

DE L'INFLUENCE DE LA CHALEUR ET DES RADIATIONS SUR L'ACTIVATION DE L'HUMUS FORESTIER

Les contrastes climatiques saisonniers, ou les contrastes de micro-climat provoqués par l'homme (coupes violentes éclairant brusquement un sol jusque là ombragé) paraissent jouer un rôle déterminant dans l'activation de l'humus. Les exemples, tirés de faits d'observation courante de la part des forestiers, en sont nombreux; rappelez-en quelques-uns.

La matière organique est décomposée beaucoup plus rapidement dans les climats à opposition saisonnière marquée, à étés ensoleillés succédant à des hivers froids et enneigés, que dans des climats humides, à forte nébulosité et à extrêmes peu accentués. C'est ainsi que l'humus s'accumule sur une forte épaisseur, dans les régions à climat montagnard très humide: au Mont-Lozère, même sous les pelouses (Nardaie), il n'est pas rare de trouver des sols noirs contenant 30 % de matière organique, sur des épaisseurs dépassant 30 cm; au contraire, dans les prés-bois de Mélèze, qui occupent l'étage subalpin sec des Alpes internes, le sol reste un sol brun, peu acidifié ($\text{pH} > 5$), contenant en général moins de 6 % de matière organique, sur une épaisseur inférieure à une dizaine de centimètres (1).

D'autre part, on sait qu'une coupe effectuée dans une forêt clairière à sous-bois de Bruyères, dans l'Ouest de la France, ne provoque aucune modification de la matière organique. La couche d'humus brut, la « terre de Bruyères », reste sensiblement d'épaisseur constante. Si, par contre, nous quittons la région atlantique, pour nous transporter dans une contrée à climat boréal ou montagnard, nous constaterons que l'effet des coupes rases est tout autre: sous l'influence d'une insolation brutale, les couches les plus épaisses d'humus d'Ericacées se décomposent très rapidement, en libérant d'importantes quantités d'azote minéral; les forestiers suédois connaissent bien ce phénomène, qu'ils utilisent sur une large échelle, pour « mobiliser » l'azote de leur sol jusque là engagé dans des combinaisons organiques complexes, donc inassimilable, et favoriser ainsi leurs régénérations.

Il nous a paru intéressant de chercher à préciser, à l'aide d'expé-

(1) Ph. DUCHAUFOUR. Recherches sur la sylviculture et l'écologie du Mèlèze. II. Pédologie et Facteurs biotiques. *Ann. Ecole Nat. Eaux et Forêts*, t. XIII, p. 133.

riences menées conjointement au laboratoire et sur le terrain, les modalités de cette activation de l'humus, sous l'influence des variations brutales de température et d'ensoleillement, soit naturelles, soit provoquées par l'homme. Nous rappellerons brièvement d'abord, comment se manifeste cette activation, en définissant le phénomène de « minéralisation » de l'humus.

I. — LA MINÉRALISATION DE L'HUMUS FORESTIER ; SON ÉTUDE AU LABORATOIRE

Rappelons que l'humus est un mélange de divers complexes à grosses molécules, qui contient de l'azote à l'état « stocké », en réserve, mais inassimilable pour les plantes. Cet azote est libéré progressivement par le phénomène de la « minéralisation » lente de cet humus, au cours de laquelle les complexes précédents se décomposent en produits simples ou gazeux, CO_2 , NH_3 et NO_3H : c'est sous ces deux formes d'azote ammoniacal et azote nitrique, groupés sous le vocable d'*azote minéral*, que se fait la nutrition azotée de la plante.

La *nitrification*, qui est la production d'azote nitrique, n'est donc qu'un cas particulier de cette minéralisation ; elle n'a lieu qu'à un pH assez élevé (supérieur à 6), alors que la production d'ammoniaque débute dans des milieux beaucoup plus acides. Notons que ces deux éléments, azote ammoniacal et azote nitrique, présentent pour la nutrition azotée de la plante une valeur sensiblement équivalente ; c'est la raison pour laquelle ils ont été dosés simultanément dans les recherches qui suivent.

