

UNE EXPÉRIENCE DE CHAULAGE SUR HUMUS BRUT

PAR

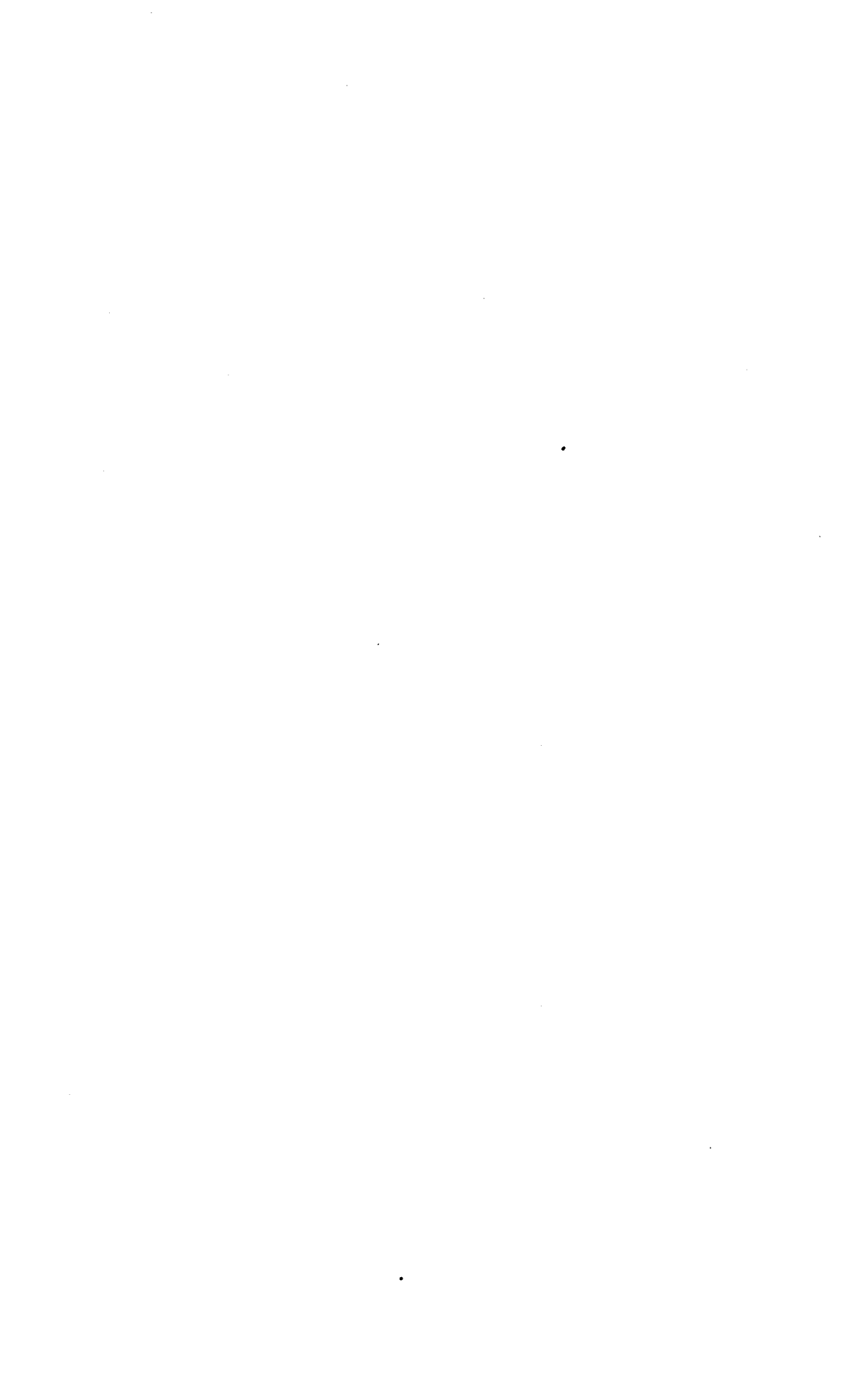
Ph. DUCHAUFOUR

Station de Recherches
et Expériences Forestières,
Nancy

et

J. GUINAUDEAU

Station de Recherches
et Expériences Forestières,
Annexe de Bordeaux



UNE EXPÉRIENCE DE CHAULAGE SUR HUMUS BRUT

I. — Introduction. But de l'expérience

En France, peu d'expériences de chaulage des sols forestiers acides ont été poursuivies jusqu'à ce jour : rappelons celles entreprises avant guerre, par A. OUDIN, sur des plantations de pins en sol acide de la forêt de Rambouillet et qui avaient donné des résultats positifs du plus grand intérêt (OUDIN, 1934).

Depuis la guerre, de nombreuses recherches sur ce problème de l'effet du chaulage ont été menées à bien dans divers pays. Il n'est pas possible de les citer toutes : citons seulement les travaux de BURGER (1952), WITTICH (1952), DIMBLEBY (1952), GALOUX (1954), qui s'imposent par leur particulière importance.

De toutes ces expériences, des résultats pratiques d'un très grand intérêt ont été tirés : le chaulage s'avère d'une utilité incontestable, lorsqu'on se trouve en présence d'un sol podzolique acide, caractérisé par une couche épaisse d'*humus brut* ou *Mor*, feutrage de matière organique à décomposition lente, se superposant au sol minéral sans se mélanger à lui. Ces humus bruts biologiquement inactifs, stériles au point de vue minéral, retenant l'azote sous une forme inassimilable et enfin physiologiquement secs en été, constituent un milieu particulièrement défavorable à la germination des graines et à la reprise des plants. Le chaulage est incontestablement un moyen, facile à mettre en œuvre, pour transformer cet humus et améliorer ses propriétés ; celles-ci évoluent progressivement vers les propriétés du Mull, en même temps que la microflore se modifie entièrement : c'est ce qu'a montré l'étude entreprise par l'un de nous au laboratoire, en collaboration avec F. MANGENOT (1956), sur l'évolution de l'humus brut, mis à incuber à l'étuve à 28° pendant plusieurs mois, après traitement préalable au carbonate de chaux.

Les expériences de chaulage des sols forestiers peuvent se concevoir de deux façons : Il est possible d'étudier l'effet du chaulage à *longue échéance*, pendant une longue durée de la vie du peuplement : c'est ce qu'ont fait des auteurs tels que BURGER et WITTICH, qui ont étudié l'évolution lente d'un humus traité pendant plusieurs décades. GALOUX a tiré des conclusions portant non seulement sur l'évolution de l'humus, mais aussi sur l'évolution du peu-

plement résineux traité, qui a montré une augmentation de rendement de l'ordre de 10 à 15 m³ en 30 ans.

Notre but est plus modeste: il est incontestable qu'à côté de l'influence progressive de la chaux sur l'humus brut — dont l'effet s'atténue d'ailleurs rapidement avec le temps — il existe une *influence immédiate*, de l'ordre de quelques mois, qui se manifeste par un « coup de fouet » donné à la microflore: il en résulte une transformation assez brutale, qui offre pour les forestiers et les reboiseurs une importance toute particulière, car ils ont la possibilité de la faire coïncider avec une période de rajeunissement — naturel ou artificiel — de la forêt. En ce qui concerne la « reprise » d'une plantation en particulier, elle est, nous le savons, grandement conditionnée par l'état de l'humus; il devient donc très utile de modifier les propriétés de l'humus, dans un délai très bref, quand elles sont défavorables. C'est donc cette action immédiate du chaulage, sur l'évolution de l'humus et la levée et la croissance d'un semis de pins, effectué peu de temps après, qui est l'objet de la présente étude.

Grâce aux différents travaux que nous avons cités, l'influence générale du chaulage sur l'évolution de l'humus dans ses grandes lignes est bien connue: il provoque une activation et une modification de la microflore, une minéralisation plus intense de l'azote, une synthèse plus active de composés humiques, dont la présence modifie l'aspect et la structure de l'humus (D. et MANGENOT, 1956): celui-ci évolue vers un Mull, non acide et bien incorporé à la matière minérale. Notre but n'est donc pas seulement de revenir sur cette action générale du chaulage, mais bien d'apporter certaines précisions, qui seront utiles au praticien. Ces précisions porteront sur trois points essentiels:

1° Influence des modalités de l'application de l'amendement: il importe, en particulier, de déterminer l'influence de la nature de l'amendement, de la dose et enfin du mode d'épandage: épandage en surface ou enfouissement.

2° Rapidité de l'évolution de l'humus, sous l'action de l'amendement: il importait, dans ces conditions, de faire une série d'analyses à intervalles réguliers (tous les 3 mois) et de mettre en évidence, à l'aide de courbes établies en fonction du temps, les variations des principales propriétés de l'humus traité.

3° Mode d'action du traitement sur la germination des graines d'espèces forestières et la croissance des jeunes semis; nous avons choisi comme espèce témoin, une espèce calcifuge, le Pin maritime, qui, pour être favorisée par l'opération, ne doit surtout pas souffrir d'un chaulage excessif.

II. — Méthodes

1° MÉTHODE D'EXPÉRIMENTATION SUR LE TERRAIN

L'expérience a été entreprise en 1955-1956 dans une propriété appartenant à la Société Forestière du Sud-Ouest, sur le territoire de la commune de Marcheprime (Gironde) au lieudit « Croix d'Hins », à environ 1 km au nord de la route nationale de Bordeaux à Arcachon (1).

Il s'agissait d'une parcelle de lande humide, peuplée autrefois de pins maritimes clairs, qui ont été brûlés avant 1940, à une date qu'il a été impossible de connaître exactement, alors qu'ils avaient environ 30 ans; les souches sont aujourd'hui complètement décomposées.

