



**HAL**  
open science

## Essais de fertilisation sur humus brut contrôlés par l'analyse foliaire sur Pin sylvestre et Epicéa

Paul Turpin, Philippe Duchaufour

### ► To cite this version:

Paul Turpin, Philippe Duchaufour. Essais de fertilisation sur humus brut contrôlés par l'analyse foliaire sur Pin sylvestre et Epicéa. *Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences Forestières*, 1960, 17 (2), pp.207-233. hal-03483744

**HAL Id: hal-03483744**

**<https://hal.science/hal-03483744>**

Submitted on 16 Dec 2021

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

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

**ESSAIS DE FERTILISATION SUR HUMUS BRUT**  
**contrôlés par l'analyse foliaire**  
**SUR PIN SYLVESTRE ET ÉPICÉA**

PAR

**Ph. DUCHAUFOUR**  
Laboratoire de Pédologie  
École Nationale  
des Eaux et Forêts, Nancy.

et

**P. TURPIN**  
Arboretum des Barres  
Nogent-sur-Vernisson  
(Loiret).



## INTRODUCTION. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

---

### I. — But de l'expérience et choix des méthodes

La physiologie de la nutrition des essences résineuses apparaît, à mesure qu'on la connaît mieux, comme très particulière: c'est ainsi que ces espèces semblent bien adaptées à la vie dans les sols acides et qu'elles peuvent même prospérer dans certains humus bruts, où des feuillus plus exigeants ne sauraient vivre. Il importe donc de rechercher tant par les méthodes d'observation en forêt, que par voie expérimentale, quelles sont les meilleures conditions de nutrition et de croissance des Résineux, qui tendent, de plus en plus, à constituer l'élément essentiel de nos essences de reboisement.

D'autre part, la grande majorité des sols de reboisement sont des sols acides, sols de landes ou de forêts dégradées, caractérisés par une podzolisation plus ou moins accentuée et par la formation d'un humus brut (Mor) plus ou moins épais, en surface. Or, les observations qui ont été effectuées à ce jour, au sujet de la réussite des reboisements sur les humus bruts, ont donné des résultats variables, souvent contradictoires; certains auteurs tiennent l'humus brut pour favorable aux Résineux, d'autres au contraire le considèrent comme une vraie « maladie » du sol; dans certains cas, la reprise et la croissance des plantations, dans ces milieux, sont satisfaisantes (Pin sylvestre), dans d'autres au contraire le plant boude, jaunit et montre une nette carence en azote (Epicéa - D., 1957).

Les humus bruts, en effet, ne sont pas toujours des milieux pauvres: dans certains cas, ils peuvent être même assez riches en éléments fertilisants; mais ces éléments sont présents sous une forme peu assimilable et ils ne sont utilisables par la plante que de manière très progressive, au fur et à mesure de leur libération, toujours lente dans ces humus biologiquement peu actifs. S'appuyant sur cette donnée fondamentale, beaucoup d'auteurs ont préconisé l'emploi d'engrais pour favoriser les plantations sur humus bruts, dans le double but: 1) de fournir aux plants un appoint nutritif de démarrage, permettant une bonne reprise et une croissance satisfaisante, au cours des premières années; 2) d'améliorer de façon durable l'activité biochimique de l'humus, de façon à mobiliser progressivement les réserves peu assimilables qu'il contient (FRANZ, 1957; WITTICH, 1958). Mais il reste encore à déterminer quel est

le meilleur mode de traitement à choisir, en fonction d'une part des propriétés de l'humus, et d'autre part des exigences des espèces cultivées.

Le but de l'expérience que nous avons entreprise était donc de tenter d'apporter quelques précisions utiles, sur la physiologie de la nutrition et la croissance de certains Résineux, en liaison avec l'évolution d'un humus brut de type moyen soumis à l'action de divers traitements chimiques: les deux résineux choisis sont, d'une part, le Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), qui peut être considéré comme une des espèces les plus frugales et la mieux adaptée à la vie dans l'humus brut, et l'Epicéa (*Picea excelsa*), espèce nettement plus exigeante et plus sensible, en particulier, aux déficiences en azote et en phosphore que la précédente.

#### CHOIX DES TECHNIQUES

Notre expérience a porté sur des semis et des jeunes plants, élevés sur « baches de semis » pendant deux années consécutives, en 1958 et 1959, au domaine des Barres (Loiret).

*Milieu utilisé:* « baches de semis » de 1/2 m<sup>2</sup> de superficie, l'humus brut formant une couche de 0,30 m d'épaisseur et comprenant environ 50 % en poids sec de matière organique, le reste étant constitué de sables quartzeux. Les conditions sont ainsi très proches de celles d'un milieu naturel: sol podzolique à humus brut en surface, plus ou moins épais.

*Modalités des traitements chimiques:* quatre modes de traitement de cet humus ont été expérimentés, en double expérience, pour les deux espèces, Pin sylvestre et Epicéa.

T: témoin; simple traitement mécanique de l'humus brut.

N: neutralisation par injection d'ammoniac gazeux.

E: apport d'engrais (scories de déphosphoration et sulfate d'ammoniaque).

E-Ca: même traitement avec, en plus, neutralisation par le calcaire fin.

*Mise en place des plants:* elle a été effectuée en deux étapes. La première année, on a procédé à un semis, ce qui a permis de noter l'influence des traitements des M<sub>0</sub>R sur la levée des plants. La seconde année, les semis ont été repiqués sur place, dans le but d'éliminer le facteur concurrence et d'observer au mieux le développement des plants.

*Etude de l'évolution biochimique des humus:* cette étude a été poursuivie par les méthodes d'analyses habituelles, permettant de comparer leur évolution, à la suite des différents traitements subis.

*Étude de la nutrition des plants, par le contrôle de l'analyse foliaire*: les chiffres obtenus par l'analyse foliaire, comparés aux chiffres moyens cités par différents auteurs, dans des conditions de milieu analogues, permettent de « faire le point » des conditions de la nutrition en tel ou tel élément; en outre, on a évalué le prélèvement global de chaque élément nutritif, par « plant moyen » de chaque lot, ce qui renseigne utilement sur le coefficient d'utilisation des éléments nutritifs, mis à la disposition des plants dans chaque modalité (1).

La confrontation des trois groupes de résultats: 1) reprise et croissance des plants; 2) évolution des humus; 3) contrôle par l'analyse foliaire et par l'analyse globale du plant moyen, permet alors d'établir des corrélations particulièrement précieuses, pour l'interprétation de l'expérience: elle renseigne, en outre, efficacement sur la physiologie de la nutrition des plants, dans les divers milieux étudiés.

## II. — **Détail des méthodes**

### 1° LE MILIEU: MODES DE TRAITEMENT DE L'HUMUS

L'humus brut (« terre de Bruyères ») utilisé est un humus de Sologne, dont les caractères essentiels sont les suivants (analyse en % d'humus sec à 105°):

- pH: 3,8.
- carbone organique: 20,2 %.
- azote: 0,56.
- C/N: 36,1.
- calcium échangeable (m. val./100 g): 8,9.
- potassium échangeable (m. val./100 g): 1,0.

Il a été utilisé 200 kg d'humus brut, à 50 % d'humidité environ, par mètre carré de bâche de semis. Chaque bâche de 1 m<sup>2</sup> a été divisée en deux parties de 0,5 m<sup>2</sup>, l'une enssemencée en Pin sylvestre, l'autre en Epicéa.