Rappelons également que l'humus brut (Mor), qui forme en surface un horizon A_0 presque exclusivement organique et dont le rapport carbone/azote (C/N) est toujours très élevé, se minéralise en général beaucoup plus lentement que l'humus doux (Mull), humus peu acide, à rapport C/N faible, et qui est incorporé au sol minéral.

Alors que l'évolution de l'humus est souvent difficile à suivre sur le terrain, il est plus aisé au contraire de l'étudier au laboratoire, en plaçant les échantillons de sols dans des étuves hermétiques à 30°, en atmosphère saturée d'humidité, mais de façon qu'ils soient toujours parfaitement aérés ; en se plaçant ainsi à des conditions optima, au point de vue de l'activité microbienne, on peut admettre qu'un séjour de 1 mois en étuve correspond à peu près, en ce qui concerne l'évolution de l'humus, à une période d'un an, dans des conditions naturelles en climat tempéré. Il est, dès lors, possible de doser à intervalles réguliers, la quantité d'azote minéral libéré, de le rapporter à l'azote total (azote organique + azote minéral) et de construire, en fonction du temps, une courbe de minéralisation de l'humus, qui donne une idée de son activité. On définit ainsi un *taux de minéralisation*, qui est le rapport de l'azote minéralisé en 5

semaines à l'azote total. Les résultats d'une première année d'expérimentation sur l'humus ont été exposés dans une note publiée antérieurement (1). Non seulement les différents types d'humus ont une activité très variable, mais encore on a pu mettre en évidence une influence de la saison et surtout *des contrastes de température*: *le thermopériodisme agit de façon très nette sur l'activité de l'humus*; une terre, prélevée en été, placée à la chambre froide pendant un mois, puis mise à minéraliser à l'étuve, montre un taux de minéralisation multiplié par 1,5 à 2,5, par rapport à une terre témoin, non soumise antérieurement à l'action du froid. Signalons qu'il est nécessaire, pour que cette expérience réussisse, que la terre n'ait pas été préalablement soumise à une période de sécheresse prolongée accompagnée de fortes chaleurs, comme ce fut le cas pendant l'été 1952.

Ainsi, les variations de température agissent, à elles seules, sur l'activité de l'humus. Mais, dans la nature, à ces variations de température se superposent des variations d'*intensité des radiations solaires*, qui paraissent avoir une importance plus grande encore: l'insolation du sol varie, en effet, dans des proportions considérables après une coupe brutale, dans un peuplement fermé. Par les coupes, le forestier dispose donc d'un moyen d'action particulièrement puissant, sur l'évolution de l'humus.

Mais il est un autre moyen plus radical encore, qui semble aussi très efficace quoiqu'il soit parfois dangereux et doit être mis en œuvre avec précaution: c'est *l'incinération partielle* de l'humus; certes, une partie de l'azote est perdue, celle qui disparaît à l'état gazeux; mais la matière organique ne brûle, en général, qu'incomplètement et la fraction qui subsiste se trouve considérablement activée. Cette méthode est pratiquée de longue date par les Suédois, pour l'activation de l'humus brut des forêts septentrionales.

II. — L'INFLUENCE DES COUPES SUR L'ACTIVATION DE L'HUMUS

Les recherches sur le terrain, concernant l'influence des coupes, ont été poursuivies dans deux secteurs, où les conditions nous ont paru favorables à la mise en évidence de l'action du contraste climatique sur l'humus: climat à tendances montagnardes (région de Grand, dans les Vosges) ou franchement montagnard (Forêt du Mont-de-la-Croix - Doubs), mais toujours à été comportant des périodes très ensoleillées; sol sur substratum calcaire, saturant les acides humiques formés en cours de décomposition de l'humus et maintenant un pH voisin de la neutralité, favorable à l'activité bactérienne.