Sur la parcelle, un premier débroussaillage en plein avait été effectué en 1953, suivi en mars 1954 d'un deuxième débroussaillage par bandes de 1 m de large, de direction est-ouest, séparées par des intervalles de 2 m; dans les bandes a été fait alors un semis de Pin maritime qui a échoué presque complètement, notamment dans les parties submergées presque tous les hivers.

C'est précisément dans une partie où le semis avait presque complètement échoué qu'on a choisi le terrain d'expérience au début de 1955.

Le sol y était d'apparence très homogène, avec cependant les marques encore très visibles du 2^e débroussaillage par bandes.

La végétation comprenait essentiellement:

- de la Molinie (*Molinia caerulea*) très vigoureuse (8/10),
- et dans les intervalles des bandes quelques rejets de Brande (*Erica scoparia*) d'environ 40 cm de haut (1/10),
- quelques pieds d'Ajonc nain (*Ulex nanus*) (1/10),
- et beaucoup plus rarement quelques Callunes (*Calluna vulgaris*) et quelques Bruvères quaternées (*Erica tetralix*).

Les travaux d'assainissement effectués autour de la parcelle et le climat plus sec depuis la fin 1954 ont évité toute remontée du plan d'eau à la surface, depuis janvier 1955.

Malgré l'homogénéité apparente du sol, il a été jugé indispensable de faire plusieurs répétitions; d'ailleurs les prélèvements effectués dès février 1955 ont donné à l'analyse des différences assez notables d'un point à l'autre, surtout en ce qui concerne le rapport C/N et la quantité de matière organique du sol.

(1) Nous tenons à remercier tout particulièrement M. LALLEMAND, directeur de la Société Forestière du Sud-Ouest, qui a bien voulu donner l'autorisation d'utiliser un terrain; la Société a participé financièrement à l'expérience. Sur le terrain, M. LAGESTE, agent de la Société à Croix d'Hins, nous a prêté un concours dévoué, en surveillant les travaux de préparation du sol et les semis, et en piquetant lui-même les emplacements des placeaux.

Etant donné qu'avec les témoins on a voulu essayer cinq modalités différentes, il était commode de prévoir cinq répétitions avec une disposition en carré latin, dont le schéma est donné dans la figure 1 : à priori, en effet, il était impossible de présumer que les différences de sol variaient suivant une orientation déterminée plutôt que dans une autre, et dans ces conditions l'adoption du carré latin paraissait tout indiquée.

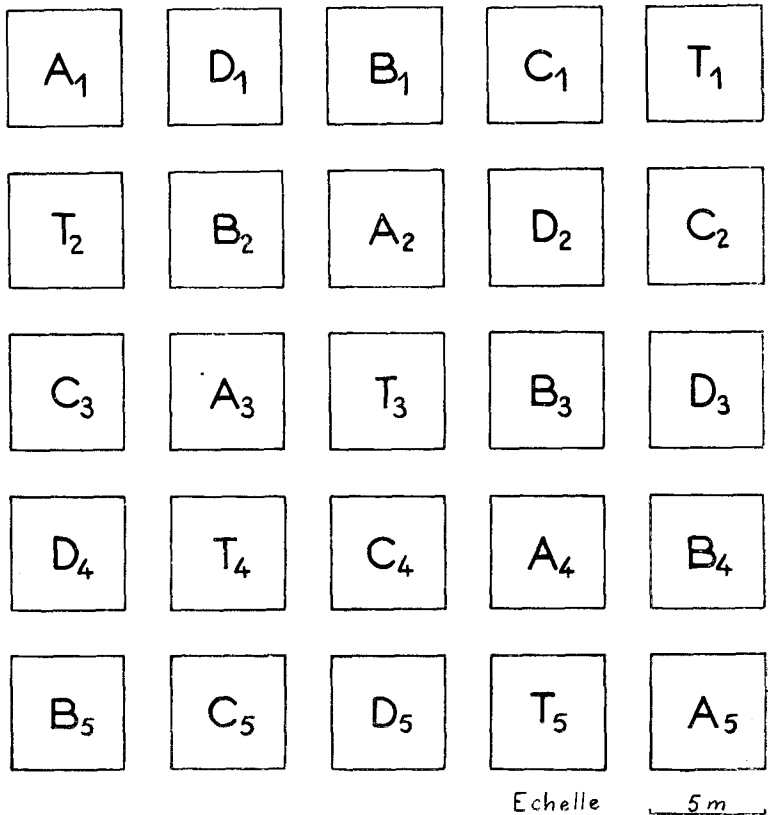


FIG. 1.

Comme dimensions des placeaux, on a adopté des carrés de 5 m de côté :

- des dimensions plus importantes auraient facilement entraîné des variations considérables entre les différents points des placeaux, et il aurait été difficile de comparer les résultats obtenus pour chaque placeau par des analyses d'échantillons faites à différentes époques,

— mais des placeaux plus petits n'auraient pas permis de suivre de façon efficace la levée des semis et d'évaluer leur nombre et leurs dimensions.

Une expérience antérieure avait permis de se rendre compte que deux échantillons pris sur le même placeau, à des époques différentes, ne sont pas absolument comparables, même si les placeaux sont petits, si l'on ne prend pas soin d'homogénéiser le prélèvement en récoltant, sur le placeau, plusieurs petites fractions qui sont ensuite mélangées dans l'échantillon global.

Chaque prélèvement a donc fait l'objet d'une récolte de quelques dizaines de grammes en 3 ou 4 points différents et pris au hasard, sur chaque placeau; c'est l'ensemble de ces récoltes qui a constitué l'échantillon représentatif du placeau. Chaque échantillon comprenait ainsi, par placeau, 200 à 300 g de terre récoltés dans l'horizon A_0 entre 0 et 5 cm de profondeur environ.

Avant toute expérience, un prélèvement d'échantillons a été effectué le 22 février 1955. Puis les placeaux ont été piquetés. Le choix des modalités a été laissé au hasard, en respectant cette seule condition: que la même modalité ne se retrouve qu'une fois sur chaque ligne, dans le sens est-ouest, et une fois sur chaque rangée dans le sens nord-sud.

Un débroussaillage en plein a été effectué sur l'ensemble de la place à l'aide d'un tracteur et d'un débroussailleur lourd Darriet, passant dans deux sens perpendiculaires, au début de mars 1955.

Puis les quantités suivantes de chaux ou de carbonate de chaux ont été répandues uniformément sur le sol de chaque placeau:

- *Placeaux A*: 10 kg de chaux, soit 4 tonnes à l'hectare.
- *Placeaux B*: 10 kg de carbonate de chaux (47 % CO_3Ca), soit 4 tonnes à l'hectare,
- *Placeaux C*: même dosage que pour les placeaux B,
- *Placeaux D*: 20 kg de carbonate de chaux, soit 8 tonnes à l'hectare.
- *Placeaux T*: témoins non chaulés.

Sitôt après l'épandage, vers la mi-mars, un bêchage à la main a enfoui, à environ 15 cm de profondeur, les amendements calciques déposés sur le sol, dans les placeaux A, B, D (dans les placeaux C, le carbonate est resté simplement à la surface du sol).

Les placeaux T (témoins) n'ont pas été bêchés aussitôt, mais on s'est aperçu par la suite qu'il était nécessaire de pratiquer un bêchage pour que la graine arrive utilement au sol et germe. Ce bêchage a donc été effectué au début d'avril, au moment du semis.

Tous les placeaux ont été semés de façon uniforme au début du mois d'avril, à l'aide de 2 kg de graine de Pin maritime de bonne qualité, récoltée à Mimizan (Landes) en 1954.

Des prélèvements d'échantillons ont été effectués par la suite, à l'intervalle de 3 à 4 mois, pour pouvoir suivre de très près l'évo-

lution de l'humus; ces prélèvements ont été faits aux dates suivantes :

- 21 mai 1955,
- 1^{er} septembre 1955,
- 20 décembre 1955,
- 13 avril 1956.

A dater du 1^{er} septembre, les premiers résultats d'analyse ayant montré l'importance considérable du travail du sol sur l'évolution de l'humus, 3 à 5 prélèvements supplémentaires ont été effectués chaque fois dans un terrain pris à proximité immédiate de la place d'expériences et qui n'avait été ni travaillé, ni amendé, ni semé (témoin non travaillé, désigné dans l'exposé par les initiales Tnt).

En résumé, nous indiquons dans le tableau suivant le traitement des différents placeaux :

Placeaux	Nature de l'amendement	Dose à l'ha	Mode d'incorporation
A	chaux	4 t	enfoui
B	carbonate	4 t	enfoui
C	carbonate	4 t	épandage en surface
D	carbonate	8 t	enfoui
T		0	sol travaillé
(Tnt)		0	sol non travaillé

N. B. — Les doses n'ont pas été fixées au hasard, mais d'après les résultats des expériences poursuivies au laboratoire et déjà mentionnées. D'après ces expériences, la neutralisation d'une épaisseur de 1 cm d'humus brut, sur une surface de 1 m², nécessite environ 100 g de CO₃Ca pur, ce qui représente 1 tonne à l'ha.

Si l'on tient compte du fait que les humus étudiés au laboratoire étaient plus acides que ceux de la place d'expérience, que d'autre part le CO₃Ca utilisé dans l'expérience contient 50 % environ d'impuretés, la dose de base de 4 t de carbonate/ha paraît suffisante pour neutraliser un horizon A₀ de 2 à 4 cm. S'il y a enfouissement, il est évident que le pH obtenu doit être plus faible, l'amendement se trouvant réparti également au sein des horizons A₁. Mais il ne faut pas oublier que la neutralité représente un pH maximum et que le pH qu'on veut obtenir doit être nettement inférieur.

