*, 50, p. 47-53.
- MATHIEU G. — 1932 — Contribution à l'étude de quelques rapports entre l'eau, le sol et la plante. — Thèse, Un. Clermont.
- MATHIEU G. — Voir BEL.
- \*MATHON Cl. Ch. — 1954 — Notes critiques à propos d'une brève étude de la végétation en forêt de Chaux (Jura). — *Bull. Soc. Hist. Nat. du Doubs*, 56, 1952, p. 49-68.
- \*MATHY W. — 1939 — Einfluss von Untergrundverdichtungen auf die Wasser und Luftbewegung in Boden. — *Diss. Halle Wittenberg et Kühn Archiv.*, 54, 1940.
- MAZENOT G. — 1938 — Sur le « limon ferrugineux » de la vallée de la Saône, aux environs de Tournus (feuille de Mâcon au 80 000<sup>e</sup>). — *B.S.C.G.F.*, XXXIX, n<sup>o</sup> 197, p. 187-188.
- MAZENOT G. — 1945 — Les lignites bessans. Le bassin lignitifère de Chauxmergy. — *B.R.G.G.*, n<sup>o</sup> 1, in-8<sup>o</sup>, 144 p., 35 cartes. Direction des Mines.
- MENGAUD P. — 1924 — Etude sur les boubènes du pays toulousain. — Toulouse.
- MERIAUX Mme S. — 1954 — Etude de quelques sols caractéristiques de la région de Dijon. — *A.A.*, 1952, II, 1953, V, et 3<sup>e</sup> pie, *Granulométrie*, VI, p. 985-993.
- MERIAUX Mme S. — 1958 — Stabilité structurale et composition des sols. — *C.R. Agr. Ac. Agr. Fr.*, p. 799-803.
- MERIAUX Mme S. — 1963 — Quelques faciès des sols du Dijonnais choisis dans la commune d'Arc-sur-Tille. — *Bull. A.F.E.S.*, p. 148-163 et 3 planches (profils 6, 8, 12).
- \*MERIAUX Mme S. et GILLY G. — 1958 — Considérations pédologiques sur le Val de Saône. — *A.A.*, V, p. 393-636.



- \*MERIAUX Mme S., GILLY G. et LAMONTRE B. — 1957 — Sur le lessivage des sols de la plaine de la Saône. — *B.A.F.E.S.*, janv., p. 715-727.
- MERIAUX Mme S. et PERREY. — 1964 — Caractères généraux et possibilités d'assainissement des sols hydromorphes de Montberthault (Côte-d'Or). — *B.A.F.E.S.*, 10, p. 397-430.
- MICHON J. — 1954 — Contribution expérimentale à l'étude, la biologie des lumbricidae. — Th. Poitiers.
- MILLOT G. — 1963 — Géologie des argiles. — Masson.
- MILLOT C., CAMEZ Th., WERNERT P. — 1957 — Evolution des minéraux argileux dans les loess et les lehms d'Achenheim (Alsace). — *Bull. Serv. Carte Géol. Als. Lor.*, t. 10, f. 2, p. 17-18.
- M'ONNIER G. — 1958 — Etude de quelques problèmes posés par l'utilisation des prairies dans l'amélioration des propriétés physiques du sol. — *Bull. A.F.E.S.*, p. 354-360.
- MÜCKENHAUSEN E. — 1950 — Über gleiartige Böden in Rheinland. — *Z.f. Pfl. D.B.*, 50, p. 97-117.
- \*MÜCKENHAUSEN E. — 1951 — Die Böden der Nordeifel. — *Zeits. f. Pfl. D.B.*, 54 (99) Bd., H. 2, p. 97-117.
- \*MÜCKENHAUSEN E. — 1954 — Die Beurteilung des Faktors Wasser bei den bodenkundlichen Kartierung. — *Forstarchiv.*, déc., p. 269-273.
- \*MÜCKENHAUSEN E. — 1956 a — Die Einteilung der Wasserbeeinflussten (hydromorphen) Böden Deutschland. — *6° C.I.S.S.*, vol. E, Paris, V. 18, p. 111-114.
- \*MÜCKENHAUSEN E. — 1956 c — Der Wasserhaushalt der Pseudogleye. — *Int. S.S. Cong. (Hamburg)*, II, p. 105-111.
- \*MÜCKENHAUSEN E. — 1958 a — Die Beurteilung des Grundwasser bei der forstlichen Standortaufnahme. — *Landw. Angew. Wissenschaft Hilfrup*, p. 31-43.
- \*MÜCKENHAUSEN E. — 1958 b — Der Wasserhaushalt der Pseudogleye und dessen Bedeutung für die Pflanze. — *Verhandl. der II u. IV. Kom. der Int. Bed. Ges. Halburg*, 1958, vol. II, p. 105-111.
- \*MÜCKENHAUSEN E. — 1958 c — Bildungsbedingungen und Umlagerung der fossilen Böden der Eifel. — *Forstsch. geol. Rheinl. u. Westf.*, 2, p. 495-502.
- \*MÜCKENHAUSEN E. — 1963 — Le Pseudogley. — *Science du Sol (Versailles)*, mai, n° 1, p. 21-29.
- \*MÜCKENHAUSEN E. — s.d. — Die wichtigsten Böden der Bundesrepublik Deutschland. — *Wissensch. Schriften des A.I.D.*, H. XV, Profil 42.
- MÜCKENHAUSEN E. et WORTMANN H. — 1954 — Die Böden Nordrhein Westfalens. — *Zeits. f. Pfl. D, B.* 87 (112) Bd, H 2, p. 97-116.
- \*MÜLLER K., HARTEL F., KRAUSS G.-A. et WORST W. — 1936 — Standortliche Gliederung des sächs. Elbänderbezirks. — *Thar. Forstl. Jb.*, 87, p. 697 à 746.
- NIKIFOROFF C.-C. — Voir DROSDOFF.
- \*NIKIFOROFF C.-C., HUMBERT R.-P., CADY J.-C. — 1948 — The hardpan in certain soils of the coastal plain. — *Soil Sci.*, 65, 2, p. 135-153.
- O.E.C.E. — 1952 — Ecologie des essences forestières américaines (chêne rouge, p. 124-125; pin Weymouth, p. 99-100).
- PEARSIB S. — 1907 — The level of subsoil waters with regard to forest. — *Ind. Forester*, 33, p. 57-69.
- \*PECROT A. et AVRIL P. — 1958 — Les sols ardennais. II. Etude morphologique et génétique des sols hydromorphes associés aux sols bruns acides et aux sols podzoliques du Plateau de Saint-Hubert. — *Bull. Institut. Agronom. et des Stat. d. Recherch. de Gembloux*, 26, p. 151-169.
- PECSI M. — 1965 — Les recherches concernant le quaternaire de Hongrie. — *Bull. trim. d'inf. géol.* — *B.R.G.G.*, n° 66.
- PEDRO G. — 1960 — Genèse des minéraux argileux par évolution des matériaux amorphes provenant de l'altération de diverses roches. — *C.R.A.S.*, p. 1697-1699.