Les expériences ayant été faites en double, pour chaque espèce, comportaient l'installation de 8 bâches de 1 m<sup>2</sup>, dans lesquelles les quatre traitements mis à l'étude ont été les suivants:

T: témoins: aucun traitement chimique.

N: injection d'NH<sub>3</sub> gazeux, jusqu'à ce qu'on atteigne le pH 7 environ.

E: incorporation d'engrais aux doses suivantes:

0,500 kg sulfate d'ammonium (à 21 % d'azote), pour 200 kg d'humus humide;

1 kg scories (à 18 % de phosphore), pour 200 kg d'humus humide.

(1) Les analyses ont été effectuées au laboratoire de pédologie de l'École Nationale des Eaux et Forêts, par les soins de Mlles DUVIGNACQ et PERRIN.

E-Ca : incorporation d'engrais aux mêmes doses et, en plus, neutralisation par du carbonate de chaux, à raison de 2,2 kg pour 200 kg d'humus humide.

Ces traitements ont été effectués environ 2 mois avant la mise en place des plants, en avril 1958.

L'évolution des humus ainsi traités a été suivie par des mesures de pH, qui ont donné les résultats suivants, pour chaque mode de traitement :

	T	N	E	E-Ca
	—	—	—	—
pH deux mois après le traitement .....	3,9	6,1	4,3	6,1
pH en fin d'expérience (novembre 1959) ...	4,4	4,2	5,0	6,8 - 7,1

Alors que les pH mesurés à la fin de l'expérience sont très voisins dans les quatre répétitions, pour chaque mode de traitement, on note cependant des différences plus importantes : 1) entre les deux lots E d'Epicéa (4,6 et 5,1) ; 2) entre les deux bâches traitées par  $\text{CO}_3\text{Ca}$  (E-Ca), chacune d'elles étant occupée pour moitié par le Pin, pour moitié par l'Epicéa :

- le pH final de l'une est 6,8 ;
- le pH final de l'autre est 7 à 7,1.

Ces variations paraissent dues à des différences légères d'humidité du sol, lors de l'incorporation des engrais ou du calcaire, ce qui équivaut à de petites modifications de la dose. Or, le pH 7, nous le verrons, constitue un « seuil » important au point de vue de la physiologie des plants : dans ces conditions, on peut s'attendre à ce que les deux répétitions E-Ca ne donnent pas de résultats absolument comparables, en ce qui concerne la croissance du Pin, aussi bien que celle de l'Epicéa.

## 2° MÉTHODES DE CULTURE

### *Semis.*

*Pinus sylvestris* Riga (Vilmorin) N 56 076 ; fac. germinative : 94 % ; 7,5 g de semence par lot de 0,5 m<sup>2</sup>.

*Picea excelsa* Vercors N 56 015 ; fac. germinative : 80 % ; 12,5 g de semence par lot de 0,5 m<sup>2</sup>.

Les semis ont été effectués en avril 1958.

### *Développement des Graminées et plantes adventices.*

Il est à noter que la fertilisation, quel que soit le mode adopté, favorise toujours la croissance des espèces adventices, qui concurrencent plus ou moins les semis, ce qui peut diminuer considérable-

ment son efficacité pratique : dans l'expérience, dont il est rendu compte ici, le développement de l'herbe a été inégal suivant les modalités : réduit dans les témoins, il a été plus important en N et a atteint son maximum en E et E-Ca. *Un désherbage a été pratiqué en septembre 1958.*

*Repiquage des plants en avril 1959.*

Ce repiquage, *effectué sur place*, avait pour but d'éliminer le facteur concurrence, lié à une plus ou moins grande densité des semis, dont la répartition était plus ou moins irrégulière : il a permis d'effectuer, la 2<sup>e</sup> année, des comparaisons valables, concernant l'efficacité des divers modes de traitement, sur le développement des plants.

Le repiquage a été effectué à raison de la densité de 500 au m<sup>2</sup>, sauf pour les modalités N de l'essai sur Pin sylvestre, pour lesquelles le nombre de semis obtenus était insuffisant, en raison de la mauvaise germination : dans ce cas, la densité de repiquage a été 200/m<sup>2</sup> en N<sub>1</sub> et 380/m<sup>2</sup> en N<sub>2</sub> ; cette densité plus faible a pu favoriser (au moins initialement) les plants de ces deux lots par rapport aux autres et il convient évidemment d'en tenir compte dans l'interprétation d'ensemble.

*Influence des conditions météorologiques sur l'évolution des plants.*

Les lots ont été disposés de telle façon qu'ils bénéficient des mêmes apports de lumière, de soleil et de pluie.

Or, il est à remarquer que la saison de végétation 1958 a été exceptionnellement humide et nuageuse, alors que celle de 1959 a été au contraire exceptionnellement sèche et ensoleillée : les pins et les épicéas (disposés, nous l'avons dit, sur une même bêche divisée en deux) ont souffert, de façon variable, de ces conditions météorologiques : la première année, les épicéas ont été favorisés par rapport aux pins, l'année suivante, au contraire, ce sont les pins qui ont été favorisés par rapport aux épicéas ; en particulier, dans le courant de la seconde année, une certaine mortalité des plants d'Épicéa doit être imputée à la sécheresse ; mais nous verrons que cette mortalité a été différente suivant les traitements : élevée en T et en N, elle a été beaucoup plus basse en E et en E-Ca, car dans ces deux dernières modalités, les plants, mieux nourris, ont acquis une plus forte résistance aux intempéries.

---

## RESULTATS GENERAUX DE L'EXPERIENCE

### I. — Germination, reprise et croissance des plants

#### 1° METHODES

Le nombre de semis vivants, obtenus à la fin de la première année, donne une idée de l'influence des traitements sur la germination et le développement des semis; leur vigueur a été appréciée de la façon suivante: t.b.: très vigoureux; b: vigoureux; pas.: passable; m: développement médiocre (voir tableau I).

TABLEAU I  
REPRISE ET CROISSANCE DES PLANTS

	Nombre et vigueur semis vivants (1 an)	Nombre plants repiqués	Plants vivants (2 ans)		Mensurations moyennes par plant			
			Nombre	%	Poids vert g	Poids sec g	Diamètre mm	Hauteur cm
<b>PIN</b>								
T <sub>1</sub>	810 b	250	168	67	4,2	1,3	2,5	4,4
T <sub>2</sub>	592 b	"	245	98	5,2	2,0	2,8	5,9
N <sub>1</sub>	108 m	100	72	72	4,8	1,8	2,9	3,7
N <sub>2</sub>	196 m	190	130	68	6,2	2,3	2,9	6,5
E <sub>1</sub>	708 t.b.	250	240	96	4,4	1,6	2,7	6,2
E <sub>2</sub>	650 t.b.	"	250	100	6,4	2,2	2,7	8,9
E <sub>Ca1</sub>	596 m	"	175	70	1,4	0,5	2,0	2,7
E <sub>Ca2</sub>	645 pas.	"	215	86	5,0	1,7	2,7	5,2
<b>EPICEA</b>								
T <sub>1</sub>	782 b	250	50	20	1,9	0,6	2,0	3,6
T <sub>2</sub>	886 b	"	164	66	1,6	0,5	2,0	4,1
N <sub>1</sub>	700 m	"	89	36	3,4	1,2	2,4	6,8
N <sub>2</sub>	360 m	"	139	56	3,4	1,2	2,3	7,1
E <sub>1</sub>	1200 t.b.	"	210	84	3,8	1,2	2,1	6,7
E <sub>2</sub>	668 b	"	215	86	4,2	1,4	2,3	6,9
E <sub>Ca1</sub>	916 b	"	159	64	1,1	0,3	2,0	3,4
E <sub>Ca2</sub>	952 b	"	190	76	2,0	0,7	2,0	4,9

N. B. — La vigueur des plants de 2 ans n'a pas été indiquée sur le tableau; elle n'est pas toujours en relation directe avec les dimensions: ainsi les plants N paraissent moins vigoureux que les plants T.