2° MÉTHODES D'ÉTUDE DES HUMUS AU LABORATOIRE

Les méthodes analytiques mises en œuvre sont, pour une large part, les mêmes que celles qui ont été utilisées au cours des expériences poursuivies au laboratoire: la comparaison est ainsi plus aisée. Elles permettent de dégager certaines valeurs caractéristiques de l'évolution des humus.

1 — Le pH, complété par le dosage du calcium échangeable, renseigne sur l'action du chaulage sur le complexe absorbant; ce dernier subit, en effet, une saturation plus ou moins complète.

2 — La matière organique totale et le carbone.

Ces éléments ont été déterminés lors de chaque analyse: mais comme, dans la majorité des cas (sauf placeaux C et Tnt), le sol a été travaillé, on note une diminution considérable de la matière organique, due à la « dilution » de celle-ci par suite de son mélange avec les horizons minéraux sableux sous-jacents.

3 — Le rapport C/N.

C'est le meilleur critère chimique, susceptible de caractériser les humus. L'activité biologique de la matière organique, sa vitesse de décomposition, vont de pair avec sa richesse en azote: celle-ci s'exprime de manière satisfaisante par le rapport C/N; toute baisse du rapport C/N indique donc une augmentation de l'activité biologique, donc de la minéralisation de la matière organique.

L'intérêt du rapport C/N c'est qu'il est indépendant de la proportion de matière minérale (sables) mélangée à l'humus. Il permet donc une utile comparaison de l'état de l'humus, avant et après le travail du sol.

4 — La teneur en azote minéral.

Elle renseigne sur l'activité minéralisatrice des humus: l'azote total est en effet, le plus souvent, « stocké » sous une forme organique, donc inassimilable pour les plantes. Seul l'azote minéral, c'est-à-dire ammoniacal et nitrique, peut être absorbé par celles-ci. Il est donc intéressant de voir, dans quelle mesure le chaulage active la production d'azote minéral; notons que, dans le cas particulier, il n'y a jamais eu nitrification, seul l'azote ammoniacal a donc été porté dans les tableaux.

Rappelons, très brièvement, les méthodes de dosage adoptées.

Matière organique et carbone: Comme il s'agit de matière organique mélangée à quelques impuretés sableuses, la calcination constitue la méthode la plus précise. Le rapport matière organique/carbone admis généralement pour ce type d'humus est 1,72 (mode d'expression: en % de la matière sèche).

Azote total: Méthode Kjeldahl.

Azote minéral: Déplacement par agitation en présence de $\text{CaCl}_2 \text{ N}$; distillation en présence de MgO , dosage d'azote ammoniacal; réduction de l'azote nitrique par l'alliage Dewarda et dosage sous forme ammoniacale (mode d'expression: en mg/100 g de matière sèche).

Calcium échangeable: Percolation lente de 10 g d'humus par 250 cm^3 d'acétate d'Am. N à pH 7; dosage au photomètre à flamme (mode d'expression: en milliéquivalents pour 100 g de matière sèche).

3° MÉTHODE D'INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS. ETABLISSEMENT DES COURBES.

L'ensemble des résultats de nos recherches est consigné dans les tableaux analytiques, qui figurent en annexe. L'interprétation statistique des chiffres obtenus a été effectuée par une méthode graphique: 4 valeurs fondamentales ont pu être exprimées ainsi par des courbes, établies en fonction du temps.

Ce sont: 1) La matière organique totale. 2) Le pH. 3) Le rapport C/N. 4) Le calcium échangeable.

Un graphique concernant l'azote minéral aurait pu présenter un grand intérêt, mais il n'était pas utile étant donné la production constamment très faible d'azote minéral, phénomène que nous interpréterons plus loin.

Chaque point des différentes courbes est donc un « point moyen », qui traduit 5 résultats analytiques correspondant aux 5 répétitions: ce point moyen ne correspond réellement à la moyenne arithmétique des résultats que dans le cas où les 5 points obtenus sont bien groupés. Si, au contraire, un des résultats est aberrant et donne sur le graphique un point éloigné du groupe des 4 autres, l'ordonnée du point moyen est déterminée essentiellement en fonction de ce groupe, puis déplacée ensuite légèrement, vers le haut ou vers le bas, suivant la position du point aberrant. Les témoins non travaillés (Tnt) ont été figurés sur les graphiques, à l'aide de croix (+).

On obtient ainsi des courbes, qui offrent un double avantage sur les calculs statistiques habituels: 1) elles sont moins compliquées et elles s'interprètent immédiatement; 2) elles renseignent sur l'évolution dans le temps des humus traités beaucoup mieux qu'une série de chiffres.

4° CARACTÈRES DES HUMUS ÉTUDIÉS

Dans l'ensemble, ils sont relativement homogènes: ce sont des humus bruts offrant un horizon A_0 de structure fibreuse, d'une épaisseur de 2 à 5 cm, reposant sur un horizon A_1 sableux de couleur noirâtre. Les analyses effectuées avant traitement (prélèvement février 1955) et qu'on trouvera en annexe dans le tableau I montrent la relative homogénéité de ces humus: les indices sont très caractéristiques: acidité forte, pH 4 à 4,4; matière organique, mélangée à des grains de quartz, présentant des valeurs assez variables suivant le mode de prélèvement (c'est la raison pour laquelle cette valeur présente un intérêt moindre); rapport C/N très élevé, généralement supérieur à 25 et pouvant dépasser 40; taux de calcium échangeable relativement assez élevé pour un humus brut, oscillant entre 3 et 10 milliéquivalents/100 g.

Il s'agit donc d'un humus brut, encore modérément acide et relativement riche en bases. Si on tient compte du fait que son épaisseur est réduite, il est évident que *cet humus brut est justiciable d'un chaulage léger*, si on le compare à d'autres types de Mor très épais et très pauvres en bases échangeables (Mor de podzols sur grès vosgien, p. ex.). Cette observation justifie les doses relativement faibles d'amendement, qui ont été adoptées pour ces expériences.

III. — Evolution de la végétation et des semis

Lors de chaque visite effectuée à l'occasion de chaque prélèvement d'échantillons, un examen détaillé de la végétation et plus spécialement des semis de Pin maritime a été effectué.

VÉGÉTATION SPONTANÉE

La végétation spontanée ne paraît pas avoir été influencée en quoi que ce soit par les différentes modalités adoptées sur les placeaux. La Molinie a reverdi au printemps 1955 de façon très rapide, seul le bêchage du sol a diminué sa vigueur dans les premiers mois. Dans les placeaux C et les témoins non travaillés, elle est restée aussi vigoureuse et aussi verte qu'auparavant.

Mais, en décembre 1956, les placeaux C, non travaillés, et la lande extérieure à la place d'expériences, ne portent que des tiges fructifères de Molinie peu vigoureuses et disséminées, les placeaux travaillés, chaulés ou non, portent des tiges fructifères très denses et très vigoureuses, dont la hauteur dépasse parfois 1 m: il semble que le travail du sol ait en définitive nettement favorisé la fructification de la Molinie, sans que le chaulage ait agi en quoi que ce soit sur elle.

SEMIS DE PIN MARITIME

La germination a commencé à s'effectuer seulement vers le 15 mai, de façon encore très sporadique (il avait plu extrêmement peu en avril 1955: le poste de météorologie voisin de l'Hermitage a enregistré seulement 0,8 mm). Cependant, aucune fonte des semis n'a pu être constatée, comme on aurait pu le craindre, même dans les

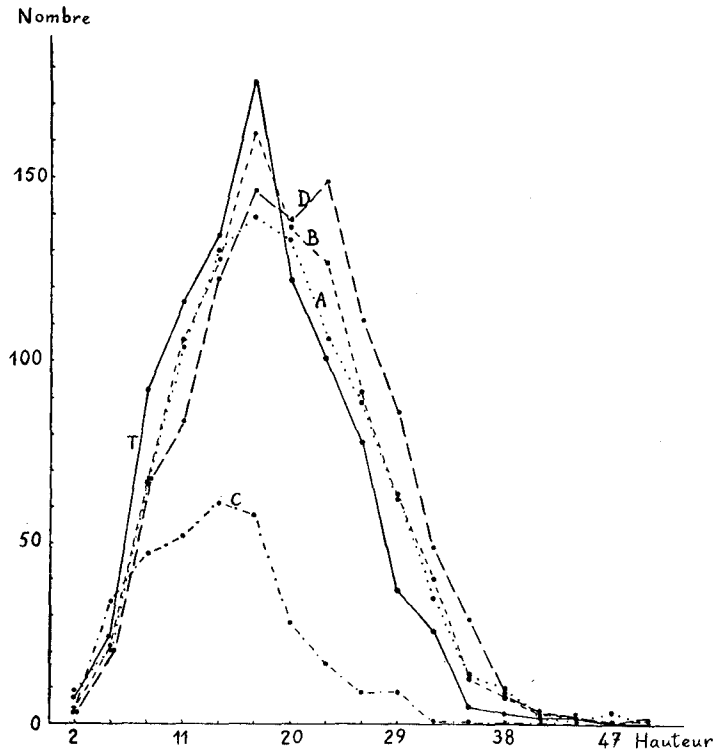


FIG. 2.

placeaux fortement chaulés, où l'activité des champignons, cause de la fonte, aurait pu être augmentée par l'élévation du pH.

En vue de l'interprétation de l'action des différents traitements sur le développement des semis, un inventaire *complet* des semis de toute la place d'expériences a été effectué par placeau, entre le 15 et le 24 décembre 1956.