(1) Ph. DUCHAUFOUR. Sur la minéralisation de l'azote dans les humus forestiers. *C. R. Ac. d'Agric. de France*. Séance 21-nov. 1951.

A Grand, dans la forêt particulière du Béhaut (alt. 380 m), le sol se trouvant sous une plantation dense d'épicéas, d'une cinquantaine d'années, est une rendzine dégradée tout à fait typique, caractérisée par une couche épaisse de Mor reposant sur un sol brun foncé à gros cailloux calcaires.

Le profil est le suivant :

- 0-10 cm A₀ — humus brut d'Epicéa à structure feuilletée ; pH 5,2.
 10-25 cm A₁ — sol à gros grumeaux anguleux de terre fine, de couleur brun-noir, alternant avec de nombreux cailloux calcaires de petite dimension ; pH 7.
 25 cm C — roche-mère : calcaire bajocien fissuré.

Au Mont-de-la-Croix, le peuplement étudié est un vieux peuplement d'épicéas, comportant en outre d'assez nombreux sapins — altitude 980 m — parcelle E.

Le sol est un *sol humique carbonaté*, analogue au type décrit par PALLMANN dans les Alpes suisses.

Le profil est le suivant :

- A₀ — humus brut de mousses et d'épicéas de 2 cm.
 A₁ — sol noir très humifère, à structure en gros grumeaux anguleux remplissant les fentes séparant de gros blocs de calcaire ; pH 6,4.

Dans les deux cas, on a comparé l'état de l'humus et de la végétation : 1) dans le vieux peuplement encore dense ; 2) dans une trouée récente (Grand), ou dans une zone provenant de l'élargissement récent (2 ans) d'une grande trouée (Mont-de-la-Croix) ; 3) dans une grande trouée de chablis, datant de quelques années (1946 pour le Mont-de-la-Croix). Si on admet que le peuplement était homogène à l'origine, les modifications de la végétation et du sol, observées dans l'espace, retracent les étapes de leur évolution dans le temps.

a) *Modification de la végétation*

Peuplement fermé : La végétation est essentiellement constituée par un tapis de mousses, parsemé par des *saprophytes de l'humus* : *Listera ovata*, *Neottia nidus-avis*, *Cephalanthera pallens*, et surtout *Pirola secunda* commune aussi bien à Grand qu'à Mont-de-la-Croix ; mais dans cette dernière station, on trouve en outre, à côté de certaines plantes d'humus doux, des espèces acidiphiles telles que *Maianthemum bifolium* et *Prenanthes purpurea* : l'abondance des acides humiques permet, en effet, le maintien de ces espèces calcifuges, même sur un substratum calcaire. Les jeunes semis d'épicéas sont nombreux à Grand, sous le vieux peuplement, et au Mont-de-

la-Croix, sous les sapins qui ont été laissés en bordure de la trouée; dans cette zone, encore à l'ombre, la Mercuriale (*Mercurialis perennis*) s'installe.

Trouée récente: La substitution complète d'une flore nitratophile à l'ancienne flore acidiphile trahit l'évolution de l'humus: à Grand, les Epilobes s'installent (*Epilobium spicatum*, *E. montanum*, *E. hirsutum*) ainsi que *Solanum dulcamara*, *Sonchus oleraceus* — à Mont-de-la-Croix, outre la présence des Epilobes, on note celle du Framboisier (*Rubus idaeus*), *Galeopsis Tetrahit* et *Stachys montana*.

Trouée ancienne: Les espèces nitratophiles et neutrophiles se multiplient: les Graminées vivaces (*Brachypodium sylvaticum*, *Festuca gigantea*), les Cyperacées (*Carex glauca*, *C. sylvatica*, *C. muricata*), semblent se développer plus tardivement que les autres espèces. En outre, au Mont-de-la-Croix en particulier, les éléments ligneux s'installent et prennent une grande extension (*Corylus Avellana*, *Ribes alpina*, *R. petraeum*, *Sambucus racemosa*, *Lonicera nigra* et *L. xylosteum*, *Salix grandifolia*, *Rubus sp...*): c'est le stade à « morts-bois » bien connu des forestiers jurassiens.