- \*PERIGAUD Mme S. — 1961 — Problèmes posés par le drainage et l'irrigation des sols de Brenne. — *A.A.*, 12, 1, p. 145-155.
- PERIGAUD Mme S. — 1962 — Profil cultural et comportement physique des sols. — *C.R. Ac. Agr.*, fév., p. 189-194.
- PERIGAUD Mme S. — 1963 — La dynamique de l'azote dans les sols hydro-morphes. — *B.A.F.E.S.*, janvier, p. 1-58.
- PIERCE R.-S. — 1953 — Oxydation - Reduction Potential and specific conductance of ground water: their influence on naturel forest distribution. — *S.S.S.P.A.*, janv., p. 61-65.
- \*PLAISANCE G. — 1949 a — La forêt de Chaux. — *Rev. du Bois*, avril et juillet.
- PLAISANCE G. — 1949 b — Problèmes du taillis-sous-futaie. — *Bull. Com. forêts*, XIII, 82, p. 1180-1188.
- \*PLAISANCE G. — 1950 — Les assainissements par les moyens mécaniques. — *R.F.F.*, oct., 10, p. 553-563.
- \*PLAISANCE G. — 1953 a — Les chaînes de sols. — *R.F.F.*, sept., p. 565-577.
- PLAISANCE G. — 1953 b — Notions sur les catenas (et références bibliographiques). — *Bull. A.F.E.S.*, n° 44 (16 p.).
- PLAISANCE G. — 1953 c — Photographies aériennes et forêts dégradées. — *R.F.F.*, 11 (planches et fig. 2), p. 774-780.
- \*PLAISANCE G. — 1953 d — Observations sur les sous-sols marmoroides de certains sols de limons. — *C.R. Ac. Sci.*, 22 juin, t. 236, p. 2435-2437.
- PLAISANCE G. — 1953 e — Les limons à sous-sols marmoroides. — *Actes du Congrès A.F.A.S.* (Luxembourg), 753-754.
- PLAISANCE G. — 1955 — Enigmes et pièges de la pédologie. — *R.F.F.*, 13, p. 909-926.
- \*PLAISANCE G. — 1956 a — Les couches aquifères perchées à éclipses. — *6<sup>e</sup> Congrès Int. Sc. Sol.*, Paris, V, 90, p. 553-560.
- \*PLAISANCE G. — 1956 b — Les sols à similigley. — *Bull. A.F.E.S.*, 73 fév., p. 392-416.
- \*PLAISANCE G. — 1956 c — Procès-verbal d'aménagement de la forêt domaniale de Chaux, 3 vol. dactyl. (à consulter à l'Inspection des Eaux et Forêts de Dole).
- \*PLAISANCE G. — 1959 — Les problèmes pédologiques de la forêt de Chaux. — *B.A.F.E.S.*, août, p. 342-355.
- PLAISANCE G. — 1966 — Une conversion réussie. — *R.F.F.*, fév., p. 82-98.
- PLAISANCE G. et CAILLEUX A. — 1958 — Dictionnaire des sols. — La Maison Rustique (articles: Eau,...).
- \*PLAISANCE G. et VAN der MAREL H.-W. — 1960 — Contribution à l'étude des limons des plateaux de la forêt de Chaux (Jura). — *A.A.*, 1960, 11 (5), p. 601-620 — 1960, 11 (6), p. 661-711 — 1961, 12 (2), p. 249-269.
- PLAISANCE G. — Voir POCHON.
- POCHON J., PLAISANCE G. et de BARJAC H. — 1958 — Gleyfication et déboisement en forêt du Jura. Incidences microbiologiques. — *Ann. Inst. Pasteur*, t. 94, p. 226-229.
- POSER H. — 1948 — Boden und Klimaverhältnisse im Mittel und Westeuropa während der Würmeiszeit. — *Erdk.* Bonn II, 1-3, p. 53-68.
- POSER H. — 1951 — Die nördliche Lössgrenze in Mitteleuropa und das spätglaziale Klima, Eiszeitalter und Gegenwart. — I, p. 27-55.
- POURIAU. — 1858 — Etudes géologiques, chimiques et agronomiques des sols de la Bresse et particulièrement de ceux de la Dombe. — *Ann. Soc. Agric. Lyon*, 3<sup>e</sup> série, t. II.
- PREVOT P. et autres. — 1955 — Dégradation du sol et toxicité manganique. *Oléagineux*, 4, p. 239-243.
- PRUITT A.-A. — 1947 — A study of the effects of soils, water table and drainage on the height growth of Slash and Loblolly Pine plantations on the Hofmann Forst. — *J. For.*, 45, n° 11, p. 836.