Sur les mesures de hauteur, une erreur absolue de 2 cm en plus ou en moins a pu être commise, suivant la façon dont la règle qui

servait à la mesure a été placée d'un côté ou de l'autre du semis, étant donné les petites inégalités du sol. C'est pourquoi il a paru utile de grouper les mesures qui avaient été faites en centimètres par classes de 3 cm.

Les résultats généraux de cet inventaire sont indiqués d'une part par les graphiques de la figure 2, qui donnent la répartition du nombre de semis par classes de hauteur de 3 cm, pour les 5 modalités de l'expérience (A, B, C, D, T), d'autre part par le tableau ci-après qui indique, pour chaque placeau: le nombre total de semis et la hauteur moyenne; notons que la hauteur moyenne d'ensemble a été obtenue, pour chaque essai, en prenant, non la moyenne générale, mais la moyenne des moyennes par placeau. Ce sont ces chiffres qui ont servi de base au calcul statistique, qui a été effectué par MM. LEMOINE et MAUGÉ, assistants à la Station de Recherches et Expériences Forestières.

Nombre et hauteur des semis

Numéro des placeaux	1	2	3	4	5	Total
<u>Placeaux A:</u> nombre	56	265	155	200	248	925
hauteur moyenne	20,3	20,8	19,1	20,2	15,3	19,14
<u>Placeaux B:</u> nombre	82	165	269	286	166	968
hauteur moyenne	17,9	19,9	17,3	20,8	18,2	18,82
<u>Placeaux C:</u> nombre	49	104	34	63	50	320
hauteur moyenne	13,3	12,7	14	15,8	14,2	14,00
<u>Placeaux D:</u> nombre	62	218	443	107	188	1 018
hauteur moyenne	17	20,8	20	21,9	19,5	19,84
<u>Placeaux T:</u> nombre	107	148	254	163	253	925
hauteur moyenne	14,1	16,3	19,7	16,2	16,7	17,00

a) *Nombre de semis.*

Le rapport de la variance entre traitements et de la variance résiduelle est égal à 45,2, donc on peut dire que l'influence des traitements est significative au seuil de 5 %.

Si l'on classe les moyennes de nombres de semis par modalité, dans l'ordre croissant, en faisant les différences entre chacune d'elles, on trouve les chiffres suivants :

— <i>Placeaux:</i>	C	T et A	B	D
— <i>Nombre de semis:</i>	64	185	194	204
— <i>Différence:</i>		121	9	10

La variance des différences de moyennes étant égale à 208,45, l'écart minimum significatif serait de 32 au seuil de 5 %.

Donc, la différence entre les placeaux C d'une part, l'ensemble des placeaux A, T, B, D d'autre part est très significative en faveur de ces derniers ; par contre, les faibles différences constatées entre les placeaux A, T, B, D n'ont aucune signification au sens statistique.

b) *Hauteurs des semis.*

Une première analyse a permis de montrer que l'influence du traitement est très probable, le rapport de variance entre traitements et de la variance résiduelle étant égal à 12,7.

Les différences de moyennes entre les essais sont indiquées dans le tableau suivant :

	C	T	B	A
T	3,00			
B	4,82	1,82		
A	5,14	2,14	0,32	
D	5,84	2,84	1,02	0,70

L'étude de la variance des différences de moyennes de hauteurs montre qu'elle est voisine de 0,8685, ce qui donne au seuil de signification de 5 % un écart de 2,03.

En d'autres termes, des écarts égaux ou supérieurs à 2,03 peuvent être considérés comme significatifs.

Dans ces conditions, on peut considérer comme particulièrement significatif l'écart constaté entre les placeaux C et tous les autres : l'absence de travail du sol et le chaulage en surface sont nettement nuisibles, à la réussite du semis.

Sont encore significatifs les écarts entre les témoins travaillés non chaulés (T) et tous les autres placeaux travaillés et chaulés : l'ap-

port d'amendement exerce donc un effet incontestablement utile sur la croissance des semis, dès la 1^{re} année (1).

Par contre, les diverses modalités d'apport de l'amendement dans les placeaux travaillés (A, B, D) ne sont accompagnées d'aucune différence significative, en ce qui concerne la croissance des semis : constatons seulement que les écarts s'ordonnent bien dans le sens des doses croissantes : B — A — D.

IV. — Evolution des sols sous l'influence des traitements effectués

L'interprétation d'ensemble des résultats de nos expériences sera faite en grande partie, à la lumière des résultats obtenus au cours des études au laboratoire, effectuées par l'un de nous en collaboration avec F. MANGENOT (1956). Nous étudierons d'abord l'influence générale du chaulage et ensuite nous envisagerons successivement les actions des différentes modalités de ce chaulage (fig. 3, 4, 5 et 6).

1^o INFLUENCE GÉNÉRALE DU CHAULAGE

Lorsqu'on examine l'ensemble des courbes obtenues, on est immédiatement frappé par un fait significatif : les courbes correspondant aux placeaux C (simple application en surface) offrent une allure très différente des autres. Tous les autres traitements, au contraire, donnent des courbes très comparables entre elles : c'est cette action commune que nous interpréterons tout d'abord, nous réservant de revenir ultérieurement sur l'influence particulière de l'application en surface de la chaux.

pH.

Le pH s'élève rapidement et atteint une valeur maxima de l'ordre de 5,5 ou 5,6 ; ensuite, on note une baisse progressive. A première vue, cette valeur de 5,5 peut paraître insuffisante. Si on désire transformer entièrement un humus brut en humus biologiquement plus actif ayant les propriétés du Mull, nos expériences de laboratoire ont montré en effet que ce résultat ne pouvait être obtenu qu'à un pH très voisin de la neutralité, soit 7. Mais il semble bien que, dans ce cas, l'optimum pour la reprise et la croissance des résineux soit dépassé. Ainsi, la végétation des semis de Pin sur les placeaux C, qui ont un pH égal ou supérieur à 7, est nettement moins bonne que celle des autres placeaux. Dans une communication présentée au Congrès des Stations de Recherches à Oxford, l'un de

(1) En réalité, l'écart 1,82 entre T et B n'est pas significatif, au sens statistique, au seuil de 5 % : on peut cependant le considérer comme tel, étant donné que les écarts entre les doses ne sont pas significatifs entre eux et que, d'autre part, ils s'ordonnent bien dans le sens des doses croissantes.

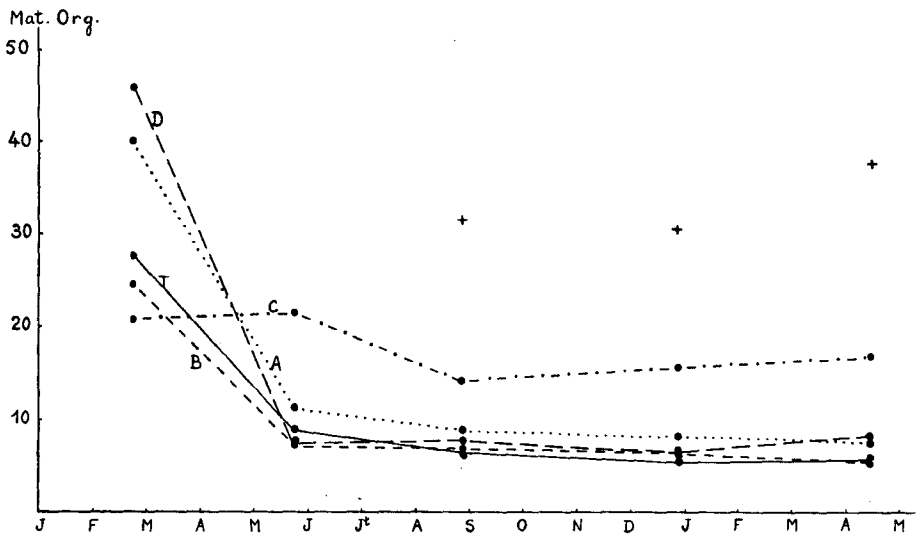


FIG. 3.
Evolution de la matière organique.
(Les croix indiquent les témoins non travaillés.)

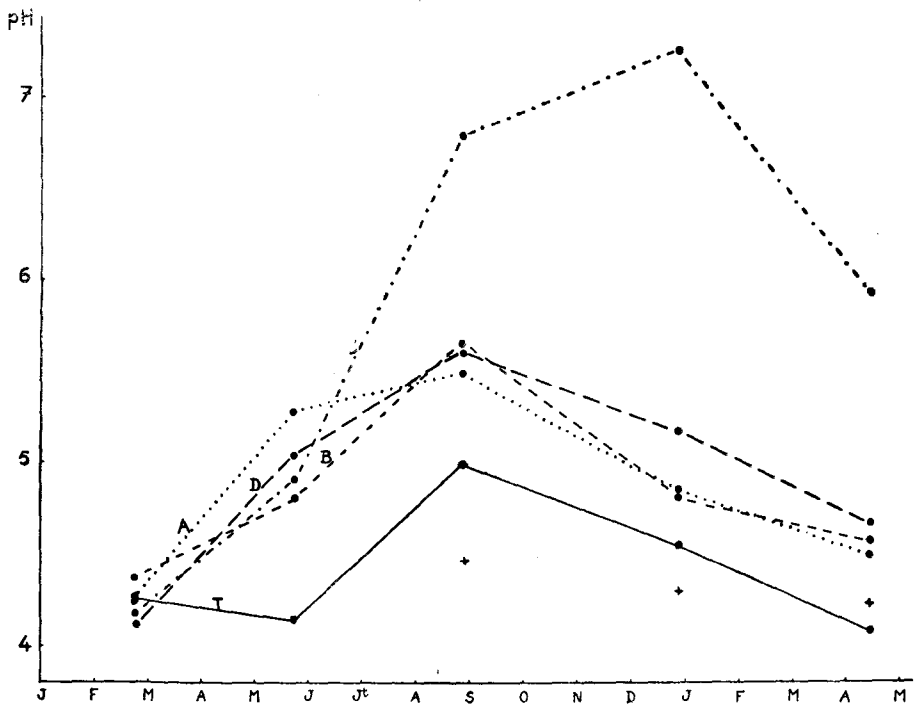


FIG. 4.
Evolution du pH.