À la fin de la 2<sup>e</sup> année, on a apprécié le % de « reprise » après le repiquage. En outre, les caractéristiques du « plant moyen », obtenu pour chaque modalité de l'expérience, ont été établies sur un échantillon de 25 sujets : poids vert, poids sec à 105°, diamètre au collet (*en mm*), hauteur de la partie aérienne (*en cm*).

L'ensemble des résultats obtenus est consigné sur le tableau I.

## 2<sup>e</sup> DISCUSSION DES RÉSULTATS

### *Germination et survie des plantules.*

L'optimum paraît être atteint en T et en E; il est à noter que le chaulage, nettement nuisible au Pin, pour lequel il a occasionné une importante fonte de semis, n'a pas nui à la germination de l'Épicéa. Par contre, le traitement à l'ammoniac (N) s'est avéré très défavorable aux deux espèces, surtout aux pins, la fonte des semis ayant sévi de façon massive.

### *Reprise au repiquage et mortalité la 2<sup>e</sup> année.*

L'optimum correspond au traitement E : la reprise ayant été d'environ 98 % pour le Pin, 85 % pour l'Épicéa. La mortalité s'est montrée particulièrement élevée pour l'Épicéa, dans les lots T et N; comme nous l'avons dit, cette espèce a souffert de l'excès d'insolation, mais les plants de E, plus vigoureux et mieux nourris, se sont montrés plus résistants que les plants T et N.

### *Croissance des plants.*

Le Pin sylvestre a été nettement moins favorisé par la fertilisation (E et N) que l'Épicéa : ce dernier a fabriqué plus de deux fois plus de matière sèche en E et N qu'en T. Le traitement à l'ammoniac, défavorable la 1<sup>re</sup> année, s'est au contraire montré plus favorable la 2<sup>e</sup> année; en N, les plants des deux espèces ont dépassé les témoins, mais ils restent d'aspect moins vigoureux : l'analyse foliaire nous permettra de proposer une explication de ce phénomène.

Le traitement E-Ca, dans l'ensemble, ne montre aucune supériorité par rapport au traitement E : notons que le résultat final varie suivant le pH obtenu : à pH 7,1, la croissance est très médiocre pour les deux espèces (1/4 de poids sec fabriqué par rapport à E); en outre, les aiguilles sont jaunes, indice certain d'une carence; à pH 6,8, au contraire, la croissance est presque normale, tout en restant plus faible que dans la modalité E pour l'Épicéa.

## II. — Evolution des humus traités

### 1° MÉTHODES

Les méthodes d'analyse utilisées sont les suivantes :

*Carbone organique*: méthode ANNE modifiée.

*Azote total*: méthode KJELDAHL.

*Azote ammoniacal et nitrique*: déplacement par agitation en présence de  $\text{CaCl}_2 \text{N}$ , distillation en présence de  $\text{MgO}$ , dosage par titration de l'azote ammoniacal; réduction de l'azote nitrique par l'alliage Dewarda et dosage sous la forme ammoniacale (méthode DROUINEAU et GOUNY).

Notons que l'azote nitrique formé est nul, pour tous les modes de traitement.

*Cations métalliques échangeables*: percolation lente de 10 g d'humus par 250  $\text{cm}^3$  d'acétate d'Am. N à pH 7; dosage au photomètre à flamme.

*Acides humiques*: extraction par FNa à 1 %; précipitation par  $\text{SO}_4\text{H}_2$ ; dosage par  $\text{MnO}_4\text{K N}/10$ , selon le procédé habituel.

*Matière organique soluble*: dosage du carbone des extraits aqueux obtenus par macération de 20 g d'humus, pendant 24 heures, dans 200  $\text{cm}^3$  d'eau distillée à 30°.

Les expériences effectuées antérieurement au laboratoire, par l'un de nous, ont montré que le traitement à l'ammoniac des humus solubilisait une grande quantité de matière organique: cette matière organique soluble est encore abondante un mois après le traitement (D., 1958). Il était intéressant de rechercher si cette action solubilisante est encore perceptible après deux ans.

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau II.

### 2° DISCUSSION DES RÉSULTATS

a) *Le traitement mécanique* des humus et l'insolation accrue, consécutifs à l'installation des bâches, ont provoqué, même chez les témoins T, une activation de la minéralisation, dont les conséquences sont les suivantes: baisse du taux de carbone, baisse du rapport C/N et surtout élévation du pH et de la teneur en bases échangeables: *le taux de calcium échangeable a presque doublé en T, si on le compare au taux initial.*

b) *Le traitement à  $\text{NH}_3$  gazeux (N)*, qui a provoqué, dans l'im-médiat, la neutralisation approximative des humus et une forte solubilisation de matière organique, ne laisse après deux ans que des traces assez faibles: l'humus est redevenu très acide, l'azote ammoniacal n'est pas plus abondant que dans les témoins (sauf dans un cas); la matière organique soluble est peu abondante. Les pertes en com-

TABLEAU II  
COMPOSITION DES HUMUS TRAITÉS APRES 2 ANS  
(Novembre 1959)  
% de matière sèche à 105°

	pH	C %	N total %	C/N	N amm. mg/100g	C.org. soluble %	Acides hum. %	Cations échang. (1)			F <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ‰
								Ca <sup>++</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	
<b>PIN</b>											
T <sub>1</sub>	4,3	19,46	0,58	33,6	13,2	0,17	1,28	14,98	0,42	1,92	0,08
T <sub>2</sub>	4,5	19,37	0,62	31,2	6,1	0,08	1,15	15,82	0,33	1,65	0,06
N <sub>1</sub>	4,4	17,22	0,61	28,2	11,0	0,05	0,72	13,03	0,34	1,27	0,06
N <sub>2</sub>	4,2	13,46	0,55	24,5	5,3	0,08	0,57	9,75	0,18	1,15	0,04
E <sub>1</sub>	5,0	14,77	0,49	30,1	2,9	0,04	0,99	20,94	0,29	1,24	0,30
E <sub>2</sub>	4,9	13,41	0,55	24,4	3,4	0,09	1,17	22,13	0,30	1,49	0,33
ECa <sub>1</sub>	7,1	15,94	0,56	28,5	3,1	0,05	1,53	62,25	0,25	1,59	0,68
ECa <sub>2</sub>	6,8	16,36	0,68	24,1	3,4	0,03	1,50	56,09	0,26	1,71	0,54
<b>EPICÉA</b>											
T <sub>1</sub>	4,5	18,30	0,66	27,7	19,2	0,08	1,32	15,58	0,48	2,00	0,07
T <sub>2</sub>	4,4	19,76	0,69	28,6	12,6	0,10	1,17	13,32	0,41	1,73	0,08
N <sub>1</sub>	4,1	13,19	0,55	24,0	40,5	0,14	0,78	7,96	0,33	1,32	0,06
N <sub>2</sub>	4,3	16,55	0,65	25,5	7,6	0,11	0,65	14,60	0,26	1,55	0,03
E <sub>1</sub>	4,6	11,98	0,46	26,0	4,9	0,07	1,11	18,32	0,28	1,14	0,28
E <sub>2</sub>	5,1	16,46	0,58	28,4	3,0	0,11	1,29	29,49	0,28	1,29	1,23
ECa <sub>1</sub>	7,0	18,76	0,64	29,3	4,6	0,04	1,61	66,38	0,35	1,77	0,69
ECa <sub>2</sub>	6,8	16,13	0,55	29,3	3,8	0,05	1,41	62,63	0,28	1,48	0,33

(1) en milliequivalents pour 100 g.