- \*RICHARD F. — 1950 — Böden auf sedimentären Mischgestein im Schweizerischen Mittelland. — *Mitt. d. Schw. Anstalt f.d.f. Vers.*, XXVI, 2 (surtout p. 808-813, 819-826 et fig. 23).
- RICHARD F. — 1955 — Über Fragen des Wasserhaushaltes im Boden. — *Schw. Zeit. f. Forstw.*, 4, p. 1-23.
- \*RID H. — 1958 — Die Stellung der pseudovergleyten Böden im Acker und Pflanzenbau. — *Congrès Ass. Int. Sci. Sol*, Hambourg, 1958, vol. II, p. 99-104.
- RID. H. et autres. — 1960 et 1962 — Untersuchungen zur Dynamik Schwerer Böden. — *Bayer Landwirtsch.*, 34, 4 et 39, 1
- \*RIEDEL C.-E. et FRANC de FERRIÈRE J. — 1951 — Les sols et les climats de la Brie. — *Dir. Serv. Agric. de St-et-M.*, Melun.
- RIOU P. et DELORME G. — 1936 à 1939 — De la répartition du Mn et du Fe dans les principaux arbres à feuilles caduques du Québec. — *C.R. Ac. Sci.*, 1936, t. 203, p. 688; 1937, t. 205, p. 743; 1938, t. 207, p. 300; 1939, t. 208, p. 1671 (Sur le contenu en manganèse des plantes).
- ROISIN Paul. — 1961 — Recherches phytosociologiques dans les hêtraies ardennaises. — *Bull. Inst. Agr. et des St. de Rech. de Gembloux*, XXIX, 314.
- ROLLIER L. — 1907 — Sur la provenance des galets et des sables de la forêt de Chaux, près de Dole (Jura) et sur l'origine de la terre agraire en Franche-Comté. — *B. Soc. Agr. Haute-Saône*, p. 209-232.
- ROUSSEAU L.-Z. — 1960 — De l'influence du type d'humus sur le développement des plantules de sapin dans les Vosges. — Thèse Fac. Sci. Nancy (Action du manganèse). — *A.E.N.E.F.*, XVII, 1, 118 p.
- SCHENK E. — 1955 — Die Mechanik der periglazialen Strukturböden. — *Abh. des Hesse Landesamts f. Bodenforschung*, H 13.
- SCHMIEDEL H. — 1955 — Löss, Staublehne und Staubböden. — *Min. Geol. Jb.*, 5, H. 5, p. 915-922.
- \*SCHMIEDEL H. — 1958 — Beiträge zur Kenntnis pseudovergleyter Waldböden Sachsens. — *Diss. Tharandt*.
- \*SCHMIEDEL (Helmut). — 1963 — Die geologischen und regional standörtlichen Grundlagen der Pseudogley Ausbildung und Verbreitung in Sachsen. — *Arch. F. Forstw.*, 12 Bd, H. 2, p. 174-210. *Inst. Bodenk. Tharandt*.
- SCHMIEDEL H. — s.d. — (Notes sur les conditions géologiques des pseudogley et leur occurrence en Saxe). — *Arch. Forstw.*, t. 1 2, 2, p. 174-210.
- \*SCHNEIDER F. — 1950, 1954 — Übergangsbildungen von mineralischen Grundwasserböden und gleyartigen Böden (Pseudogleyen) in Nord West Deutschland. — *Diss. Bonn. et Zeitschr. f. Pfl.*, 65 (110), n° 1-3.
- \*SCHÖNHALS E. — 1951 — Fossile gleyartige Böden des Pleistozäns im Usinger Becken am Rand des Vogelsberges. — *Geol. Jg.*, 2.
- SCHÖNHALS E. — 1952 — Ergebnisse neuer Untersuchungen an Lössböden des Vogelberges. — *Notizbl. Hess. Landesamt. f. Bodenf. Wiesbaden*, 6, p. 307-340.
- SCHÖNHALS E. — 1957 — Späteiszeitliche Wird-Ablagerungen in dem Nördlichen Kalkalpen und die Entstehung der Buckelwieser. — *Natur und Volk*, 87, p. 317-328.
- SCHÖNHALS E. — 1961 — Über einige wichtige Löss- und fossile Böden in mittleren Saal und unterer Unstruttal. — *Geol. Jg.*, 10.
- SCHROEDER D. et SCHWERTMANN U. — 1955 — Zur Entstehung von Eisenkonkretionen in Böden-Naturw., 42, 9, p. 255-256.
- SIMONSON et ROY W. — 1951 — Description of mottling in soils. — *Soil. Sc.*, mars, 71, 5.
- SMITH Guy-D. — 1941 — Advantages and problems related to the field study of soil development. — *S.S.S.A.P.*, vol. 6, p. 78-82 (catena topographique, pan).

- SMITH G.-D. — 1942 — Illinois loess. Variations in its properties and distribution. — *Un. of Illinois Agr. Exp. St. B.*, 490, p. 139-183.
- SMITH G.-D. — 1946 — Siltpan subsoils in W. Virginia. — *Soil Sci.*, 62.
- \*SPAETH J.-N. et DIEBOLD C.-H. — 1938 — Some interrelationships between soil characteristics water tables, soil temperature and snow cover in the forest and adjacent open areas in south central New-York. — *Cornell. Univ. Agr. Exp. St.*, mars, 76 p.
- STEPHAN. — 1960 — Représentation triangulaire de la granulométrie des limons. — *Cahiers géologiques* n° 58-61, p. 603-614.
- STEVENS, CLARK LEAVITT. — 1931 — Root growth of white pine (*Pinus Strobus*). — *Yale Univ. Sch. Of. For. Bul.*, 32, p. 1-62.
- STOUT B. — s.d. — Species distribution and soils in the Harvard Forest. — *Bull.* 24.
- SWABY R.-J. — 1950 b — The influence of earthworms on soil aggregation. — *The J. of S.S.*, I, 2, p. 195-197.
- TABER S. — 1929 — Frost heaving. — *Journ. of Geol. Chicago*, XXXVII, n° 5, p. 428-461.
- TARDY. — 1886, 1887 — Nouvelles observations sur la Bresse. Résumé général et conclusions. — *B.S.G.F.* (3), XV, p. 82-133.
- \*TAVERNIER R. et MARECHAL R. — 1957 — Les sols à fragipan de la région condrusienne. — *Pédologie*, VII, p. 199-203.
- TELFER (David) et al. — 1957 — The restoration of a structurally degenerated soil. — *S.S.S.A.P.*, p. 131-134.
- TAVERNIER R. — 1945 — Phénomènes périglaciaires en Belgique. — *Bull. Soc. belge Et. géogr. Louvain*, 14, p. 112-133.
- THEOBALD N. — 1933 — Les alluvions du pliocène supérieur de la région du Sundgau. — *C.R.S.G.F.*, p. 124-126, 15 mai.
- THIRION-PUJOS J. — 1948 — La mesure expérimentale sur le terrain du pouvoir filtrant des sols arables. — *L'Eau*, 35°, 10, p. 169-173.
- TONNARD V. — 1955 — La pédogénèse dans la forêt de Saint-Michel. — *Bull. Inst. Agr. St. Rech. Gembloux*, XXIII, I, p. 66-89.
- TOURNOUER R. — 1882 — Nouvelles observations sur les terrains bressans. — *Bull. Soc. géol.*, 3° série, t. X, p. 264.
- TRICART J. — 1949 — Premiers résultats d'une étude des phénomènes périglaciaires dans les alluvions quaternaires de Basse-Alsace. — *C.R. som. Soc. Géol. Fr.*, Paris, 11-12, p. 224-227.
- TRICART J. — V. CASTELA.
- TRIEPIER L. — 1901 b — Les forêts en Bresse, Dombes et Revermont; la question du rosat. — *Bourg, Ann. Soc. Em. et Agric.*, 32 p.
- TROLL H.-J. — 1954 — Die Lupinen als Objekte verschiedener Forschungsrichtungen im Verlauf ihrer Anbauentwicklung. — *Vorträge aus den Gebieten Acker und Pflanzenbau Bodenk. und Pfl.*, p. 34-45.
- TURC L. — 1958 a — Influence de la fermentation d'une litière végétale sur la dynamique du fer dans un sol en place. — *C.R.A.S.*, t. 247, p. 1639-1642.
- TURC L. — 1958 b — Le bilan d'eau des sols. Relation entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. — Thèse, Paris.
- VAN der MAREL: Voir MAREL.
- VAULOT G. — 1910 — La forêt domaniale de Chaux, sa restauration. — *Bull. Soc. For. Fr. Comté*, juin, p. 604 et déc., p. 866. Voir aussi l'analyse d'un mémoire du même auteur dans le *Bull.* de sept. 1910, p. 775.
- WACHTER — 1916 et 1921 — Das Wurzelwachstum der Pflanzen unter bedenserer Berücksichtigung der Grundwasserverhältnisse. — *Mitt. d. Landesamt. f. Wasserhyg.*, E 21 et 26.
- \*WILDE S.-A. — 1940 — Classification of gley soils for the purpose of forest management and reforestation. — *Ecology*, 21, p. 31-44.