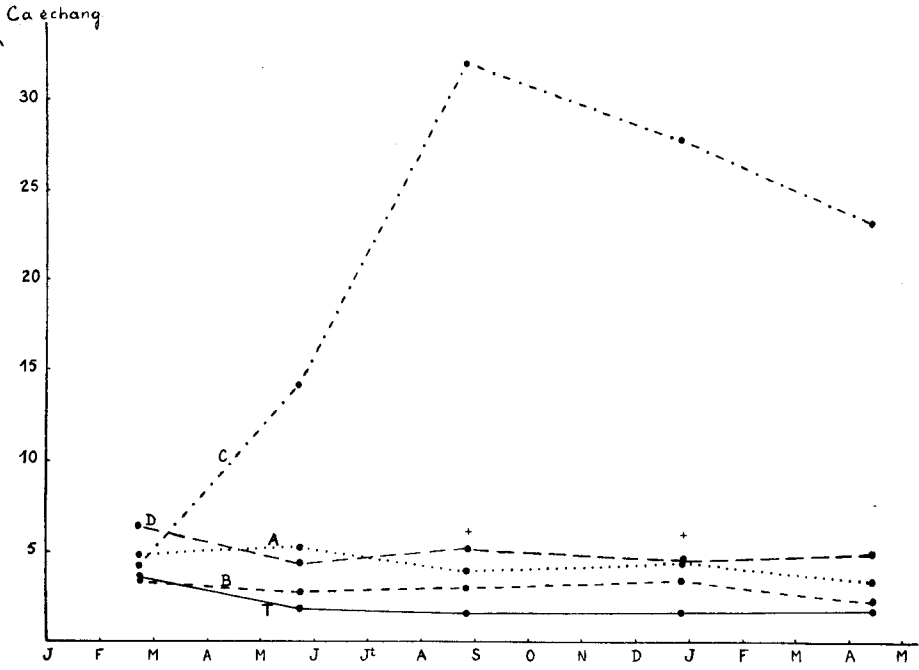


FIG. 5.
Evolution du calcium échangeable.

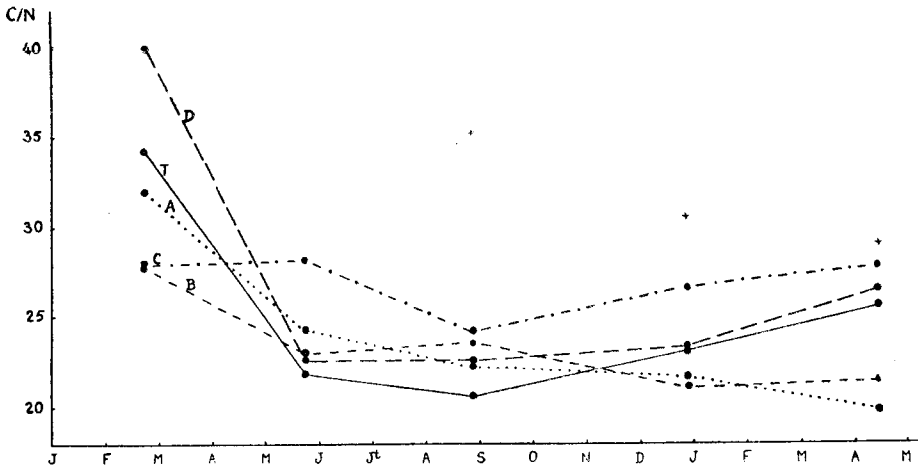


FIG. 6.
Evolution du rapport C/N.

nous a montré, d'après diverses observations, que le meilleur humus convenant aux semis de résineux était le Moder à pH 5 ou 5,5, non le Mull neutre (D. 1956). Cette constatation est en parfait accord avec les résultats obtenus au cours des expériences poursuivies à la Station de Recherches de Rothamsted (1), d'après lesquels le pH optimum pour la nutrition minérale des résineux en pépinière se situe aux environs de 5,5. A plus forte raison, pour le Pin maritime, essence calcifuge, le chaulage doit être modéré et ne pas dépasser cette valeur.

Calcium échangeable.

Les courbes montrent une très faible modification de cette valeur pour tous les sols travaillés, ce qui prouve l'influence très importante de la « dilution » de l'amendement, lorsqu'il est mélangé au sol minéral même sur une épaisseur assez faible.

Notons, à ce propos, que le travail du sol sans apport de chaux (placeaux T) semble, à première vue, provoquer une *diminution* de la valeur du calcium : ceci s'explique aisément par les différences de densité entre l'horizon A_0 organique et les horizons minéraux, les résultats des analyses étant exprimés en % du poids : en effet, la densité de la couche A_0 est environ moitié de celle du sol minéral, l'analyse, après enfouissement de la couche organique doit donc montrer une chute apparente d'environ moitié, pour un taux volumétriquement constant de calcium ; il est donc normal que l'apport de chaux ne paraisse pas, à première vue, augmenter la teneur en calcium : si cet apport compense sensiblement la diminution apparente, causée par l'enfouissement de A_0 , les résultats analytiques trouvés paraîtront sensiblement constants.

Il peut paraître également étonnant que le pH s'élève, alors que le taux de calcium ne change pas ; ceci s'explique aisément par le fait que la valeur du pH est conditionnée non par les bases échangeables seules, mais en réalité par le rapport somme des bases échangeables/capacité d'échange (S/T) ; en raison de la chute de la teneur en matière organique, T diminue, donc S/T augmente, même si la valeur de S est constante.

Rapport C/N.

Toutes les courbes montrent une baisse extrêmement nette de la valeur du rapport C/N, qui passe de 27-40 (suivant les placeaux) à des valeurs assez constantes, oscillant entre 22-25.

Notons que cette baisse est du même ordre de grandeur pour les témoins, ayant subi un simple travail du sol sans apport de chaux.

Cette baisse de C/N est très significative : elle traduit une augmentation de l'activité biologique de l'humus, une accélération de sa

(1) Miss BENZIAN — documents inédits.

décomposition, que la courbe de la quantité totale de matière organique ne peut mettre en évidence, pour les raisons exposées ci-dessus. C'est à la baisse du rapport C/N que nous pouvons le mieux mesurer l'efficacité du chaulage. Elle confirme les résultats obtenus au cours d'expériences antérieures, qui ont montré que l'activité minéralisatrice de l'humus atteignait son maximum aux environs de pH 5,5 à 6 (D. 1953).

Azote minéral.

Le chaulage n'a provoqué qu'une très faible augmentation de la production d'azote minéral, sur tous les placeaux traités: Si on compare le rapport azote minéral/azote total, à l'état initial et après traitement, on constate qu'il reste du même ordre de grandeur, ne subissant tout au plus qu'une légère augmentation: pour cette raison, aucun graphique concernant l'azote minéral n'a été dressé. Notons que nos précédentes recherches ont montré une efficacité nettement plus marquée de l'incinération, à ce point de vue.

Cette relative inefficacité d'un chaulage modéré sur la minéralisation de l'azote s'explique aisément à la lumière de nos recherches au laboratoire: celles-ci ont montré, de manière précise, que le chaulage n'exerçait *pas d'action stimulante de la minéralisation de l'azote, lorsque le rapport C/N des humus était initialement élevé, pratiquement supérieur à 25*. Au contraire, cette action stimulante est effective si le rapport initial C/N est inférieur à 20. Sous l'influence du chaulage, les humus bruts pauvres en azote se décomposent plus activement (baisse de C/N), mais l'azote ammoniacal libéré est réutilisé au fur et à mesure de sa production, par les microorganismes de l'humus, pour synthétiser des acides humiques: les semis ne peuvent en profiter. Ceci montre donc, sans aucun doute possible, que, sur la plupart des humus bruts, un chaulage ne peut remplacer entièrement une fumure azotée, comme on le croit généralement. Plusieurs auteurs ont fait, à ce point de vue, la même observation que nous, sur le déficit en azote assimilable de certains humus bruts (THEMLITZ, 1955 et 1956 - MAYER-KRAPOLL, 1956).

Facteur temps.

Les courbes que nous avons établies permettent de se rendre aisément compte de l'évolution des humus dans le temps, sous l'influence du chaulage. Elles mettent en évidence *l'effet rapide, voire brutal, du chaulage accompagné d'un travail du sol*, puisque les maxima sont obtenus en septembre, soit environ 5 mois après l'incorporation de l'amendement. Ensuite, on observe une nouvelle baisse, régulière, de l'activité biologique des humus. On pourrait présumer que cette baisse est surtout causée par l'influence de la saison; cependant, on peut noter qu'en avril on ne signale qu'une faible re-

crudescence de l'activité biologique, peut-être en rapport avec les froids excessifs du mois de février précédent, et la sécheresse du printemps.