Notons l'absence complète de semis d'épicéas, dans ces trouées, aussi bien à Grand qu'à Mont-de-la-Croix.

b) Modifications de sol

On observe, dans les deux exemples étudiés, une disparition complète des horizons A_0 d'humus brut (surtout à Grand, où ils étaient initialement très développés). A Grand, dans la trouée récente, on note encore un horizon A_0 de 1 à 2 cm; mais dans la trouée ancienne, cet horizon A_0 a complètement disparu.

Au Mont-de-la-Croix, l'horizon A_1 , noir, très humifère, qui forme la presque totalité du profil du vieux peuplement, s'amenuise peu à peu. Dans la trouée récente, la couleur du sol est encore brun foncé. Dans la trouée ancienne, on observe un sol brun clair, surmonté en surface d'un horizon humifère A_1 brun foncé, qui ne dépasse pas 3 à 4 cm d'épaisseur. Ainsi, un simple examen du profil montre que la matière organique est en grande partie détruite. C'est ce que confirme le tableau d'analyses suivant:

MINÉRALISATION APRÈS LES COUPES EN SOL CALCAIRE

	pH	Matière organique %	C/N	N total %	N minér. (mg) (p. 100 g)	N minéral/ N total %
	—	—	—	—	—	—
<i>Grand</i>						
Vieux peuplement:						
A ₀	5,2	84,6	49	1,0	5	0,5
A ₁	7	6,3	15	0,24	2,5	1
Trouée récente:						
A ₁	7,2	7,5 (1)	14,2	0,31 (1)	9,7	3,1
Trouée ancienne:						
A ₁	7,2	5,1	10,1	0,28	6,2	2,2
<i>Mont-de-la-Croix</i>						
Vieux peuplement .	5,5	54	23,7	1,35	4,9	0,36
Bordure du vieux peuplement	5,8	14	12,7	0,63	3,2	0,5
Trouée récente ...	7	10,2	9,3	0,65	9,4	1,44
Trouée ancienne	6,5	5,2	8,2	0,38	3,5	0,92

(1) Augmentation légère résultant de la disparition totale de l'horizon A₀, accompagnée de production d'acides humiques qui descendent en A₁.

Ce tableau montre très clairement les phases de la décomposition de l'humus; elles sont caractérisées par les faits suivants:

1. *Diminution considérable de la matière organique totale.*

A Grand, cette diminution apparaît moins nettement dans l'horizon A₁ parce que la *décomposition totale* de l'horizon A₀, épais de 10 cm, donne lieu à la production d'une grande quantité d'acides humiques, qui remplacent partiellement ceux qui se trouvaient en A₁, au fur et à mesure qu'ils sont minéralisés.

2. *Diminution corrélative de l'azote total.*

Cette diminution est moins importante que celle de la matière organique ou du carbone de cette matière organique; c'est ce que montre aussi la baisse initiale du rapport C/N, qui se stabilise ensuite aux environs de 8 à 10. La première phase de la minéralisation affecte surtout la matière organique fraîche, peu décomposée (A₀); elle est caractérisée par une émission de CO₂, beaucoup plus importante que celle d'azote minéral (baisse du rapport C/N). La seconde phase, plus lente, au cours de laquelle le rapport C/N

se modifie peu, correspond à la minéralisation des acides humiques, surtout abondants en A_1 ; l'azote et le carbone sont libérés sensiblement au même rythme.