N. B. : N nitrique : nul pour toutes les modalités.

posés humiques et en bases, solubilisés et probablement lessivés par les pluies, paraissent avoir été relativement considérables, au moins localement, si on les compare avec T: il se confirme que le traitement à l'ammoniac gazeux de l'humus brut, loin d'être favorable à son amélioration biologique, peut à la longue exercer un effet appauvrissant certain.

c) *Le traitement par les engrais (E) augmente évidemment la teneur en phosphore et en calcium des humus; le pH s'élève mais ne dépasse guère 5. Mais il est important de noter que la teneur en azote ammoniacal est plus faible que dans les témoins.* Cette observation est valable aussi pour le traitement E-Ca: Cette disparition d'azote ammoniacal est certainement due d'une part aux pertes à l'état gazeux, d'autre part à la consommation accrue par les micro-organismes, stimulés par l'effet du traitement. Rappelons que des observations analogues ont été faites à plusieurs reprises (D. et MANGENOT, 1956; D., 1958).

Elles montrent que les engrais ammoniacaux, incorporés à des sols ou à des humus, en cours d'activation biologique, exercent un effet particulièrement fugace.

Enfin, les acides humiques, soumis également à une forte consommation biologique équilibrant leur synthèse, n'ont pas augmenté par rapport à T.

d) *Le traitement par les engrais avec chaulage (E-Ca)* a amené, nous l'avons dit, le pH à 6,8 pour une des bûches, 7,1 pour l'autre.

On note une certaine diminution de  $K^+$  échangeable par rapport à T, alors que la teneur en  $Mg^{++}$  est à peine modifiée. Le taux d'acides humiques est cette fois nettement plus élevé que dans les témoins : rappelons les observations faites à ce sujet, au cours d'expériences antérieures : l'humification est toujours stimulée par la neutralisation par le calcium d'un milieu acide (D. et MANGENOT, 1956 et 1957).

Enfin, le phosphore, peu consommé, en raison de la faible croissance des plants, reste relativement abondant.

### III. — La nutrition des plants contrôlée par l'analyse foliaire

#### 1° MÉTHODES

La méthode de l'analyse foliaire, mise en pratique par de nombreux auteurs (van GOOR, 1956; C.O. TAMM, 1955-1956; LEYTON, 1954; WITTICH, 1956; WEHRMANN, 1959; LAFOND, 1958), permet un diagnostic très précis des conditions de nutrition des espèces résineuses : les « carences » en un élément donné, en particulier N, P, K, Mg, se traduisent par une baisse marquée de la teneur en % des feuilles en l'élément considéré ; il semblait donc indiqué de contrôler par l'analyse foliaire les conditions de nutrition des plants expérimentés ; les chiffres obtenus, comparés aux chiffres cités par les auteurs précédents, sur des peuplements de mêmes essences croissant dans des stations d'écologie très variée, permettent de se faire une idée précise des conditions de nutrition.

L'analyse des feuilles a été complétée par une analyse complète du « plant moyen » ; un certain nombre de plants, semblables par leur poids et leur dimension au plant moyen, ont été prélevés dans chaque lot, puis desséchés à 105°, réduits en poudre et analysés ; leur composition permet d'évaluer la quantité totale de chaque élément absorbée par plant moyen.

L'intérêt de cette seconde analyse est indéniable : lorsque la croissance est lente, un élément, abondant dans le sol, mais mal utilisé par le plant, peut s'accumuler en quantité anormale dans la feuille ; la quantité globale prélevée par l'ensemble du plant reste cependant

TABLEAU III  
ANALYSE DES FEUILLES (Avril 1959)  
Semis de 1 an

	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K %	Ca %	Mg %
<b>PIN</b>					
T <sub>1</sub>	2,80	0,51	0,82	0,21	0,14
T <sub>2</sub>	2,78	0,55	0,86	0,28	0,14
E <sub>1</sub>	3,19	0,75	0,82	0,35	0,17
E <sub>2</sub>	2,83	0,79	0,86	0,34	0,17
ECa <sub>1</sub>	2,32	0,64	0,94	1,16	0,09
ECa <sub>2</sub>	2,44	0,73	1,00	1,11	0,13
<b>EPICÉA</b>					
T <sub>1</sub>	2,70	0,40	0,70	0,28	0,15
T <sub>2</sub>	2,73	0,42	0,89	0,33	0,16
N <sub>1</sub>	4,39	0,87	0,82	0,37	0,18
N <sub>2</sub>	3,91	0,81	0,80	0,48	0,21
E <sub>1</sub>	3,56	0,91	0,86	0,72	0,18
E <sub>2</sub>	3,34	0,91	0,84	0,69	0,18
ECa <sub>1</sub>	2,51	0,81	0,86	1,27	0,12
ECa <sub>2</sub>	2,70	0,87	0,96	1,17	0,14

N. B. — L'analyse des semis de pins des lots N n'a pas été effectuée.

TABLEAU IV  
ANALYSE DES FEUILLES (Novembre 1959)  
Plants de 2 ans

	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K %	Ca %	Mg %	Fe ‰
<b>PIN</b>						
T <sub>1</sub>	2,62	0,47	0,67	0,47	0,10	0,14
T <sub>2</sub>	2,55	0,44	0,67	0,52	0,14	0,16
N <sub>1</sub>	2,56	0,38	0,65	0,55	0,12	0,14
N <sub>2</sub>	3,23	0,41	0,56	0,49	0,10	0,14
E <sub>1</sub>	2,05	0,47	0,55	0,77	0,16	0,15
E <sub>2</sub>	1,86	0,47	0,70	0,84	0,14	0,21
ECa <sub>1</sub>	2,07	0,52	0,90	1,18	0,07	0,13
ECa <sub>2</sub>	2,45	0,50	0,65	0,89	0,10	0,15
<b>EPICÉA</b>						
T <sub>1</sub>	2,76	0,50	0,55	0,77	0,15	0,16
T <sub>2</sub>	2,79	0,47	0,47	0,96	0,11	0,12
N <sub>1</sub>	3,02	0,39	0,47	0,87	0,19	0,13
N <sub>2</sub>	3,15	0,44	0,49	0,66	0,13	0,15
E <sub>1</sub>	2,17	0,73	0,47	1,78	0,17	0,18
E <sub>2</sub>	2,28	0,70	0,51	1,67	0,13	0,16
ECa <sub>1</sub>	1,98	0,68	0,76	2,05	0,06	0,13
ECa <sub>2</sub>	2,40	0,67	0,59	1,85	0,09	0,12

TABLEAU V  
ANALYSE GLOBALE DES PLANTS MOYENS  
(Novembre 1959)