Ainsi, le chaulage est suivi d'un effet rapide et brutal de stimulation de la microflore; cet effet dure peu et il semble suivi d'une nouvelle période de dépression. Mais les propriétés de l'humus sont modifiées dans un sens favorable, en tout état de cause; on peut en escompter une amélioration progressive de la nutrition, donc de la croissance des jeunes pins maritimes, que nos expériences de courte durée ne peuvent évidemment mettre en évidence. Cependant, si on désire maintenir et prolonger l'état optimum de l'humus, atteint quelques mois après le chaulage — et dont la durée semble éphémère — il semble indiqué d'apporter aux semis, à intervalle régulier, des *doses d'entretien*, qui pourront d'ailleurs être légères (FRANZ, 1956).

2° ACTION DES MODALITÉS DE L'APPLICATION DE L'AMENDEMENT

Nous examinerons successivement les influences de la nature de l'amendement, du mode d'application et de la dose.

Nature de l'amendement.

Elle ne paraît pas offrir de réelle importance, *dans la mesure où l'amendement est soigneusement incorporé*: la chaux et le carbonate agissent de manière sensiblement comparable. Bien entendu, il n'en serait certainement pas de même, en cas d'essai d'épandage en surface, sans travail du sol: on sait que, dans ce cas, la chaux exerce toujours un rôle nuisible, en raison de son action très violente. Cette notion étant connue, nous n'avons pas jugé utile de refaire l'expérience.

Mode d'application.

L'influence du mode d'application de l'amendement est essentielle. L'effet d'un simple épandage superficiel est tout à fait différent de celui d'une incorporation de l'amendement par travail du sol: c'est ce que montre immédiatement l'examen des courbes des placeaux C.

L'application superficielle de l'amendement (il s'agit en l'espèce de carbonate) sur la couche d'humus brut est suivie d'effets, que nous n'hésiterons pas à qualifier de nuisibles, tant pour l'évolution de l'humus que pour celle des semis. 1° L'action est irrégulière: l'analyse donne des valeurs qui, reportées sur les graphiques, se montrent très dispersées. 2° Elle est trop forte en surface, puisque souvent le pH dépasse 7, et nulle en profondeur. 3° Le rapport C/N ne subit aucune baisse sensible, il n'y a donc pas de véritable stimulation biologique. 4° Enfin, l'excès de calcium agit défavorablement sur la nutrition des semis.

Ces constatations rejoignent celles de BÜRGER (1952), que nous citons : « L'épandage de quantités modérées de chaux sur une li-tière d'humus acide, s'il n'est pas combiné avec un traitement « physique du sol, est incapable de produire un effet en profondeur ».

Dose.

La dose moyenne adoptée, à savoir 4 tonnes de CO_3Ca à l'ha, se montre suffisante pour obtenir et même dépasser la neutralité, en cas de simple application en surface : nous avons déjà signalé que ce résultat ne devait pas être recherché. Elle permet d'obtenir le pH 5,5 à 5,6 escompté, lorsqu'il y a incorporation au sol minéral : cette dose convient donc bien aux conditions locales, c'est-à-dire à un sol podzolique *de texture essentiellement sableuse* (sable des Landes) ; il est probable qu'elle serait trop faible pour un sol plus compact et devrait être alors plus ou moins fortement majorée.

Il est à remarquer que le pH final obtenu ne diffère que faiblement pour les doses faibles et les doses relativement plus fortes de carbonate : les courbes obtenues pour les placeaux B (4 tonnes) et D (8 tonnes) sont très comparables ; dans les deux cas, le pH maximum obtenu est de l'ordre de 5,5 ; mais il faut cependant noter que ce pH décroît *moins rapidement* pour les doses de CO_3Ca les plus élevées (5,2 en janvier 1956, contre 4,8 pour les autres traitements). Quoi qu'il en soit, on est en droit d'être étonné de ces différences relativement peu spectaculaires ; il semble qu'elles doivent être attribuées, d'une part, à l'influence du travail du sol, qui « dilue » considérablement l'amendement, nous l'avons vu, d'autre part, à l'effet « tampon » très marqué de l'humus acide des podzols landais. En outre, il ne faut pas oublier que, dans les deux cas, placeaux B et D, il s'agit de doses relativement légères, étant donné que l'amendement ne contient que moitié de calcaire pur ; les doses réelles sont alors d'environ 2 tonnes et 4 tonnes à l'hectare de carbonate pur. On peut en conclure *qu'à condition de ne pas dépasser un certain seuil*, il n'est pas utile de calculer de manière précise la dose d'amendement nécessaire, pour corriger un humus brut acide ; le problème du « besoin en chaux » des sols forestiers à humus brut se pose donc de manière différente de celui du besoin en chaux des sols agricoles : Dans le premier cas, il faut utiliser des doses relativement faibles, susceptibles d'amener le pH à 5,5, 6 au maximum ; ces doses peuvent être fixées en fonction de l'épaisseur de l'humus brut et aussi de la *texture* du sous-sol, sans qu'il soit utile de se livrer à un calcul précis. Au contraire, en matière agricole, on s'efforcera d'obtenir exactement la neutralité, en procédant à une estimation rigoureuse des besoins, basée sur l'analyse exacte de l'état du complexe absorbant.

Travail du sol.

Le travail du sol, mélangeant l'horizon A_0 avec les horizons minéraux sous-jacents, est suivi, à lui seul, donc sans apport de chaux, d'un effet activant remarquable sur l'humus brut. C'est là un des résultats positifs les plus intéressants que nos expériences permettent d'enregistrer.

Sous son influence, la baisse du rapport C/N est du même ordre que celle obtenue avec le chaulage: elle traduit donc une augmentation spectaculaire de l'activité biologique et de la vitesse de décomposition de la matière organique fraîche.

Quant au pH, il augmente aussi notablement, quoique évidemment moins que lorsqu'il y a apport de chaux; on obtient la valeur moyenne 5, au lieu de 5,5: étant donné ce que nous avons dit antérieurement, cet effet est presque suffisant en soi. On peut expliquer ce résultat par la décomposition accélérée d'une partie de la matière organique, libérant des bases et surtout diminuant considérablement la valeur de la capacité d'échange (T), donc provoquant une augmentation du rapport S/T.

Enfin, il convient de mentionner qu'un des effets les plus importants de l'enfouissement de l'humus brut et du mélange de ce dernier avec les horizons minéraux — accompagné ou non de chaulage — n'est pas mis en évidence par les analyses: c'est l'amélioration des propriétés physiques du sol. L'horizon A_0 organique d'humus brut se comporte, en effet, en milieu *physiologiquement sec* en été. Or, cet horizon nuisible disparaît en tout état de cause, de sorte qu'on peut compter sur une meilleure alimentation en eau des semis, en période de sécheresse.

Conclusion générale

On peut tirer des résultats de nos expériences les conclusions pratiques suivantes:

1° Le chaulage, destiné à améliorer les humus bruts, doit être pratiqué avec discernement: s'il s'agit de repeuplements de résineux, l'optimum pour ceux-ci se situant autour de pH 5,5, il convient de ne pas dépasser cette valeur; il est donc moins dangereux d'utiliser des doses trop faibles que des doses excessives. Dans ces conditions, il ne sera pas possible d'escompter une transformation complète de l'humus, mais seulement une activation modérée — par ailleurs de courte durée — de sa décomposition; il peut donc être indiqué de compléter, par la suite, l'apport initial de chaux par de apports répétés de doses d'entretien.

2° En aucun cas, l'amendement ne doit être épandu superficiellement. Il doit toujours être incorporé par un travail du sol, mélangeant l'horizon A_0 avec les horizons minéraux sous-jacents: Le tra-

vail du sol détruit, en effet, la couche organique superficielle, qui peut se comporter en milieu physiologiquement sec. En outre, il provoque, à lui seul, un effet d'activation remarquable et souvent très suffisant, lorsque l'humus brut n'est pas très acide: par exemple, il ne semble pas nécessaire de chauler un humus brut, qui présente initialement un pH supérieur à 4,5; à plus forte raison, si l'humus brut s'est formé sur un milieu minéral suffisamment riche en bases.

3° Si le rapport C/N est élevé (supérieur à 25), comme c'est généralement le cas pour les humus bruts, le chaulage ne provoque qu'une faible minéralisation, sous forme ammoniacale, de l'azote organique « stocké » dans l'humus brut. Il en est probablement de même du phosphore. Par conséquent, le chaulage manifeste une efficacité initiale réduite, sur la nutrition, donc sur la reprise et la croissance des plants; il doit donc être, dans la mesure du possible, complété par un apport de ces éléments. Ainsi, à notre avis, lorsque le pH de l'humus brut est supérieur à 4, *il convient de préférer au chaulage proprement dit un simple apport de scories, qui constitue à la fois un amendement léger et un engrais phosphaté, complété par un engrais azoté non acidifiant (p. ex. cianamide)*. Le chaulage doit alors être réservé aux humus bruts très acides, à pH égal ou inférieur à 4.

Pour un humus brut relativement peu acide et ne dépassant pas 3 à 4 cm d'épaisseur, on peut conseiller les doses suivantes: 1 tonne de scories de déphosphoration et 200 kg de cianamide calcique par ha. La cianamide peut être toxique pour les jeunes pins, mais incorporée à l'avance et à des doses relativement faibles, elle n'offre aucun inconvénient, car elle se décompose en quelques jours dans l'humus brut (THEMLITZ, 1956).

En résumé, nous adopterons la conclusion suivante, très proche de celle formulée par FRANZ (1956): Pour l'amélioration initiale d'un sol d'humus brut, en vue d'un semis ou d'une plantation de résineux, il faut préférer un chaulage *modéré*, complété par un apport d'azote et de phosphore, à une application exclusive de fortes doses de chaux. L'amendement doit toujours être incorporé par travail du sol. Si l'humus n'est pas très acide, l'emploi de scories, avec une faible quantité d'un engrais ammoniacal non acidifiant, peut largement suffire. En outre, des apports successifs de faibles doses d'entretien sont recommandés, pendant les premières années de la croissance des semis.