- \*WILDE S.-A. et al. — 1953 — Influence of the forest cover on the state of the groundwater table. — *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.*, 17, n° 1, p. 65-67.
- \*WILDE S.-A. and PRONIN D.-T. — 1950 — Growth of trembling aspen in relation to ground water and soil organic. — *S.S.S.A.P.*, 1949.
- WILDE S.-A. et ZICKER F.-L. — Influence of the ground water table upon the distribution and growth of aspen et jack. — *Notes* 30, Wis. St. Cons. Dept.
- WILLIAMS V.-R. — 1946 — *Traité de pédologie* (trad. du russe par le S.I.G.), p. 78-83.
- \*WINTERS E. — 1938 — Ferromanganesiferous concretions from some podzolic soils. — *Soil Sci.*, 45, p. 33-40.
- \*WINTERS E., SIMONSON R.-W. — s.d. — The Subsoil. — *Adv. in Agronomy*, 3, p. 2-92.
- WITTICH W. — 1959 — Die Verbesserung des Wasserhaushaltes durch Forstkulturmassnahmen. — *Allg. Forstz.*, 10, 5 p.
- WITTICH W. — 1961 — Der Einfluss der Baumart auf den Bodenzustand. — *Allg. Forstz.*, 2, 4 p.
- WITTICH W. et al. — 1958 — Auswertung von Düngungs und Meliorationsversuchen in der Forstwirtschaft. — *Ruhr Stickstoff Aktieng. Bochum*, 168 p.
- WITYN J. — 1934 — The gley process. — *Proc. IX, Agr. Congress. in Latvia, Riga*, p. 1-14.
- WYSSOTSKI G.-N. — 1905 — *Gley. Potschowowjedjeniz*, 7, p. 231-327.
- \*YASSAGLOU N.-J. and WHIRZQISZ Z.-P. — 1960 — Morphology and genesis of some soils containing fragipans in northern Michigan. — *S.S.S.A.P.*, v, 24, p. 396-407.
- \*ZAKOSEK H. — 1952 — Über die Deutung des Profilgepräges gleyartiger Böden. — Thèse.
- \*ZAKOSEK H. — 1954 a — Zur Beurteilung von Pseudogleyen. — *Zeitsch. f. Pfl.*, D, B, 65 (110) Bd, H. 1-3, p. 27-31.
- \*ZAKOSEK H. — 1954 b — Über die Bedeutung des Bodens für die Ergänzung der Grundwasservorräte. — *Z. Deutsch. Geol. Ges. Hannover*, Dez. Hannover, Bd 106, 1 T, p. 36-40.
- \*ZAKOSEK H. — 1954 c — Über die Pseudogleye in der Rheinpfalz. — *Notizbl. Hess. L. Anat. Bodenforsch.*, 82, p. 258-268.
- ZAKOSEK H. — 1954 d — Zur Beurteilung von Pseudogleyen. — *Z. f. Pfl. D. und B.*, 65 (110) Bd, H. 1 - 3, p. 27-31.
- ZAKOSEK H. — 1956 — Grundwasser und Staunässe. — *Zeitschr. f. Pfl. D.*, B. 74 (119) Bd., H. 3, p. 240-242.
- \*ZAKOSEK H. — 1960 — Durchlässigkeituntersuchungen an Böden unter besonderer Berücksichtigung der Pseudogleys. — *Abb. hess. L. Amt. Bodenforsch.*, 32, 63 p. Wiesbaden.
- ZAVALISHIN A.-A. — 1928 — Quelques observations sur la connaissance des sols avec un horizon de gley haut perché. Hommage à Glinka. — *Leningrad Sel. Sko. Khoz. Inst.*, p. 45-90.
- ZEUNER F.-E. — 1935 — Diluviale Frostspalten in Schlesien. — *Jb. geol. Ver. Oberschlesiens, Gleiwitz*, p. 97-105.
- ZITTI (RADU). — 1934 — *Molinia caerulea* Moench (Mélisque bleue). Etude botanique et toxicologique. — Thèse, Pharmacie Montpellier, n° 235, Impr. Marie Lavit, 112 p.
- ZON R. et AVERELL J.-L. — 1928 — The effect of drainage on forest growth. — *Jour. Agr. Eng.*, n° 6.
- ZUNKER. — 1950 — Die wasserwirtschaftliche Bedeutung des Waldes. — Vortrag Dresden.

PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES





I. Niveaux d'eau à 20 cm dans une fosse en taillis-sous-futaie.  
(Cl. PLAISANCE.)



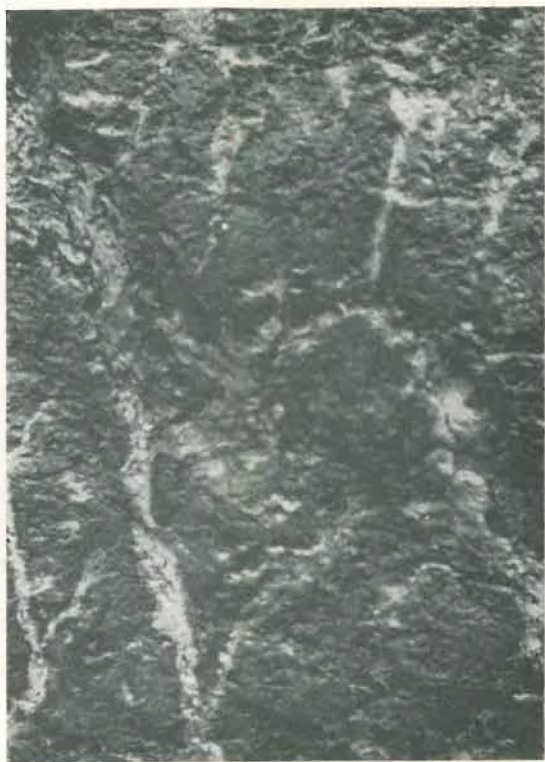
II. Sol de vide à molinie avec horizon délavé et plan d'eau.  
(Cl. TOULGOUAT.)





III. Sous-sol aliotique parfaitement consolidé.

(Cl. PLAISANCE.)



IV. Détail de sous-sol marbré; les trainées blanches très courtes sont dues aux racines, les autres résultent du jeu des fragmentations et de la pénétration des racines.

(Cl. PLAISANCE.)





V. Les vides à molinie vus d'avion dans la région de la Châtellaine.  
(Cl. I.G.N.)



VI. Trouée à molinie en X<sup>e</sup> Série  
(lacunes de la régénération lors de la conversion).  
(Cl. PLAISANCE.)



VII. Envahissement de la molinie après la coupe du taillis-sous-futaie,  
(Cl. PLAISANCE.)





VIII. Carte de la forêt de Chau en 1725 : dans le quart inférieur gauche (partie Nord-Est de la forêt) les zones avec petits numéros sont d'immenses vides. (Cl. BIGNON.)



IX. Embroussaillage par la bourdaine en bordure d'un vide:  
c'est un premier stade de reforestation.

(Cl. TOULGOUAT.)





X. Embroussaillement spontané préparatoire à la reforestation naturelle:  
la molinie n'est pas encore éliminée.  
(Cl. PLAISANCE.)



XI. Excavatrice à godets John Allen ouvrant une tranchée dans un vide.  
(Cl. PLAISANCE.)



XII. Charrue à deux versoirs pour l'ouverture des fossés.  
(Cl. PLAYSANCE.)





XIII. Vide traité par la méthode des billons à la charrue.  
(Cl. PLAISANCE.)



XIV. Destruction de la molinie par le hêtre sous son couvert.  
(Cl. PLAISANCE.)



XV. Peuplement de chênes rouges d'Amérique de la Première Colonne  
à 45 ans.

(Cl. PLAISANCE.)





XVI. Jeune futaie de hêtre provenant de conversion en X<sup>e</sup> série : âge 40 ans.  
(Cl. PLAISANCE.)



A La photographie du sol de Crissey 11 montre le sous-sol marbré (et consolidé), et le sol rendu grumeleux par l'action conjuguée des agents atmosphériques, de la végétation, et de la faune du sol, sur une épaisseur de 45 cm.





B Dans une trouée à molinie, le sol est noir et le niveau des marbrures est très élevé par suite de la persistance de la nappe aquifère perchée.



C En coupe horizontale, on distingue les polygones de fragmentation, probablement paléopédologiques et dus à une dessiccation cryogénique.





D Sur les marches de l'escalier (20 cm, 40 cm, 60 cm) on distingue les différences de la marmorisation.

## RÉSUMÉ

---

Pour étudier les sols marmorisés, plus fréquents qu'on ne le croit et bien représentés en forêt de Chaux, il fallait rappeler les conditions naturelles (climat, roche-mère, forme du terrain). Il fallait, ensuite, décrire leurs propriétés physiques (en particulier celle décisive, de l'eau stagnante à l'intérieur sous forme de nappe perchée, leurs propriétés chimiques et biologiques; puis décrire les types principaux et signaler quelques variantes. Enfin la marmorisation a été analysée: elle résulte d'un ensemble complexe de phénomènes anciens et de phénomènes actuels; elle revêt, d'ailleurs, des formes nettement différentes (marmorisation tachetée, marmorisation réticulée, concrétionnement).

Diverses comparaisons sur des couples d'échantillons permettent de mieux saisir la nature du phénomène.

L'étude des effets du sol sur la végétation et de la végétation sur le sol, éclairée par l'étude historique des dégradations conjointes des sols et des peuplements, débouche sur les applications sylvicoles: bases générales et techniques pratiques.

Après 22 ans d'expérience, nous considérons qu'une telle amélioration est possible par l'emploi conjugué de moyens naturels et d'autres semi-artificiels: la nappe aquifère perchée peut être contenue dans des limites plus étroites dans le temps et dans l'espace, et ses effets nocifs endigués; de la sorte, l'épaisseur meuble et vivante disponible pour les racines peut être accrue par reconquête de la couche médiane marmorisée et même par celle d'une partie du sous-sol consolidé, grâce à des mesures sylvicoles protectrices.