3. *Augmentation, puis baisse du taux d'azote minéral.*

Ces modifications du taux d'azote minéral sont beaucoup plus parlantes, si on rapporte sa valeur à celle de l'azote total; on voit alors que l'azote minéral augmente jusqu'à un maximum dans la trouée récente; il diminue ensuite à nouveau. L'explication de ce phénomène s'impose: dans la trouée récente, la végétation nitratophile n'en est qu'au début de son développement et n'a pas encore appauvri le sol en azote minéral. Au contraire, dans l'ancienne trouée, le développement luxuriant de hautes herbes et d'arbustes gros consommateurs d'azote ont partiellement épuisé le sol en cet élément.

Ainsi, l'influence immédiate des coupes, éclairant brutalement le sol forestier, se traduit par une disparition totale de l'horizon A_0 de surface, accompagnée d'une libération massive d'azote minéral assimilable par les plantes: notons que *cette action stimulante s'observe sur un humus brut caractérisé, comme c'est le cas de Grand*. Si la roche-mère est calcaire, elle se prolonge pendant plusieurs années. Mais, sur les sols siliceux, elle est de plus courte durée et nettement moins accentuée, surtout en climat atlantique peu ensoleillé (2 ans - 3 ans au maximum). Assez rapidement, une *phase défavorable* lui succède, marquée au contraire par un ralentissement de l'activité microbienne et une acidification de l'humus.

c) *Conséquences pratiques*

Si donc on dresse le bilan de l'évolution de la matière organique après les coupes, on constate que les effets immédiats sont favorables, alors que les effets plus lointains sont nuisibles.

Les *effets immédiats*, tels que la destruction rapide de la couche d'humus brut, souvent très acide et physiologiquement sec, ainsi que la libération massive d'azote assimilable, sont évidemment très propices à l'installation du jeune semis.

Mais il n'en est pas de même des *effets lointains*; si la régénération ne s'installe pas immédiatement, c'est une végétation herbacée luxuriante qui envahit le sol, la concurrence pour l'eau devient alors telle qu'aucun semis ne peut prendre place: c'est ce qui a pu être observé dans la trouée de Mont-de-la-Croix, entièrement dépourvue de régénération, alors que celle-ci était abondante en bordure du vieux peuplement, sous une coupe modérée qui avait laissé sur pied quelques vieux sapins. Sans doute, sur les sols calcaires des forêts du Jura, le forestier a encore la ressource d'attendre, quelques dizaines d'années, que la croissance des morts-bois crée à nou-

veau une ambiance favorable au semis d'épicéas. Mais sur les sols siliceux, pauvres en bases, qui ont une tendance à s'acidifier, la situation ne pourra qu'empirer avec le temps, en raison de l'extension prise par les espèces sociales acidiphiles qui, très rapidement, remplacent des nitratophiles.

En ce qui concerne l'évolution future du sol forestier, la destruction presque totale de l'humus peut avoir des conséquences graves, notamment sur les sols sableux ou argilo-sableux, pauvres en bases. Non seulement la faible réserve d'azote a été ainsi dilapidée d'un seul coup, mais la disparition des colloïdes humiques, qui constituent le ciment des agrégats, provoque une *dégradation de la structure*, donc un tassement du sol et une diminution de son aération. L'affaiblissement d'activité biologique qui en découle, s'accompagne d'une recrudescence des phénomènes d'acidification et de lessivage. La végétation des espèces nitratophiles n'est qu'éphémère et ce sont les plantes acidiphiles sociales (Fougère Aigle, Molinie, Canche flexueuse, Ericacées diverses) qui envahissent le parterre de la coupe, donnant le départ au processus de podzolisation.

