

L'HUMUS FORESTIER ET LES FACTEURS DE SA DÉCOMPOSITION

Indice bibliographique: 11.44.2

MÉTHODE D'ÉTUDE DE L'HUMUS FORESTIER

L'ancienne subdivision des humus forestiers en deux types fondamentaux, *Mor* ou humus brut, acide, *Mull* ou humus doux, neutre ou peu acide, est bien connue; elle s'avère aujourd'hui quelque peu insuffisante et doit être précisée, par les procédés modernes de la chimie biologique. La différence essentielle entre les types d'humus forestiers réside dans leur *vitesse de décomposition*. La matière organique provenant de débris végétaux qui tombent à la surface du sol se transforme progressivement, d'abord en perdant sa structure « organisée » (fibreuse ou granuleuse) pour prendre un aspect colloïdal: c'est le processus de l'« humification » qui aboutit à la formation des « colloïdes humiques » à propriétés acides, ou *acides humiques*: ceux-ci se décomposent à leur tour, en libérant des éléments purement minéraux tels que des sels divers, de l'ammoniaque, du gaz carbonique. Cette *minéralisation* de l'humus conditionne la mobilisation des éléments nutritifs nécessaires à la vie de la plante. On peut donc affirmer que l'humus forestier est d'autant plus favorable à la nutrition minérale et azotée des arbres et notamment des jeunes semis, que sa décomposition est plus rapide. De plus, une accumulation en surface d'humus brut implique toujours un grave danger de podzolisation du sol forestier. La question se pose alors de savoir comment on peut se faire une idée de cette vitesse de décomposition, donc de la qualité de l'humus: on peut préconiser dans ce but trois procédés:

1° *L'observation directe*

L'observation directe est évidemment le procédé le plus simple. Si la matière organique est à décomposition lente, en particulier à humification lente, il se forme en surface une litière noire de débris, présentant encore une structure organisée, formant avec le substratum minéral une séparation très nette; c'est l'horizon A₀ des pédologues, qui caractérise le *Mor*.

Lorsqu'au contraire l'humification est rapide (*Mull*), il y a peu de débris organisés en surface car ceux-ci disparaissent rapide-

ment: l'horizon Ao, purement organique, manque; on n'observe en surface qu'un horizon assez riche en colloïdes humiques intimement mélangés aux éléments minéraux, et qui ne se distingue du substratum purement minéral que par sa couleur légèrement plus foncée. Ce procédé d'observation directe, donne donc des renseignements très utiles, mais qui doivent être précisés.

2° *L'acidité traduite par le pH.*

Elle donne incontestablement des informations précieuses. Le Mor est acide (en général pH inférieur à 5), le Mull est neutre ou peu acide (pH en général supérieur à 5), la transition d'un type à l'autre s'établissant autour de 5: c'est ce qu'on traduit couramment par l'expression « tendance à l'acidification » de l'humus, phénomène qui accompagne le plus souvent un ralentissement de sa décomposition, donc un passage au *Mor*. En raison de la lenteur de la minéralisation, les acides humiques se forment en quantité appréciable et souvent même « migrent » en profondeur, si le substratum minéral contient insuffisamment de bases pour les neutraliser: il y a alors *acidification* de tout le profil. Mais cette notion de pH s'avère tout à fait insuffisante dans certains cas:

D'abord le pH 5 correspond à une *zone de transition*, pour laquelle l'humus peut être de qualités très variables et appartenir soit au type Mor caractérisé, soit au type Mull; ce pH 5, très fréquent en forêt, ne donne donc aucune indication.

Ensuite, le ralentissement de l'activité biologique n'est pas nécessairement lié à une acidification: c'est le cas par exemple de sols *mal aérés* à humus tourbeux. L'humus s'accumule, sans qu'il y ait nécessairement baisse du pH: on sait qu'il existe de véritables tourbières alcalines.