Résumé

Des expériences de chaulage ont été entreprises au printemps 1955, sur des sols à humus brut des Landes de Gascogne, dans le but d'étudier l'influence du chaulage sur l'évolution immédiate de l'humus et sur la réussite de semis de Pin maritime. Les placettes d'essai étaient des carrés de 5 m de côté et 5 répétitions ont été

prévues (méthode du carré latin). La comparaison a porté sur 5 modalités de l'application de l'amendement: A) 4 t à l'ha de chaux, enfoui. B) 4 t à l'ha de CO_3Ca , enfoui. C) 4 t à l'ha de CO_3Ca , simple épandage en surface. D) 8 t à l'ha de CO_3Ca , enfoui. T) témoins travaillés, mais non chaulés.

Des prélèvements de sol ont été effectués tous les 3 mois. Les analyses ont porté sur le carbone, l'azote, le pH, le calcium échangeable et l'azote minéral. L'établissement de graphiques a permis une interprétation, valable statistiquement, des variations en fonction du temps, en particulier du pH, du calcium échangeable et du rapport C/N. En fin d'expérience, un comptage général et une mensuration des semis ont été effectués dans chaque placeau, ce qui a donné lieu à une interprétation statistique des chiffres obtenus.

Les principaux résultats de nos expériences sont les suivants :

1° Une transformation complète de l'humus exigerait un chaulage intensif, amenant le pH à neutralité; mais un tel chaulage serait préjudiciable au semis. Il est donc nécessaire de calculer la dose pour obtenir un pH de l'ordre de 5,5, en tous cas inférieur à 6. Cet effet maximum est obtenu environ 5 à 6 mois après le chaulage; on constate ensuite que l'humus s'acidifie de nouveau: il est donc utile de compléter l'apport initial de chaux, par l'application de doses d'entretien.

2° L'épandage de l'amendement en surface est suivi d'un effet irrégulier, localisé très superficiellement et pouvant être nuisible aux semis. Il est donc indispensable d'enfouir l'amendement. Le travail du sol, à lui seul, exerce une action très favorable sur l'activation de l'humus. Il est même suffisant lorsque le pH initial de l'humus brut est supérieur à 4,5.

3° Le chaulage modéré ne provoque qu'une faible minéralisation de l'azote (et sans doute aussi du phosphore) stocké dans l'humus brut, sous forme inassimilable; notamment lorsque le rapport C/N est trop élevé. Il est donc indiqué de compléter le chaulage par un apport simultané d'azote et aussi de phosphore; dans beaucoup de cas, la formule la meilleure paraît être un mélange de scories et d'un engrais ammoniacal non acidifiant.

Bibliographie

- ATTENBERGER (J.). — Düngerwirkung an Fichten auf Hochmoor. *Die Phosphorsäure*, 16, 1/2, 1956, p. 44-55.
- BURGER (H.). — Bodenverbesserungsversuche. *Mitt. d. Schw. Anstalt. f. d. forstliche Versuchsw.*, XXVIII, 1952, p. 10-87.
- DIMBLEBY (G.-W.). — Soil regeneration in the north-east Yorkshire Moors. *Department of Forestry, Univ. of Oxford, Journal of Ecology*, vol. 4, n° 2, 1952, p. 332-341.
- DUCHAUFOUR (Ph.). — Note sur l'influence de l'incinération sur l'évolution de l'humus. 7^e Session de l'Assoc. Franç. pour l'Avancement des Sciences, Actes du Congrès de Luxembourg, juillet 1953, p. 729-732.
- DUCHAUFOUR (Ph.). — Humus actif et humus inerte. Recherches expérimentales sur la minéralisation de l'humus forestier. *Ann. Ecole Nle Eaux et Forêts*, XIII-2, 1953, p. 402-453.
- DUCHAUFOUR (Ph.). — Note sur l'influence du type d'humus sur la régénération des résineux. 12^e Congrès de l'Union Intern. des Instituts de Recherches Forestières, Oxford 1956, Section 21, n° 2, 6 p.
- DUCHAUFOUR (Ph.). — Un cas de carence azotée de l'Epicéa décelée par le diagnostic foliaire. *Rev. For. Franç.*, février 1957.
- DUCHAUFOUR (Ph.) et MANGENOT (F.). — Recherches sur l'évolution expérimentale de certains humus. *Ann. Agr.*, II, 1956, p. 159-181.
- FRANZ (H.). — Die Walddüngung im Lichte der Bodenbiologie. *Allgemeine Forstzeitsch.*, n° 25/26, 1956, 2 p.
- FRANZ (H.), JELEM (H.) et FINK (J.). — Untersuchungen zur forstlichen Standortverbesserung. *Mitt. der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Mariabrunn*, n° 53, sept. 1956, 88 p.
- GALOUX (A.). — La fertilisation minérale en sylviculture. *Station de Recher. de Groenendaal, Imp. J. de Clercq, rue Fernand Pire, 22, Sette*, 1954, 62 p.
- GALOUX (A.). — La fertilisation minérale en sylviculture. *Bull. de la Sté Royale Forest. de Belgique*, n° 8-9, août-sept., 1955, p. 361-382.
- MAYER-KRAPOLL (H.). — Die Anwendung von Handelsdüngemitteln insbesondere von Stickstoff in der Forstwirtschaft. *Edit. Ruhr-Stickstoff, Bochum, Allemagne*, 1956, 126 p.
- LOUDIN (A.). — Semis et plantations accompagnés d'épandage d'engrais. *Rev. des Eaux et Forêts*, août 1934, p. 602-608.
- THEMLITZ (R.). — Zur Frage der Ausnutzung des von Rohhumus aus Ammoniak in fester Bindung aufgenommenen Stickstoffs und der Stickstoffaufnahme aus schwefelsaurem Ammoniak und Kalkammonsalpeter in Gegenwart von Rohhumus durch Nadelholzsämlinge. *Zeitsch. f. Pflanzenernähr.*, 70-3, 1955, p. 207-220.
- THEMLITZ (R.). — Die Stickstofffestlegung aus schwefelsaurem Ammoniak durch Fichtenrohhumus bei verschiedener Reaktion. *Zeitsch. f. Pflanzenernähr.*, 73-3, 1956, p. 202-209.
- THEMLITZ (R.). — Zersetzungsgeschwindigkeit von Kalkstickstoff in Gegenwart von Fichtenrohhumus und Umwandlung desselben durch Cyanamid im Vergleich zu Ammoniak bei verschiedener Reaktion. *Zeitsch. f. Pflanzenernähr.*, 75-3, 1956, p. 257-268.
- WITTICH (W.). — Der heutige Stand unseres Wissens vom Humus und neue Wege zur Lösung des Rohhumusproblems im Walde. *Schriftenreihe der Forstlichen Fakultät der Univ. Göttingen, B. 4, Sauerlanders Verlag Frankfurt-a-M.*, 1952, 106 p.
- WITTICH (W.). — Die Melioration streugentzter Böden. *Forstw. Centralblatt*, 7/8, 1954, p. 193-256.

ANNEXE
RESULTATS ANALYTIQUES

TABLEAU I

Etat initial des humus
Prélèvements: 22 février 1955
Analyse (% de terre fine sèche à l'air): (1)

Sols	pH	C %	Mat. org. %	N total %	N ammon. mg/100g	C/N	Ca éch. m. val. p. 100g
A ₁	4,0	15,00	25,5	0,42	traces	35,7	3,84
A ₂	4,3	25,70	43,7	0,98	6	26,2	5,82
A ₃	4,1	21,82	37,1	0,70	6	31,1	4,40
A ₄	4,3	40,58	69,0	0,91	7	44,5	7,20
A ₅	4,3	22,58	38,4	0,84	traces	26,8	4,00
B ₁	4,3	15,05	25,6	0,49	traces	30,7	3,84
B ₂	4,3	18,00	30,6	0,63	traces	28,5	3,68
B ₃	4,5	10,58	18,0	0,49	traces	21,5	2,84
B ₄	4,4	17,29	29,4	0,56	5	30,8	3,64
B ₅	4,4	9,82	16,7	0,38	traces	25,8	3,52
C ₁	4,3	11,88	20,2	0,42	traces	28,2	3,68
C ₂	4,2	42,17	71,7	1,05	5	40,1	10,00
C ₃	4,1	7,94	13,5	0,31	traces	25,6	3,46
C ₄	4,2	10,17	17,3	0,35	4	29,0	3,28
C ₅	4,1	13,05	22,2	0,63	traces	20,7	5,48
D ₁	4,1	26,41	44,9	0,77	3	34,3	5,42
D ₂	4,0	42,94	73,0	0,98	10	43,8	8,42
D ₃	4,2	14,76	25,1	0,49	traces	30,1	5,90
D ₄	4,1	17,76	30,2	0,35	5	50,7	3,92
D ₅	4,2	39,00	66,3	0,98	10	39,7	9,42
T ₁	4,2	47,29	80,4	0,98	10	48,2	10,24
T ₂	4,3	11,58	19,7	0,35	10	33,0	3,44
T ₃	4,4	9,05	15,4	0,42	traces	21,5	3,12
T ₄	4,3	12,70	21,6	0,38	7	33,4	3,68
T ₅	4,2	18,64	31,7	0,49	4	38,0	3,44

(1) Les analyses ont été effectuées au laboratoire de pédologie de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts.