	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K %	Ca %	Mg %	Fe ‰
PIN						
T <sub>1</sub>	2,41	0,49	0,57	0,32	0,09	0,15
T <sub>2</sub>	2,23	0,43	0,57	0,41	0,12	0,17
N <sub>1</sub>	2,76	0,39	0,55	0,29	0,09	0,21
N <sub>2</sub>	2,48	0,34	0,57	0,32	0,10	0,33
E <sub>1</sub>	1,60	0,46	0,53	0,60	0,10	0,16
E <sub>2</sub>	1,72	0,52	0,65	0,56	0,10	0,19
ECa <sub>1</sub>	2,05	0,53	0,82	0,89	0,09	0,20
ECa <sub>2</sub>	2,05	0,63	0,61	0,72	0,07	0,23
EPICEA						
T <sub>1</sub>	2,89	0,54	0,55	0,53	0,12	0,20
T <sub>2</sub>	2,52	0,51	0,53	0,68	0,11	0,23
N <sub>1</sub>	2,63	0,36	0,46	0,55	0,12	0,19
N <sub>2</sub>	2,72	0,36	0,49	0,56	0,12	0,26
E <sub>1</sub>	2,15	0,69	0,60	0,89	0,14	0,17
E <sub>2</sub>	2,00	0,67	0,53	0,94	0,11	0,23
ECa <sub>1</sub>	2,14	0,69	0,74	1,47	0,10	0,26
ECa <sub>2</sub>	2,24	0,67	0,53	1,20	0,09	0,37

TABLEAU VI  
PRELEVEMENTS TOTAUX, en mg, par plant moyen  
(Novembre 1959)

	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K	Ca	Mg	Fer
PIN						
T <sub>1</sub>	31,33	6,37	7,41	4,16	1,17	0,19
T <sub>2</sub>	44,60	8,60	11,40	8,20	2,40	0,34
N <sub>1</sub>	49,68	7,02	9,90	5,22	1,62	0,38
N <sub>2</sub>	57,04	7,82	13,11	7,36	2,30	0,76
E <sub>1</sub>	25,60	7,36	8,48	9,60	1,60	0,26
E <sub>2</sub>	37,84	11,44	14,30	12,32	2,20	0,42
ECa <sub>1</sub>	10,25	2,65	4,10	4,45	0,45	0,10
ECa <sub>2</sub>	34,85	10,71	10,37	12,24	1,19	0,39
EPICEA						
T <sub>1</sub>	17,34	3,24	3,30	3,18	0,72	0,12
T <sub>2</sub>	12,60	2,55	2,65	3,40	0,55	0,11
N <sub>1</sub>	31,56	4,32	5,52	6,60	1,44	0,23
N <sub>2</sub>	32,64	4,32	5,88	6,72	1,44	0,31
E <sub>1</sub>	25,80	8,28	7,20	10,68	1,68	0,20
E <sub>2</sub>	28,00	9,38	7,42	13,16	1,54	0,32
ECa <sub>1</sub>	6,42	2,07	2,22	4,41	0,30	0,08
ECa <sub>2</sub>	15,68	4,69	3,71	8,40	0,63	0,26

plus faible que dans les sujets à croissance normale; par exemple K pour l'Épicéa du lot E-Ca, comparé à E.

Inversement, si la croissance du plant est fortement stimulée par un mode de traitement, le % d'un élément moins disponible dans le sol peut s'abaisser par rapport au témoin, alors que la quantité globale prélevée reste néanmoins plus élevée: c'est le cas de N pour l'Épicéa dans la modalité E.

Les analyses foliaires ont été pratiquées sur les aiguilles de l'année: 1° en avril 1959, sur le résidu du repiquage (ce qui explique l'absence de pins analysés dans la catégorie N, leur nombre ayant été insuffisant), tableau III; 2° en novembre 1959, sur les plants ayant 2 ans de végétation, tableau IV.

Les tableaux V et VI donnent la composition du « plant moyen », en % (tableau V) et globalement (tableau VI).

### *Interprétations.*

L'interprétation des analyses foliaires effectuées en novembre 1959 ne présente pas de difficultés: on sait en effet (WEHRMANN, 1959), qu'en automne, la composition des feuilles de Résineux se stabilise; c'est l'époque normale à laquelle on procède habituellement à ces analyses; il est donc possible de comparer les chiffres obtenus à ceux publiés par les auteurs cités précédemment.

Il n'en est pas de même des analyses effectuées en avril 1959: à cette époque, les plants étant déjà en période de végétation, la composition des feuilles était différente de celle de la période de repos: si on adopte les chiffres cités par WEHRMANN, le taux de calcium est nettement plus faible au printemps qu'en automne, alors que *le taux d'azote est plus élevé d'environ 1 %*: il n'est donc pas possible de comparer les chiffres d'avril à ceux de novembre 1959; mais il est au contraire particulièrement indiqué, pour se faire une idée de l'évolution des conditions de nutrition, de comparer *entre eux* les chiffres obtenus à une même époque: ainsi on remarquera que, pour l'Épicéa, *le taux d'azote dans les feuilles est plus élevé en E qu'en T en avril, alors que c'est l'inverse en novembre 1959.*

Les méthodes de dosage sont les suivantes: la minéralisation de la poudre des feuilles (ou des plants complets) a été obtenue par voie humide, par digestion à  $\text{SO}_4\text{H}_2$ , bouillant additionné à plusieurs reprises d'eau oxygénée à 100 vol.; P a été dosé sur cette liqueur par colorimétrie molybdique, N par distillation,  $\text{K}^+$  et  $\text{Ca}^{++}$  au photomètre à flamme, enfin  $\text{Mg}^{++}$  par colorimétrie au jaune de titane.

## 2° DISCUSSION DES RÉSULTATS

### *Nutrition azotée.*

*Après la première année de végétation*, l'optimum en ce qui concerne la nutrition azotée paraît atteint en E pour les deux espèces:

sans doute la teneur des aiguilles en azote est encore plus forte en N, mais il semble s'agir d'une accumulation excessive, pouvant résulter d'un déséquilibre de la nutrition.

Il semble bien que le Pin et surtout l'*Epicéa* aient souffert d'une carence légère en T et plus encore en E-Ca, si on tient compte du fait que les chiffres obtenus sont augmentés par rapport à la normale, en raison de la période de forte activité végétative à laquelle ont été effectués les prélèvements d'aiguilles: En T, l'*Epicéa* a manifestement souffert de la forte concurrence liée à la densité des semis, alors que l'humus à C/N trop élevé libérait l'azote ammoniacal en quantité insuffisante; ce fait confirme les résultats obtenus antérieurement (D., 1957). D'autre part, il est manifeste que l'apport de calcaire a fortement freiné la nutrition azotée pour les deux espèces.

*La deuxième année*, les conditions sont tout autres: on observe une tendance à l'uniformisation des conditions de nutrition azotée dans les différents lots, en liaison avec l'évolution des humus traités: on constate que, cette fois, la teneur en azote des aiguilles est plus élevée en T qu'en E. Ceci indique manifestement une augmentation de la quantité d'azote disponible par plant, en T, et au contraire une diminution en E: ce qui s'explique aisément par l'évolution des humus et les modifications intervenues dans la concurrence; en T, la concurrence est moindre qu'en première année (plants moins serrés) et l'humus a été activé par l'insolation, ce qui se traduit d'ailleurs, nous l'avons vu, par une production d'azote ammoniacal assez élevée.