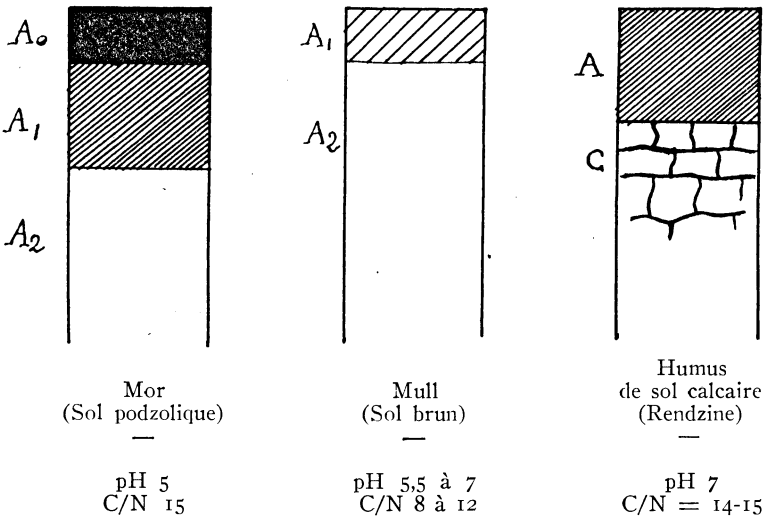
3° *Le rapport Carbone/Azote*

Cet indice, de détermination simple, a été utilisé de manière récente par de nombreux auteurs, notamment des agronomes dans le but d'étudier la décomposition des engrais.

La teneur en carbone est, en gros, proportionnelle à la quantité totale de matière organique, de sorte que le rapport Carbone/Azote est *d'autant plus faible que la matière organique est plus riche en azote*. Or, si les microorganismes du sol ont leur activité ralentie par un excès de carbone dans l'humus, celle-ci est au contraire accélérée par un taux d'azote élevé. Ainsi, pour certaines matières organiques utilisées comme engrais, la paille par exemple, le rapport C/N est très élevé, de l'ordre de 15 à 20. Dans ce cas, la décomposition est lente et se traduit par la seule libération de gaz carbonique, la totalité de l'azote étant utilisée à des synthèses microbiennes, et C/N diminue très lentement au cours de la décomposition. Lorsque ce rapport atteint le chiffre 10 à 12, l'ammo-

niaque se dégage à son tour, avec une intensité croissante jusqu'à ce que le rapport C/N atteigne une valeur à peu près constante, de l'ordre de 8 à 10, qui traduit un équilibre dans la libération de CO_2 et de NH_3 , donc une décomposition satisfaisante. Si, inversement, on incorporait au sol une matière exceptionnellement riche en azote, du sang par exemple, la décomposition serait extrêmement rapide, et aboutirait à un véritable « gaspillage d'azote », sous forme de NH_3 libéré; le résultat serait une « remontée » de C/N jusqu'à atteindre l'équilibre de 9 à 10, normal dans

SCHÉMA DES TYPES D'HUMUS FORESTIERS



Le mor seul est caractérisé par une couche superficielle de matière organique, en cours de décomposition, superposée au sol minéral (A_0). L'humus colloïdal, mélangé au substratum minéral, a été représenté à l'aide de hachures d'autant plus serrées qu'il est plus abondant.

le sol agricole. Les phénomènes sont tout à fait comparables dans les sols forestiers, dans lesquels le Mor typique est caractérisé par un C/N supérieur à 15, et le Mull par un C/N de l'ordre de 8 à 10.

Ainsi, dans le cas général, le rapport C/N décroît, plus ou moins rapidement suivant le type d'humus, au fur et à mesure de sa décomposition; il est plus élevé, dans la litière, en A_0 , que dans l'horizon A_1 dans lequel l'humus colloïdal est mélangé à la matière minérale; par contre, il s'abaisse, à la partie inférieure de A_1 , dans la zone de minéralisation totale de l'humus. Pour pouvoir faire

d'utiles comparaisons, il est indispensable d'effectuer le prélèvement en vue d'analyses à des niveaux sensiblement comparables, par exemple dans la partie moyenne de A_1 .

Dans les sols forestiers, une minéralisation trop rapide de l'humus n'est guère à craindre, en climat tempéré. Elle ne se produit qu'exceptionnellement, en conditions très favorables, par dénudation brutale du sol, lors d'une coupe violente. C'est au contraire une « accumulation » superficielle d'humus, traduisant une décomposition trop lente, sous l'action de conditions écologiques défavorables, qui risque le plus souvent de se produire. Nous allons passer en revue l'action des divers facteurs écologiques sur l'état de l'humus, en utilisant le rapport C/N comme indice et en nous efforçant de ne faire varier qu'un seul facteur à la fois, les autres restant comparables. La valeur de cet indice est confirmée par les chiffres remarquablement constants qui ont été obtenus, dans des conditions déterminées. Nous nous bornerons à indiquer dans chaque cas, les moyennes des indices obtenus quand les variations sont faibles, ou les deux extrêmes, si elles sont un peu plus importantes.