TABLEAU II

Prélèvements: 21 mai 1955

Analyse (% de terre fine sèche à l'air):

Sols	pH	C %	Mat. org. %	N total %	N ammon. mg/100g	C/N	Ca éch. m. val. p. 100g
A ₁	5,4	2,76	4,7	0,15	traces	18,4	3,55
A ₂	6,2	7,82	13,3	0,33	traces	23,6	8,10
A ₃	5,4	8,11	13,8	0,30	4	27,0	9,90
A ₄	5,1	2,33	3,8	0,10	traces	23,3	2,50
A ₅	5,0	9,52	16,2	0,37	traces	25,7	5,00
B ₁	5,2	3,52	6,0	0,17	traces	20,7	1,90
B ₂	4,7	7,52	12,8	0,28	3	26,8	2,46
B ₃	5,3	4,17	7,1	0,17	traces	24,5	7,85
B ₄	4,6	5,41	9,2	0,24	3	22,5	2,62
B ₅	4,7	2,11	3,6	0,17	traces	12,4	2,17
C ₁	4,9	7,20	12,4	0,31	traces	23,2	8,10
C ₂	4,8	18,82	32,0	0,59	5	31,8	18,50
C ₃	6,0	16,52	28,1	0,38	3	43,4	37,10
C ₄	4,3	14,76	25,1	0,42	4	35,1	12,25
C ₅	5,6	5,05	8,6	0,28	traces	18,0	14,30
D ₁	5,0	3,94	6,7	0,21	traces	18,7	2,14
D ₂	4,9	5,00	8,5	0,21	traces	23,8	2,46
D ₃	5,2	4,40	7,6	0,21	traces	20,9	5,90
D ₄	4,2	4,82	8,2	0,17	traces	28,3	3,20
D ₅	6,3	4,41	7,5	0,21	traces	21,0	18,75
T ₁	4,0	4,58	7,8	0,24	traces	19,0	1,90
T ₂	4,2	4,52	7,7	0,21	traces	21,5	2,50
T ₃	4,2	5,47	9,3	0,24	3	22,7	1,82
T ₄	4,4	5,05	8,6	0,24	traces	21,0	1,46
T ₅	4,0	6,70	11,4	0,24	traces	27,9	1,61

TABLEAU III

Prélèvements: 1^{er} septembre 1955

Analyse (% de terre fine sèche à l'air):

Soils	pH	C %	Mat. org. %	N total %	N ammon. mg/100g	C/N	Ca éch. m. val. p. 100g
A ₁	6,1	3,05	5,2	0,14	3	21,7	3,25
A ₂	5,9	7,05	12,0	0,31	3	22,7	3,55
A ₃	5,0	5,17	8,8	0,24	3	21,5	5,00
A ₄	5,4	3,58	6,1	0,14	3	25,5	5,40
A ₅	5,5	8,00	13,6	0,35	7	22,8	3,55
B ₁	5,6	3,74	6,3	0,24	3	15,5	2,35
B ₂	5,2	5,24	8,9	0,21	3	24,9	2,20
B ₃	7,2	2,75	4,6	0,10	traces	27,5	9,60
B ₄	5,5	5,37	9,1	0,21	3	25,5	2,17
B ₅	5,7	2,70	4,6	0,14	3	19,2	2,90
C ₁	7,2	2,58	4,4	0,21	traces	12,2	22,50
C ₂	6,7	14,64	24,9	0,52	6	28,1	47,60
C ₃	7,7	15,41	26,2	0,38	4	40,5	38,00
C ₄	5,2	8,00	13,6	0,28	3	28,5	21,75
C ₅	6,6	3,41	5,8	0,21	traces	16,2	29,75
D ₁	5,6	4,76	8,1	0,21	3	22,6	4,87
D ₂	5,3	5,05	8,6	0,28	3	18,0	4,22
D ₃	6,6	2,88	4,9	0,17	3	16,9	5,27
D ₄	4,7	4,94	8,4	0,17	3	29,0	5,00
D ₅	5,9	5,76	9,8	0,21	3	27,4	11,95
T ₁	4,9	3,94	6,7	0,14	4	28,1	1,80
T ₂	4,8	2,94	5,0	0,14	3	21,0	1,45
T ₃	5,0	4,23	7,2	0,21	3	20,1	1,60
T ₄	5,1	4,05	6,9	0,21	3	19,2	1,57
T ₅	5,0	3,47	5,9	0,18	5	19,2	1,37
Tnt ₁	4,4	28,17	47,9	0,66	6	42,6	9,15
Tnt ₂	4,6	15,52	28,1	0,42	3	39,3	6,15
Tnt ₃	4,4	10,88	18,5	0,42	traces	25,9	2,95

TABLEAU IV

Prélèvements: 20 décembre 1955

Analyse (% de terre fine sèche à l'air):

Sols	pH	C %	Mat. org. %	N total %	N ammon. mg/100g	C/N	Ca éch. m. val. p. 100g
A ₁	4,5	3,77	6,5	0,17	3	22,1	6,85
A ₂	5,2	7,38	12,7	0,35	7	21,0	3,92
A ₃	4,5	4,65	8,0	0,19	3	24,4	5,40
A ₄	5,1	2,73	4,7	0,12	traces	22,7	3,60
A ₅	4,9	6,22	10,7	0,35	traces	17,7	4,12
B ₁	5,2	3,72	6,4	0,17	traces	21,8	3,30
B ₂	4,6	5,75	9,9	0,28	3	20,5	3,20
B ₃	4,7	2,26	3,9	0,10	5	22,6	3,20
B ₄	4,8	5,05	8,7	0,24	4	21,0	3,10
B ₅	5,1	2,03	3,5	0,10	traces	20,3	3,90
C ₁	6,8	6,56	11,3	0,24	3	27,3	33,00
C ₂	7,2	13,89	23,9	0,52	5	26,7	27,50
C ₃	7,4	15,23	26,2	0,52	traces	29,2	42,75
C ₄	7,1	7,32	12,6	0,28	4	26,1	26,25
C ₅	7,6	5,05	8,7	0,21	traces	24,0	24,37
D ₁	4,9	3,48	6,0	0,14	traces	24,8	4,62
D ₂	5,3	4,18	7,2	0,21	5	19,9	3,92
D ₃	5,4	2,79	4,8	0,14	3	19,9	3,07
D ₄	6,5	5,00	8,6	0,17	traces	29,4	19,75
D ₅	4,9	3,43	5,9	0,14	3	24,5	3,62
T ₁	4,4	3,25	5,6	0,14	traces	23,2	1,82
T ₂	4,5	3,72	6,4	0,12	3	31,0	1,65
T ₃	4,8	2,96	5,1	0,14	5	21,1	1,47
T ₄	4,6	3,31	5,7	0,14	3	23,6	1,87
T ₅	4,5	3,08	5,3	0,14	3	22,0	1,30
Tnt ₁	4,3	48,60	83,6	1,43	10	33,9	15,12
Tnt ₂	4,2	15,98	27,5	0,52	5	30,7	4,15
Tnt ₃	4,4	13,60	23,4	0,45	4	30,2	5,30
Tnt ₄	4,3	17,09	29,4	0,70	4	24,4	5,15

TABLEAU V

Prélèvements: 13 avril 1956

Analyse (% de terre fine sèche à l'air):

Sols	pH	C %	Mat. org. %	N total %	N ammon. mg/100g	C/N	Ca éch. m. val. p. 100g
A ₁	4,6	2,42	4,1	0,14	3	17,2	2,92
A ₂	4,6	8,84	15,0	0,42	4	21,0	2,04
A ₃	4,3	5,51	9,4	0,21	3	26,2	4,57
A ₄	4,4	3,17	5,4	0,17	traces	18,6	2,45
A ₅	4,9	6,30	10,7	0,31	3	20,3	6,25
B ₁	5,1	2,92	5,0	0,14	traces	20,8	3,20
B ₂	4,4	5,20	8,8	0,24	traces	21,6	1,37
B ₃	5,9	2,21	3,8	0,08	traces	27,6	4,02
B ₄	4,4	4,14	7,0	0,24	3	17,2	1,33
B ₅	4,6	2,18	3,7	0,10	traces	21,8	2,08
C ₁	5,3	4,98	8,5	0,21	6	23,7	10,92
C ₂	5,1	15,02	25,5	0,49	5	30,6	17,12
C ₃	6,5	8,99	15,3	0,31	traces	29,0	33,75
C ₄	6,0	11,86	20,2	0,38	traces	31,2	29,62
C ₅	6,9	6,38	10,8	0,24	4	26,5	23,75
D ₁	4,6	4,30	7,3	0,17	traces	25,3	2,67
D ₂	4,7	5,32	9,1	0,24	traces	22,1	3,00
D ₃	4,4	6,02	10,2	0,21	traces	28,6	6,05
D ₄	5,0	3,97	6,8	0,14	traces	28,3	6,22
D ₅	5,9	5,06	8,6	0,19	traces	26,6	13,80
T ₁	3,9	3,22	5,5	0,12	3	26,8	1,82
T ₂	4,0	3,57	6,1	0,12	traces	29,7	1,75
T ₃	4,2	2,62	4,5	0,14	3	18,7	1,50
T ₄	4,2	5,18	8,8	0,20	traces	25,9	1,90
T ₅	4,1	3,40	5,8	0,14	traces	24,2	1,45
Tnt ₁	3,9	28,52	48,5	0,75	10	38,0	11,40
Tnt ₂	3,9	32,08	54,5	1,12	4	28,6	11,75
Tnt ₃	4,6	14,24	24,2	0,56	3	25,4	4,02
Tnt ₄	4,4	41,24	70,1	1,19	7	34,6	8,25
Tnt ₅	4,4	13,11	22,3	0,59	3	22,2	5,20