Il est donc essentiel *que le sol ne reste pas dénudé trop longtemps; tant au point de vue du succès final de la régénération, qu'à celui de l'avenir du sol forestier, il est nécessaire qu'elle soit assurée le plus rapidement possible.*

III. — INFLUENCE DE L'INCINÉRATION SUR L'ACTIVATION DE L'HUMUS

Pour mettre en évidence cette influence, nous avons comparé, dans les Landes de Gascogne, une zone incendiée en juillet 1952 à une zone témoin, située au voisinage immédiat de la limite de la partie incendiée (route de Blagon au Temple); les prélèvements ont été effectués deux mois plus tard, dans le courant de septembre. L'analyse a pu montrer que l'azote minéral de la zone non incendiée n'existe qu'à l'état de traces, alors qu'au contraire il atteint la valeur de 7,8 mg pour 100 g de sol dans la partie incendiée; si l'on fait le rapport N minéral/N total, on trouve 3,1 %, chiffre très élevé et comparable à celui qu'on peut obtenir dans une coupe, après activation par insolation (voir ci-dessus les rapports N minéral/N total obtenus à Grand). Ajoutons à cela que le pH est passé, sous l'action du feu, de 5 à 7 environ, par libération de cendres alcalines.

En outre, des essais de minéralisation à l'étuve ont été tentés sur des échantillons plus importants, prélevés un mois plus tard — en octobre — dans cette même zone incendiée: on a constaté que, trois mois après l'incendie, l'humus du territoire incinéré conservait une activité de minéralisation *double* de celle de la zone non atteinte par le feu.

Pour compléter cette première observation, des expériences systématiques doivent être très prochainement entreprises, par la Station de Recherches, en liaison avec le Service forestier local, dans le Midi et dans les Landes de Gascogne, dans le but de mettre en évidence, de manière plus précise, ce phénomène de l'activation de l'humus par incinération. Des placettes d'essais seront réalisées, dans lesquelles il sera possible de constater l'effet du travail du sol et celui de l'incinération de l'humus sur la germination des graines de pins, par comparaison avec des placettes témoins; en même temps, des prélèvements de sol seront effectués à intervalles réguliers (tous les 2 mois), pour suivre, par l'analyse, l'évolution de l'humus et la production d'azote minéral sur le lieu même de l'expérience.

Dès maintenant, on peut affirmer que le sylviculteur dispose — en dehors des moyens sylvicoles très lents d'amélioration de l'humus par l'intermédiaire du peuplement — de deux procédés, à *effet particulièrement rapide et efficace*, d'activation de l'humus brut: 1° les coupes créant un brusque contraste microclimatique, en exposant au soleil un humus brut lentement édifié à l'ombre; 2° l'incinération provoquée, telle qu'elle est déjà pratiquée dans les landes, par des équipes de spécialistes, par temps favorable et sous une surveillance étroite. Il est inutile de souligner, que si la première méthode est relativement facile à mettre au point et doit être surtout accompagnée de mesures d'ordre purement sylvicole, il n'en est pas de même de la seconde, qui relève d'une technique particulièrement délicate et qui doit être encore l'objet d'une expérimentation minutieuse.

Ph. DUCHAUFOUR.

Centre Technique du Bois

Un arrêté interministériel du 15 février 1952 a décidé la fusion du Centre technique des exploitations, scieries et industries forestières et de l'ancien Centre technique des industries du Bois et de l'Ameublement en un organisme unique désigné sous le nom de *Centre Technique du Bois*, établissement d'utilité publique.

Le nouvel organisme a ses bureaux 2, rue de la Michodière, Paris 2°. Son Conseil d'administration est présidé par M. Etienne DECESSE; M. MERVEILLEUX du VIGNAUX, Directeur Général des Eaux et Forêts et M. J.P. LÉVY, Directeur des industries diverses, remplissent conjointement les fonctions de Commissaires du Gouvernement.

Le Centre comprend 2 sections distinctes, concernant respectivement:

— la branche professionnelle des exploitations, scieries et industries forestières (Directeur: M. Jean CAMPREDON),

— la branche professionnelle des industries du bois et de l'ameublement (Directeur: M. Jean COLLARDET),

ainsi que des services communs de recherches et essais, de documentation et de diffusion, etc..

Le Centre Technique du Bois est, dès à présent, en mesure de rendre, à titre gracieux, les plus utiles services aux membres des diverses professions intéressées.