LES TYPES D'HUMUS FORESTIER ET LES FACTEURS ÉCOLOGIQUES

Remarquons tout d'abord qu'en milieu mal aéré, la décomposition de l'humus, qui tend vers le *Mor tourbeux*, est toujours lente: c'est le cas des sols compacts à horizon de gley superficiel. Le rapport C/N est alors égal à 15 ou plus grand que 15, quelles que soient les autres conditions de milieu, même si l'acidité est faible.

Dans la suite de l'article, nous nous placerons donc dans le cas de milieux suffisamment aérés, et essaierons de dégager l'influence du climat, de la roche-mère et enfin des espèces végétales fournissant au sol les débris végétaux générateurs d'humus.

1° *Le climat*

Le climat de type atlantique, à forte nébulosité estivale et à état hygrométrique élevé, ralentit considérablement la vitesse de décomposition de l'humus, par rapport aux climats continentaux à étés ensoleillés. Le fait est surtout marqué pour les climats extrêmes, à caractère atlantique très accusé: Basse-Bretagne, Normandie. C'est en Haute-Normandie, sur argile à silex, en forêt d'Eawy, d'Arques par exemple, que nous avons trouvé, sous des peuplements de hêtre, les chiffres de C/N les plus élevés et l'acidité la plus accentuée (pH 3,6 en un point de la forêt d'Eawy).

Au contraire, en forêt de Fontainebleau (sur grès de Fontainebleau) et dans les Basses-Vosges (sur grès vosgien), les chiffres obtenus sont comparables et beaucoup plus faibles.

PEUPELEMENTS DE HÊTRE SUR ROCHE-MÈRE SILICEUSE

Localisation des stations	C/N
Fontainebleau	15 à 16
Basses-Vosges	15 à 17
Haute-Normandie	20 à 25

Si le forestier n'a guère d'action sur le climat proprement dit, il peut agir sur le microclimat, en dosant soigneusement le *couvert* par le moyen des coupes. Ainsi, lors des régénérations, les coupes d'ensemencement exposent brutalement à la lumière un humus préalablement formé sous un couvert plus ou moins dense. A ces coupes, succède une période favorable, mais pouvant être de courte durée sur les mauvais sols, période marquée par une recrudescence de l'activité bactérienne, donc une baisse du rapport C/N et une décomposition rapide de l'humus.

2° *La roche-mère*

Elle présente aussi une grande importance: c'est essentiellement par sa richesse en bases, notamment en calcium, qu'elle agit. Cette richesse en bases est donnée approximativement par le *pH* de la *roche-mère*; en présence de calcaire actif, le pH est alcalin (supérieur à 7). Les sols riches en calcium échangeable, mais dépourvus de carbonates solubles, ont une réaction voisine de la neutralité. Enfin, l'acidité est évidemment d'autant plus marquée que la désaturation en bases est plus accentuée.

Nous avons dit que le rapport C/N s'abaissait au cours de la décomposition de l'humus: le taux d'équilibre de 8 à 10, caractéristique d'une bonne décomposition n'est atteint, que s'il y a dans le sol assez de bases pour neutraliser les acides humiques à mesure qu'ils se forment, c'est le cas des sols bruns, neutres ou faiblement acides: l'optimum semble être à un pH 6 pour lequel l'activité bactérienne est maxima (Mull).

Si au contraire la réserve de calcium du substratum minéral est insuffisante (grès, sables siliceux, certaines argiles à silex), les acides humiques formés ne peuvent être neutralisés et le pH s'abaisse progressivement provoquant, en retour, une décroissance de l'activité bactérienne: le rapport C/N reste élevé, en général supérieur à 15 (Mor).

Reste le cas particulier des sols calcaires: ce milieu légèrement alcalin étant très favorable à une grande activité bactérienne, on observe, dans tous les cas, une humification rapide. La saturation des acides humiques formés est totale et immédiate et sous l'influence du calcaire, ils *floculent énergiquement en formant des*

agrégats très stables (caractéristiques des sols de rendzines), ce qui a pour effet de ralentir leur minéralisation. *Le rapport C/N reste assez élevé, de l'ordre de 14 à 16.* De plus, les conditions très particulières du milieu priment nettement l'influence des autres facteurs en particulier celle de l'origine de l'humus. Le rapport C/N varie peu, *quelle que soit la nature du peuplement considéré, résineux ou feuillu.* Une seule exception, d'ailleurs importante, est à signaler, celle de l'Aune glutineux, qui, par son pouvoir fixateur d'azote atmosphérique, abaisse considérablement le rapport C/N (de l'ordre de 8 à 9 dans certaines Aunaies de Champagne crayeuse) et accélère la décomposition de l'humus. Le même phénomène s'observera à propos des landes à genêts sur les sols siliceux. Il met en lumière l'influence améliorante considérable des espèces fixatrices d'azote sur l'humus forestier.