En E au contraire, les conditions de l'alimentation azotée sont bien moins bonnes qu'en première année, par suite de la disparition rapide de l'azote ammoniacal, déjà signalée.

En N, la teneur en azote des feuilles se rapproche de la normale; enfin, en E-Ca, les conditions, bien que meilleures qu'à la fin de la première année, restent peu favorables, notamment dans l'une des bûches, celle où le pH dépasse 7.

#### *Nutrition en phosphore.*

La nutrition en phosphore a été exaltée, au cours de la première année de végétation par le traitement à l'ammoniac (N), probablement en raison de la mobilisation du phosphore par la matière organique solubilisée: là encore, la tendance se renverse au cours de la deuxième année de végétation, sans toutefois que les teneurs des aiguilles atteignent le seuil de carence. Les différences de réaction du Pin sylvestre et de l'*Epicéa*, à la fertilisation par engrais phosphaté, sont particulièrement significatives: la teneur des aiguilles de Pin en phosphore n'est pas modifiée (ou fort peu), en E et E-Ca,

par rapport aux témoins T; il n'en est pas de même de l'Épicéa, dont les aiguilles montrent une considérable amélioration de la nutrition en phosphore dans les lots fertilisés: *les engrais phosphorés ont été beaucoup mieux utilisés par l'Épicéa que par le Pin.*

#### *Nutrition en calcium.*

Elle est satisfaisante dans tous les lots, même les témoins T: dans ces derniers lots, la teneur en calcium des feuilles est même particulièrement élevée pour un sol acide, sans doute à la suite de la libération de calcium provoquée par l'active minéralisation de la matière organique: cette observation confirme les observations antérieures concernant la rareté des carences en calcium des Résineux acidiphiles, même sur humus brut, à condition qu'il soit suffisamment actif.

On note l'existence d'une « consommation de luxe » accentuée, aussi bien pour le Pin sylvestre que pour l'Épicéa, lorsque le calcium assimilable devient surabondant: en E et surtout en E-Ca, *la teneur en calcium est plus que doublée par rapport aux témoins*; l'accumulation du calcium dans les feuilles est donc sous la dépendance étroite de la composition chimique du substratum: ceci a été noté fréquemment pour d'autres espèces que les Résineux (RÜHL, 1957).

#### *Nutrition en potassium et magnésium.*

Les chiffres obtenus pour le potassium montrent une alimentation favorable en cet élément, dans tous les lots traités ou non traités: rappelons, à ce sujet, que la carence des Résineux en potassium — comme celle en calcium — est un phénomène peu fréquent sur humus brut (D., 1958; GUINAUDEAU, 1959).

Au contraire, la nutrition en magnésium paraît peu satisfaisante, dans l'ensemble des lots traités, sauf peut-être en E (les scories contiennent, en effet, un peu de magnésium assimilable); dans presque tous les cas, la teneur des aiguilles en magnésium n'est pas très supérieure au seuil de carence (LAFOND, 1958).

Le traitement de l'humus par le calcaire (E-Ca) est suivi d'effets inversés, en ce qui concerne l'absorption du potassium et du magnésium: *alors que l'absorption du potassium est peu modifiée (voire augmentée) par la neutralisation par le calcaire, celle en magnésium est au contraire fortement freinée*; pour le potassium, l'augmentation de la teneur des feuilles en milieu neutre semble résulter, nous l'avons dit, d'un défaut d'utilisation de K absorbé, lié à une croissance ralentie (cf. analyse globale par plant). Quant au magnésium, il semble bien qu'il s'agisse d'un véritable antagonisme calcium-magnésium, lorsque le premier a tendance à être absorbé en excès.

Le seuil de carence en Mg est atteint en E-Ca : la croissance diminue de ce fait sensiblement pour l'Epicéa à pH 6,8, et très fortement, pour les deux espèces, à pH 7,1 (teneur en Mg des aiguilles respectivement 0,07 et 0,06 %).

Signalons, au contraire, que la nutrition *en fer* est partout satisfaisante, même en milieu neutralisé.

---

## CONCLUSIONS GÉNÉRALES

---

En comparant l'ensemble des résultats obtenus, il devient possible de formuler une conclusion générale, concernant l'efficacité des divers traitements essayés sur humus brut.

1° *Le traitement mécanique des humus bruts (T)* a provoqué une évolution favorable de ces humus : la minéralisation a été accélérée, la teneur en bases échangeables a notablement augmenté. Mais cette évolution s'est avérée trop lente pour l'Épicéa, qui a souffert d'une insuffisance d'azote au départ. Par contre, le Pin sylvestre, dans les lots T, s'est très bien comporté et a montré une croissance et une vigueur presque aussi satisfaisantes qu'en E.

2° *L'apport d'ammoniac gazeux (N)* s'est montré nettement nuisible à la germination et à la croissance des semis, la première année surtout. En effet, ce traitement n'a exercé sur l'humus qu'un effet de courte durée : dès la 2<sup>e</sup> année, il était revenu à un état proche de l'état initial (pH 4,2), souvent même plus pauvre que les témoins en bases et en acides humiques. Au cours de la première année, les semis ont accumulé dans leurs tissus un excès de N et de P mobilisé par le traitement, qu'ils ont utilisé en deuxième année, ce qui leur a permis de « rattraper », dans une certaine mesure, leur retard initial de croissance ; mais la vigueur médiocre de ces plants témoigne d'un certain déséquilibre de la nutrition.

3° *L'apport d'engrais* (en phosphore et en calcium), accompagné d'une petite quantité d'azote ammoniacal, s'est montré très favorable : le pH final obtenu, voisin de 5, paraît être le plus favorable. La levée, la reprise, la croissance des plants atteignent leur optimum. Mais l'action des engrais a été beaucoup plus efficace sur l'Épicéa que sur le Pin, notamment en ce qui concerne le phosphore, mieux utilisé par le premier. De même, un apport d'azote est indispensable, initialement, à l'Épicéa, plus sensible à la carence en cet élément que le Pin : l'apport d'engrais non azoté provoque, en effet, une surconsommation d'azote minéral par les micro-organismes qu'il convient de compenser. La nutrition azotée de l'Épicéa a été meilleure en E qu'en T, la première année, mais la tendance s'est renversée dès la deuxième année : ce phénomène est lié à une disparition rapide de l'azote ammoniacal de l'humus fertilisé ; cette observation

démontre l'efficacité réelle, mais de très *courte durée*, des engrais ammoniacaux, dans les sols biologiquement actifs : dans la pratique, il convient de renouveler l'apport de ces engrais plusieurs années consécutives.

4° *La neutralisation par le calcaire (E-Ca)* n'a en rien amélioré l'utilisation des engrais par les plants, bien au contraire. Dès la première année, les pertes d'azote massives (à l'état gazeux et probablement aussi par utilisation microbiologique) ont induit chez les deux espèces, surtout chez l'Épicéa, une nette carence en azote ; celle-ci a été, par contre, nettement atténuée en deuxième année. Les conditions les plus mauvaises s'observent lorsque le pH final dépasse 7 : les plants ont alors une croissance réduite et montrent un jaunissement accentué des aiguilles ; l'analyse foliaire indique qu'une notable augmentation de la teneur en calcium des aiguilles est accompagnée d'une carence marquée en magnésium. Ainsi, l'excès de calcium dans le sol nuirait à l'absorption normale du magnésium par certains résineux, même lorsque cet élément existe en quantité suffisante dans le sol.