---



## ZUSAMMENFASSUNG

---

Um die marmorierten Waldböden, die häufiger vorkommen als man gewöhnlich annimmt, - der Wald von Chaux ist ein Beispiel dafür - zu untersuchen, mussten wir zuerst die natürlichen Bedingungen - Klima, Bodengestaltung und Muttergestein - darstellen. Desweiteren mussten wir auf die physikalischen Eigenschaften, insbesondere die Tagwasserrückstau die für diese Böden entscheidend ist, sowie auf die chemischen und biologischen Eigenschaften der marmorierten Böden eingehen, die wichtigsten Haupttypen beschreiben und auf einige Varianten hinweisen. Schliesslich haben wir die Marmorierung untersucht, und dürfen ihre Erscheinung durch das Zusammenwirken einer ganzen Reihe von älteren und neueren Vorgängen erklären. Die Marmorierung kann sich übrigens sehr unterschiedlich ausgestalten (fleckige Marmorierung, netzförmige Marmorierung, Konkretionen).

Mehrere paarweise Vergleiche zwischen Proben ermöglichen eine deutlichere Einsicht in die Verhältnisse dieser Erscheinung.

Die Untersuchung der Wechselwirkungen von Boden und Vegetation die durch geschichtliche Studien der gleichzeitigen Degradationen der Böden und der Bestände deutlich werden, erlauben Schlussfolgerungen auf die allgemeinen und praktischen Grundlagen der Waldbautechnik zur Meliorierung der marmorierten Waldböden.

Nach den Versuchen, die wir 22 Jahre lang durchgeführt haben, halten wir eine solche Verbesserung durch die gleichzeitige Verwendung von natürlichen und halb-künstlichen Mitteln für möglich. Wir können die zeitliche und räumliche Ausdehnung des stagnierenden Tagwassers einengen und dessen schädliche Wirkung abschwächen. Der den Wurzeln zur Verfügung stehende Bodenraum wird durch das Eindringen der Wurzeln in die marmorierte Mittelschicht und zu einem geringen Teil auch in den verdichteten Unterboden unter Anwendung waldbaulicher Schutzmassnahmen vergrössert.

---

## SUMMARY

---

To study the mottled soils, which occur more often than generally thought and are well represented in the forest of Chaux, it was necessary to go over the natural conditions (climate, parent material, configuration of soil). Then we had to describe their physical properties (particularly those essential of internal stagnant water as perched water table), their chemical and biological properties; then describe the main types and indicate some phases. Finally we analysed mottling: it results from the complex combination of elder and recent phenomena; it takes on extremely different forms (spotted mottling, reticulate mottling, concretion).

Some comparisons made with couples of samples show better the nature of that phenomenon.

The study of the interaction of soil and vegetation, supported by the historical study of the coexisting degradation of soils and stands, leads to silvicultural applications; general bases and practical methods.

The experiments have been carried on during 22 years, and we now consider that it is possible to achieve such an improvement if we jointly use natural means and semi-artificial means: the perched water table, in regard to time and space, can be restricted and its injurious effects reduced; in this way, the mellow and living layer, as room disposable for the roots, can be increased through the regainment of the mottled middle-layer, and even of a small proportion of the consolidated upper subsoil, by means of protective methods.

---



## TABLE DES MATIERES

---

Préambule .....	7
Introduction .....	9

### CHAPITRE I — CLIMAT

1. Caractéristiques contemporaines .....	11
1.1. Température .....	11
1.2. Précipitations .....	11
1.3. Indice d'aridité .....	11
1.4. Insolation .....	12
1.5. Etat hygrométrique .....	12
1.6. Brouillards .....	12
1.7. Evaporation .....	12
2. Influence du climat sur les sols .....	12

### CHAPITRE II — ROCHE-MERE ET SUBSTRAT

1. Substrat caillouteux .....	14
2. Limons supérieurs des plateaux .....	15
2.1. Histoire géologique .....	15
2.2. Dénominations et caractères généraux .....	19

### CHAPITRE III — LES FORMES DU TERRAIN

1. Massif de la forêt de Chaux .....	21
2. Autres régions .....	22

### CHAPITRE IV — PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

1. Texture .....	24
1.1. Etude des constituants .....	24
1.2. Etude d'ensemble .....	27
1.3. Conséquence de la texture .....	28
2. Structure .....	28
2.1. Formes de la structure .....	28
2.2. Stabilité de la structure .....	30
2.3. Densité apparente .....	35
2.4. Porosité .....	35

2.5. Compacité et dureté .....	36
2.6. L'air dans le sol .....	39
2.7. Surface spécifique .....	40
2.8. Température .....	40
3. Eau du sol .....	40
3.1. Formes de l'eau du sol .....	41
3.2. Teneur en eau (en poids) .....	41
3.3. Teneur en eau (en volume) .....	41
3.4. Potentiel capillaire .....	42
3.5. Contenu en eau .....	42
3.6. Humidité équivalente .....	43
3.7. Oxydo-réduction .....	43
3.8. Perméabilité .....	43
3.9. Bilan de l'eau .....	44
3.10. Nappe aquifère perchée .....	45
4. Résumé des propriétés physiques .....	48

#### CHAPITRE V — PROPRIÉTÉS CHIMIQUES

1. Fer .....	50
2. Aluminium .....	50
3. Silice .....	51
4. Equilibres entre $\text{SiO}_2$ et oxydes .....	51
5. Manganèse .....	51
6. Cations (ensemble) .....	51
7. Calcium .....	51
7.1. $\text{CaO}$ .....	51
7.2. Ca échangeable .....	51
8. Magnésium .....	52
9. Soufre .....	52
10. Phosphore .....	52
10.1. $\text{P}_2\text{O}_5$ total .....	52
10.2. $\text{P}_2\text{O}_5$ assimilable .....	52
11. Potassium K .....	52
11.1. $\text{K}_2\text{O}$ total .....	52
11.2. $\text{K}_2\text{O}$ échangeable .....	52
12. Matières organiques .....	53
13. Humus .....	53
14. Azote .....	53
14.1. Azote total .....	53
14.2. Azote minéralisable .....	53
14.3. Rapport carbone/azote .....	53



15. Tannin .....	53
16. Acidité .....	54
17. Minéraux argileux .....	54
17.1. Analyses .....	54
17.2. Ambivalence de l'argile .....	55
17.3. Propriétés physico-chimiques dues aux minéraux argileux.	55

#### CHAPITRE VI — PROPRIÉTÉS BIOLOGIQUES

1. Faune du sol .....	58
1.1. Mégafaune .....	58
1.2. Macrofaune .....	58
2. Microflore .....	59
3. Tests biologiques de fertilité .....	59
3.1. Semis de trèfle .....	60
3.2. Semis de lin .....	60