#### *Conséquences pratiques.*

Il se dégage de cette étude quelques conclusions pratiques, concernant la fertilisation des plantations de Résineux, sur les sols podzoliques à humus brut.

L'humus brut n'est pas un milieu défavorable à la plupart des Résineux : il contient des réserves, parfois abondantes, en tous éléments nutritifs, mais qui se trouvent sous une forme en général insuffisamment disponible, notamment en ce qui concerne l'*azote* et le *phosphore*. Par contre, dans la majorité des cas, la nutrition en bases, Ca, K, Mg, s'y montre satisfaisante : il est donc inutile d'apporter des doses massives de ces éléments.

D'autre part, il convient de ne pas éliminer l'humus brut par décapage, mais de l'*activer* : notre expérience montre qu'une activation mécanique, par travail superficiel du sol, peut être efficace, et même suffisante, pour des espèces peu exigeantes, telles que les Pins.

Pour d'autres cas, on aura intérêt à procéder à une fertilisation chimique, par apport de phosphore et d'azote ; l'apport de scories ou de phosphates moulus est presque toujours efficace : mais il s'accompagne d'une perte à l'état gazeux et d'une surconsommation microbienne d'azote qu'il est nécessaire de compenser, par des apports d'engrais azotés ; ceux-ci doivent être répétés plusieurs années consécutives, car leur efficacité s'avère de durée limitée.

## BIBLIOGRAPHIE

---

- DUCHAUFOUR (Ph.). — Un cas de carence azotée de l'Épicéa décelée par le diagnostic foliaire. *R.F.F.*, 1957, **2**, 128-136.
- DUCHAUFOUR (Ph.). — Sur la neutralisation des humus acides de forêt par la chaux ou par le gaz ammoniac. *Bull. A.F.E.S.*, fév. 1958, 58-66.
- DUCHAUFOUR (Ph.). — L'utilisation des engrais en forêt. *R.F.F.*, 1958, **6**, 377-392.
- DUCHAUFOUR (Ph.) et GUINAUDEAU (J.). — Une expérience de chaulage sur humus brut. *An. Ecole Nat. Eaux et Forêts*, 1957, **15**, **2**, 335-364.
- DUCHAUFOUR (Ph.) et MANGENOT (F.). — Recherches sur l'évolution expérimentale de certains humus. *Ann. Agr.*, 1956, **2**, 159-181.
- DUCHAUFOUR (Ph.) et MANGENOT (F.). — Recherches sur l'évolution expérimentale de certains humus. II. Humification biologique et abiologique. *Ann. Agr.*, 1957, **4**, 573-583.
- FRANZ (H.). — Der derzeitige Stand unseres Wissens auf dem Gebiete der Walddüngung. *Allgemeine Forstzeitung*, 1957, **5/6**, 58-63.
- GOOR (C. P. van). — Potassium deficiency as a cause of yellow tip disease in Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Corsican pine (*Pinus nigra* var. *corsicana*). *Bosbouwproefstation T.N.O.*, 1956, **25**, 21-31.
- GUINAUDEAU (J.). — Une expérience d'emploi d'engrais dans un reboisement par semis de Pin maritime à Mimizan (Landes). *R.F.F.*, 1959, **4**, 310-316.
- LAFOND (A.). — Les déficiences en potassium et magnésium de quelques plantations de *Pinus strobus*, *Pinus resinosa* et *Pinus glauca* dans la Province de Québec. *Fonds de Recher. forest. de l'Univ. Laval*, Québec, 1958, 24 p.
- LEYTON (L.). — The growth and mineral nutrition of Spruce and Pine in heathland plantations. *Imperial Forestry Inst., Univ. Oxford, Inst. Paper*, 1954, **31**, 1-109.
- RÜHL (A.). — Eine Auswertung von Streuanalysen aus norddeutschen Mittelgebirgen. *Forstwissenschaft. Centralblatt*, 1957, **11/12**, 364-376.
- TAMM (C.-O.). — Studies on forest nutrition. I: 5, 34 p.; II: 6, 10 p.; **45**, 1955. III: 3, 84 p.; IV: 7, 27 p.; **46**, 1956. *Medd. fran Statens Skogsforskningsinst.*
- WEHRMANN (J.). — Mineralstoffernährung von Kiefernbeständen in Bayern. *Zeitsch. f. Pflanzenernähr., Düng., Bodenkunde*, 1959, **84**, 1-3, 271-279.
- WEHRMANN (J.). — Methodische Untersuchungen zur Durchführung von Nadelanalysen in Kiefernbeständen. *Forstwissenschaft. Centralblatt*, 1959, **78**, 3/4, 65-128.
- WEHRMANN (J.). — Die Mineralstoffernährung von Kiefernbeständen (*Pinus silvestris*) in Bayern. *Forstwissenschaft. Centralblatt*, 1959, **78**, 5/6, 129-149.
- WITTICH (W.). — 50 Jahre Ebnath. (Weitere Untersuchungen über die Melioration extrem ungünstiger Rohhumusböden). *Forstwissenschaft. Centralblatt*, 1956, 9/10, 407-422.
- WITTICH (W.). — Bodenkundliche und pflanzenphysiologische Grundlagen der mineralischen Düngung im Walde und Möglichkeiten für die Ermittlung des Nährstoffbedarfes. *Allgemeine Forstzeitsch.*, 1958, **10**, 121-124.

## RÉSUMÉ

---

L'expérimentation a porté sur la germination et la croissance de Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) et d'Épicéa (*Picea excelsa*), sur Mor traités par différents moyens chimiques; les semis ont été effectués au printemps 1958 sur « bâches de semis », de 0,5 m<sup>2</sup> de surface, et de 0,30 m d'épaisseur; ils ont été repiqués sur place, à raison de 500 au m<sup>2</sup>, au printemps 1959; enfin, les plants ont été arrachés, mesurés, pesés et analysés, en novembre 1959.

Les quatre modalités de l'expérience, effectuée en double pour chaque espèce, sont les suivantes:

*T*: témoin, Mor, pH 3,8, C/N 36.

*N*: même humus neutralisé par injection NH<sub>3</sub> gazeux.

*E*: même humus, enrichi par un engrais comprenant: 500 g de « scories » et 250 g de sulfate d'ammonium pour 100 kg d'humus.

*E-Ca*: même traitement, mais l'humus est en outre neutralisé par apport de 1,1 kg de CO<sub>3</sub>Ca pour 100 kg d'humus humide.

L'évolution des humus a été suivie, en outre la nutrition des plants a été contrôlée par l'analyse foliaire en avril et en novembre 1959, ainsi que par l'analyse globale du plant moyen de chaque lot.

Les résultats essentiels obtenus sont les suivants:

1° *Le simple traitement mécanique* de l'humus brut a provoqué une évolution favorable des humus, avec élévation du pH et augmentation de la teneur en bases échangeables; ce milieu s'est avéré favorable au Pin, mais l'Épicéa a souffert d'une légère carence en azote en première année (qui a été corrigée en deuxième année, après repiquage).

2° *La neutralisation par l'ammoniac gazeux* a été suivie d'effets défavorables: fonte massive des semis et déséquilibre de leur nutrition; les humus traités ont subi la première année des pertes en bases et en acides humiques par lessivage; à la fin de la deuxième année, leur pH était retourné à 4,2 et les réserves en ammoniac échangeable étaient épuisées.

3° *Le traitement par les engrais* s'est avéré le plus favorable, le pH final obtenu (5) paraissant l'optimum; l'Épicéa a beaucoup mieux utilisé ces engrais, notamment le phosphore, que le Pin. L'enrichissement en azote ammoniacal, utile la première année, n'a en fait exercé qu'une action fugace; les plants ayant été moins bien alimentés en cet élément que ceux des lots témoins, en deuxième année.

4° *La neutralisation par le calcaire (avec engrais)* s'est montrée plus nuisible qu'utile: les pertes en azote gazeux ou par fixation biologique de l'ammoniac paraissent avoir été immédiates et intenses (légère carence en azote de l'Épicéa, la première année). En outre, l'absorption excessive de calcium semble avoir nui à celle du magnésium: à pH 7,1, une carence marquée en cet élément a provoqué un jaunissement des aiguilles et une forte diminution de croissance.

---

## SUMMARY

---

The experience deals with the germination and growth of Scotch Pine (*Pinus sylvestris*) and Norway Spruce (*Picea excelsa*) cultivated on humus of the Mor type, which were treated by different chemical means. Seedlings were started during fall 1958, using seedbeds of 0,5 m<sup>2</sup> of surface and 0,30 m thick. They were *transplanted on the spot* with a spacing of 500 to the m<sup>2</sup> during fall 1959. Finally all of them were unrooted, measured, weighed, and carefully examined in November 1959.

The four treatments of the experience, repeated twice for each species are the following:

T: control, Mor, pH 3,8, C/N 36.

N: same kind of humus, neutralized by injection of gaseous NH<sub>3</sub>.

E: same kind of humus improved by the following fertilizer: 500 g of « scorias » and 250 g of ammonium sulfate to every 100 kg of humus.

E-Ca: same treatment, the humus being here neutralized by addition of 1,1 kg of CO<sub>3</sub>Ca to every 100 kg of moist humus.

The evolution of the different humus received great consideration; seedling nutrition was controlled by leaf analysis, carried out subsequently in April and November 1959. Finally, a complete analysis, of the mean seedling from every treatment was also carried out.

The main findings may be summarized as follow:

1° *The simple mechanical treatment* of the raw humus resulted in a favourable evolution of the different ones, with increasing pH and exchangeable bases content. This substratum was profitable to Pine, while Spruce showed a light nitrogen deficiency the first year, (which was corrected the following year after transplanting).

2° *The neutralization by use of gaseous ammonia* had negative effects: severe damping-off and unbalanced seedling nutrition. The humus treated the first year encountered losses in humic acids and bases due to leaching. Nevertheless, at the end of the second year, the pH value came back to 4,2 and supplies in exchangeable ammonia were out.

3° *The treatment using fertilizers* was so far the most successful with a final pH (5) which seemed to be the best. Spruce, more than Pine, made better use of these fertilizers, namely phosphorous. The improvement with addition of ammoniacal nitrogen, although quite useful the first year, had but a mere brief influence: the seedlings being much less supplied the following year by this element than those from the control.

4° *The neutralization by calcareous mixture (with fertilizers)* was more harmful than useful: losses in gaseous nitrogen or by the biological fixation of ammonium seemed to be immediate and intensive, (light nitrogen deficiency in Spruce the first year). Plus, an excessive absorption of calcium seemed also harmful to the absorption of magnesium: at a pH of 7.1 a marked magnesium deficiency caused yellowing of the leaves and high growth reduction.

(Trad. L. PARROT.)

---

## ZUSAMMENFASSUNG

---

Die Untersuchung betraf die Keimung und das Wachstum der Kiefer (*Pinus sylvestris*) und der Fichte (*Picea excelsa*) auf Moorböden, die mit verschiedenen chemischen Mitteln behandelt werden; die Saaten wurden im Frühjahr 1958 auf vorbereiteten Saatplätzen von einer Grösse von 0,5 m<sup>2</sup> und im Abstand 0,30 m ausgeführt, sie sind *an Ort und Stelle verschult* worden, nach Massgabe von 500/m<sup>2</sup>, im Frühjahr 1959; endlich sind die Pflanzen im November 1959 ausgehoben, gemessen, gewogen und analysiert worden.

Die folgenden vier Untersuchungsreihen, mit je einer Wiederholung für jede Art, wurden ausgeführt:

T (témoin): Unbehandelte Vergleichsfläche, Mor, pH 3.8 C/N 36.

N: Der gleiche Humus wurde durch eine NH<sub>3</sub> Gabe in Gasform neutralisiert.

E: Der gleiche Humus wurde angereichert mit einem Düngemittel, enthaltend 500 g « Schlake » und 250 g Ammoniumsulfat auf 100 kg Humus.

E-Ca: Die gleiche Behandlung doch wurde der Humus zusätzlich durch eine Gabe von 1,1 kg CO<sub>3</sub>Ca auf 100 kg feuchten Humus neutralisiert.

Die Entwicklung des Humus ist verfolgt worden, daneben ist der Stoffwechsel der Pflanzen durch Blattanalyse im April und November 1959 sowie durch eine Gesamtanalyse der Mittelpflanze jedes Versuchsfeldes nachgeprüft worden.

Die im Wesentlichen erhaltenen Ergebnisse sind:

1° Die einfache mechanische Durcharbeitung des Rohhumus hat eine günstige Entwicklung des Humus mit Aufstieg des pH und Anreicherung an austauschbaren Basen eingeleitet; das Milieu hat sich als günstig für die Kiefer erwiesen, jedoch hat die Fichte im ersten Jahr unter einem leichten Stickstoffmangel gelitten (welcher Fehler im zweiten Jahr nach Verschulen ausgeglichen wurde).

2° Die Neutralisation durch den Ammoniak in Gasform hatte ungünstige Wirkungen zur Folge: Einheitlicher Verfall der Pflanzen und Unausgeglichenheit im Stoffwechsel; der behandelte Humus ist im ersten Jahr durch Auslaugung an Basen und Humussäu-

ren verarmt; am Ende des zweiten Jahres war das pH auf 4,2 gesunken und die Reserven an austauschbarem Ammoniak hatten sich erschöpft.

3° *Die Behandlung mit Düngemitteln* hat sich als das günstigste herausgestellt, das schliesslich erreichte pH (5) schien das Optimum darzustellen; die Fichte hat diesen Dünger, besonders den Phosphor, sehr viel besser ausgenutzt als die Kiefer. Die Anreicherung mit Ammoniumstickstoff, welche im ersten Jahr wirksam war, hat im Endeffekt nur eine flüchtige Wirkung ausgeübt; die Pflanzen waren hiermit im zweiten Jahr schlechter versorgt als die der unbehandelten Vergleichsflächen.

4° *Die Neutralisation durch Kalk (mit Dünger)* hat sich mehr schädlich als nützlich gezeigt; die Verluste an gasförmigen Stickstoff oder durch biologische Festlegung des Ammoniak scheinen unmittelbar und heftig gewesen zu sein (leichter Stickstoffmangel der Fichte im ersten Jahr). Unter anderen scheint die übermässige Absorbierung des Calciums der des Magnesiums Abbruch getan zu haben; bei pH 7,1 hat der deutliche Mangel an diesem Element ein Gelbwerden der Nadeln und einen starken Wuchsrückgang verursacht.

(Trad. H.-J. OTTO.)

---