#### CHAPITRE VII — SYNTHÈSE DES PROPRIÉTÉS (Ensemble du profil)

1. Le profil et les 3 couches .....	62
2. Défauts .....	62
3. Sol et sous-sol .....	67

#### CHAPITRE VIII -- ASPECTS

1. Marbrures .....	68
2. Couleurs .....	70
3. Concrétions .....	72
4. Méthodes de description des sols .....	75
4.1. Caractères .....	75
4.2. Symboles de sols .....	75

#### CHAPITRE IX — VARIÉTÉS ET VARIANTES

1. Sol forestier à marbrures .....	77
1.1. Toposéquence .....	77
1.2. Accidents .....	77
2. Sols fortement hydromorphes des vides .....	78
2.1. Sols de dépressions .....	79
2.2. Sols de zones incendiées .....	79

3. Sols marmorisés de vallons .....	79
4. Sols marmorisés de pente .....	79
5. Sols à sous-sol plus argileux et plus riche .....	79
6. Sols regradés .....	80

#### CHAPITRE X — DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE

1. A l'intérieur de la forêt de Chaux .....	81
1.1. Dans l'ensemble .....	81
1.2. Dans le détail .....	81
2. Vallée de la Saône .....	81
3. En France .....	83
4. En Europe .....	83

#### CHAPITRE XI — ÉVOLUTION ANCIENNE

1. Actions anciennes des climats sur les cailloutis - Support des limons.	85
1.1. Rubéfaction .....	85
1.2. Ferrétisation .....	85
1.3. Cryoturbations profondes dans les cailloutis .....	86
2. Actions anciennes sur les limons de pentes .....	87
2.1. Actions cryergiques faibles .....	87
2.2. Lessivage latéral .....	87
3. Actions anciennes sur les limons des plateaux .....	87
3.1. Lehmification .....	87
3.2. Lessivage .....	87
3.3. Compacification, induration, cimentation .....	88
3.4. Marmorisation réticulée .....	88
3.5. Marmorisation tachetée .....	90
3.6. Création d'un microrelief .....	90
3.7. Solifluxion .....	91
3.8. Demi-boules de limon .....	91
3.9. Hypothèse de l'effacement de la marmorisation réticulée ..	92
3.10. Hypothèse des recouvrements .....	92
3.11. Hypothèse des emmarécagements localisés anciens .....	93
4. Evolution des minéraux argileux .....	94
4.1. Evolution présumée .....	94
4.1. Signification de cette évolution au point de vue de la genèse des sols bruns .....	94
4.3. Signification de cette évolution au point de vue de la mar- morisatation .....	95



5. Examen morphoscopique des grains .....	96
5.1. Sol de plateau .....	96
5.2. Fractions de sol marmorisé .....	97
5.3. Sol de pente .....	97
6. Résumé .....	98

## CHAPITRE XII — ÉVOLUTION RÉCENTE

1. Facteurs agissants .....	99
1.1. Facteurs premiers .....	99
1.2. Facteurs seconds .....	100
2. Notion de sols hérités .....	100
3. Evolution actuelle des sols marmorisés tachetés .....	101
3.1. Avec engorgement périodique par l'eau .....	101
3.2. Avec suppressions des engorgements .....	103
4. Evolution actuelle du sous-sol marmorisé réticulé .....	104
4.1. Avec engorgement périodique .....	104
4.2. Avec suppression des engorgements .....	105
5. Irrégularités .....	105
6. Dégradation des sols .....	106
7. Résumé des caractères généraux de la marmorisation .....	108

## CHAPITRE XIII COMPARAISONS

1. Comparaisons avec d'autres sols de la même forêt .....	109
1.1. Sols de position topographique différente .....	109
1.2. Sols sous végétation différente .....	111
1.3. Sols d'étangs .....	118
1.4. Sols dégradés .....	118
2. Comparaisons avec d'autres sols d'autres régions .....	120
2.1. En France .....	120
2.2. A l'étranger .....	120
3. Comparaison sommaire avec d'autres sols .....	120
3.1. Loess .....	120
3.2. Sols podzoliques .....	121
3.3. Sols à vrai gley (eugley) .....	121
4. Comparaison d'horizons marmorisés et non marmorisés .....	123
5. Comparaison des fractions grises et ocres (fractions voisines) .....	125
5.1. Propriétés physiques .....	125
5.2. Propriétés chimiques .....	125
5.3. Propriétés biologiques .....	125

CHAPITRE XIV — VÉGÉTATION

1. Flore actuelle .....	129
2. Les associations végétales .....	131
3. Peuplements forestiers .....	132
4. Histoire du couvert végétal .....	133
4.1. Histoire antérieure à 1875 .....	133
4.2. Histoire récente .....	135

CHAPITRE XV — EFFETS DU SOL SUR LA VÉGÉTATION

1. Défauts anciens et nouveaux .....	138
2. Valeur forestière Production ligneuse .....	139
2.1. Aspects quantitatifs .....	139
2.2. Qualité du bois .....	140
3. Enracinement .....	141
4. Circonstances diverses des effets du sol .....	142
4.1. Plus favorables .....	142
4.2. Défavorables .....	142

CHAPITRE XVI — EFFET DE LA VÉGÉTATION SUR LE SOL

1. Effets généraux du couvert végétal (analyse de son action) .....	144
1.1. Fonctions d'une végétation véritablement forestière .....	144
1.2. Conséquences pour le sol .....	147
2. Effets spécifiques du couvert végétal .....	150
2.1. Chêne rouvre et pédonculé .....	150
2.2. Chêne rouge d'Amérique .....	151
2.3. Hêtre .....	151
2.4. Aune .....	151
2.5. Charme .....	152
2.6. Tremble .....	152
2.7. Coudrier .....	152
2.8. Bouleau .....	152
2.9. Bourdaine .....	152
2.10. Robinier .....	152
2.11. Pin sylvestre .....	152
2.12. Pin Weymouth .....	153
2.13. Epicéa .....	153
2.14. Douglas .....	153
2.15. Les divers sapins .....	153
2.16. Essences de transition .....	153



2.17. Molinie .....	153
2.18. Callune .....	155
2.19. Genêt .....	155
3. Effet de la litière .....	155
4. Effet du découvert .....	156
4.1. Effets divers .....	156
4.2. Coupe rase .....	157
4.3. Equilibre .....	157
4.4. Dégradations conjuguées .....	158
5. Effets de pratiques forestières diverses .....	158
5.1. Effet du soutrage et de l'exploitation du fourrage .....	158
5.2. Effet du pâturage .....	159
5.3. Actions directes sur le sol par l'exploitation en forêt .....	159
5.4. Effet des défrichements et des cultures vivrières en forêt ..	159
5.5. Effet des incendies .....	160
6. Effet du traitement forestier .....	161

#### CHAPITRE XVII — BASES DE L'AMÉLIORATION

1. Etude par nature d'amélioration .....	164
1.1. Amélioration physique .....	164
1.2. Amélioration chimique .....	168
2. Action complexe des agents biologiques .....	169
2.1. Végétation .....	169
2.2. Faune .....	172
2.3. Comparaison entre les deux agents pédofaune et rhizosphère.	172
3. Etude par couche .....	173
3.1. Couche supérieure .....	173
3.2. Couche moyenne .....	173
3.3. Couche inférieure .....	174
4. Démarmorisation .....	174
5. Etude par nature du sol .....	176
5.1. Sol de vide .....	176
5.2. Sol ordinaire de forêt .....	176
6. Principes généraux qui résultent des analyses précédentes .....	176
7. Preuves de la possibilité de restaurer les sols à marbrures .....	178

#### CHAPITRE XVIII — TECHNIQUE DE L'AMÉLIORATION PAR LES MOYENS NATURELS (Pratique)

1. Mesures à prendre .....	181
1.1. Suppression des enlèvements de litière .....	181
1.2. Suppression de l'incinération des rémanents .....	181

1.3. Suppression du surpâturage et même du pâturage .....	181
1.4. Suppression des incendies .....	181
1.5. Maintien du taillis sur pied .....	182
1.6. Suppression de l'exportation des petits bois .....	182
1.7. Allongement de la révolution .....	182
1.8. Protection des oiseaux .....	182
2. Mesures prises dans la Forêt de Chaux .....	182
3. Effets à escompter .....	183
3.1. Effets pédologiques .....	183
3.2. Effets sylvicoles .....	183
4. Prospective végétale. Evolution naturelle théorique (pénéclimax)..	184

CHAPITRE XIX — AMÉLIORATION  
PAR LES MOYENS SEMI-ARTIFICIELS

1. Assainissement .....	185
1.1. Fossés simples .....	185
1.2. Rigoles (1.2.1.) et tranchage (1.2.2.) .....	185
1.3. Puisards .....	186
1.4. Drainage à la charrue-taupe .....	187
1.5. Explosifs agricoles .....	187
2. Culture du sol .....	187
2.1. Culture du sol superficiel .....	187
2.2. Culture du sous-sol .....	187
3. Remodelage de la surface .....	187
3.1. Buttes .....	187
3.2. Billons .....	187
3.3. Grands ados .....	187
4. Couverture artificielle de la surface .....	188
5. Amendements - Engrais .....	188
5.1. Amendements minéraux .....	188
5.2. Conditionneurs .....	189
5.3. Amendements organiques .....	189
5.5. Engrais minéraux .....	190
5.6. Roches volcaniques broyées .....	190
5.7. Activeurs biologiques .....	190
5.8. Inoculation de terre à très bonne activité biologique .....	190
5.9. Inoculations fauniques .....	190
6. Repeuplements artificiels .....	191
6.1. Principes généraux .....	191
6.2. Plantations .....	192
6.3. Semis directs .....	192
6.4. Evolution du paysage forestier .....	192
6.5. Bilan financier .....	192



CONCLUSION .....	194
ABRÉVIATIONS .....	197
BIBLIOGRAPHIE .....	198
RÉSUMÉ .....	235
ZUSAMMENFASSUNG .....	236
SUMMARY .....	237

### TABLE DES FIGURES

Figure

1 Profil-type d'une langue tabulaire .....	15
2 Genèse des sols en forêt de Chaux .....	17
2 bis Hypothèse des sédimentations diverses .....	18
3 Glacis de la Forêt de Chaux .....	22
3 bis Carte des plateaux .....	23
4 Profil textural de Crissey .....	25
5 Courbes cumulatives: comparaison avec les loess .....	26
6 Courbes de fréquence de granulométrie.....	26
7 Indice de stabilité de la structure .....	32
8 Enfouissement .....	37
9 Evacuation latérale de la nappe perchée .....	46
10 Profil Chaux I 14: propriétés physiques .....	63
11 Profil Chaux I 14: propriétés diverses .....	65
12 Aspects schématiques d'une coupe de sol .....	69
13 Répartition des types de sols .....	82
14 Lessivage latéral .....	86
15 Formation des concrétions .....	97
16 Irrégularités du sol et de la nappe .....	105
17 Coupe schématique .....	132
18 Les 3 écrans .....	139
19 Effet d'un arbre sur les niveaux d'eau .....	145
20 Démarmorisation - Ancienne carrière du Bizard .....	186
20 bis Démarmorisation - Butte de la M.F. du Grand Contour .....	186

N.B. On trouvera une carte pédologique du Quart Nord-Ouest de la forêt dans la Revue Forestière Française de septembre 1953.

### TABLE DES PLANCHES PHOTOGRAPHIQUES

#### Photographies en noir

I Niveaux d'eau .....	217
II Sol de vide .....	218
III Sous-sol consolidé .....	219

IV	Détail de sous-sol marbré .....	220
V	Photographie aérienne de vides .....	221
VI	Paysage de trouée à molinie .....	222
VII	Envahissement de la molinie .....	222
VIII	Carte de la forêt en 1725 .....	223
IX	Bourdaine .....	224
X	Embroussaillement spontané .....	225
XI	Excavatrice .....	225
XII	Charrue .....	226
XIII	Billons de charrue .....	227
XIV	Action du hêtre .....	227
XV	Chênes rouges d'Amérique .....	228
XVI	Hêtraie de conversion .....	229

Photographies en couleurs

A	Profil de sol (Crissey 11) .....	231
B	Profil de sol de moliniaie .....	232
C	Coupe horizontale de sous-sol .....	233
D	Coupe horizontale (marches d'escalier) .....	234