Pour montrer l'influence du sol et de la roche-mère sur l'évolution de l'humus, nous comparerons divers peuplements de Hêtre. Cette espèce donne en effet des types d'humus très variables suivant la roche-mère, comme l'ont constaté divers auteurs (HESSELMANN en particulier). Il n'en est pas de même d'espèces, telles que les bruyères et les pins, dont le rapport C/N est toujours élevé et ne varie que faiblement suivant les conditions de milieu.

PEUPELEMENTS DE HÊTRE

Localisation	Sol	pH	C/N
Plateau de Langres	Très calcaire (rendzine)	8	16,5
Forêt de Haye	Peu calcaire	7 à 8	14
Forêt de Haye	Sol brun décalcifié	5,5 à 6,5	12 à 13
Basses Vosges } Fontainebleau }	Sol gréseux acide	inférieur à 5	15 à 17

3° Influence des Essences

Cette influence est considérable en raison de la grande variété des débris végétaux qui peuvent être fournis au sol. Les débris très *ligneux* constitués par des tissus âgés ont évidemment initialement un rapport C/N très élevé; ils donnent peu de prise à l'activité bactérienne, et s'humifient difficilement sans aucun dégagement d'ammoniaque, à l'origine tout au moins: le rapport C/N ne s'abaisse que très lentement et de façon réduite au cours de la décomposition. Sauf sur les sols calcaires, ces espèces ont tendance à donner un *Mor* très acide. Citons le cas des Ericacées (« terre de bruyère ») et des Pins, notamment des Pins sylvestres

dont l'écorce s'exfolie par plaques et forme un humus rouge presque totalement inattaquable.

Il en va tout autrement des espèces à tissus peu ligneux, riches en cellulose, comme c'est le cas de la plupart des essences feuillues. Le Chêne et le Charme, souvent en mélange dans les forêts du secteur Ligérien sur sol brun, donnent un excellent humus, à très bonne décomposition. Le Hêtre, au contraire, fournit, dans les mêmes conditions, un humus à décomposition plus lente et à C/N plus élevé, pouvant évoluer facilement vers le Mor. Il n'empêche que cette dernière essence donne des débris plus facilement attaquables que la plupart des résineux, y compris le Sapin; il convient donc de la favoriser dans une certaine mesure, en mélange ou en sous-étage des essences résineuses, en particulier des pins. Constatons à ce sujet, qu'on observe toujours un rapport C/N plus faible dans un peuplement mélangé que dans un peuplement pur, les microorganismes du sol étant favorisés par une nourriture variée.

Nous résumons les résultats d'un grand nombre d'analyses, dans le tableau suivant, dans lequel nous nous sommes efforcé de faire figurer les stations le plus possible comparables au point de vue du sol et du climat. L'humus de hêtre étant particulièrement influencé, comme nous l'avons déjà signalé, par les autres conditions de climat et de sol, nous indiquons les chiffres obtenus dans deux stations différentes, les Basses Vosges afin de permettre la comparaison avec le Sapin, et les sols bruns de la forêt de Haye, afin de les opposer à ceux de la Chênaie-Charmaie du secteur Ligérien.

Essence du peuplement principal	Localisation	Substratum	C/N
1) Sapin	Basses Vosges	Grès vosgien	20-21
2) Hêtre	1) Basses Vosges	»	15 à 17
	2) forêt de Haye	Sol brun sans calcaire	12 à 13
3) Chêne et Charme..	Secteur Ligérien	»	8 à 10
4) Pin sylvestre	»	Roche-mère siliceuse variée	22-23
5) Landes à bruyères.	»	»	18-22
6) Landes à genêts . . .	»	»	12-13

Le Pin sylvestre s'avère très « acidifiant » comme en témoignent les chiffres obtenus toujours élevés et très constants, quelles que

soient les autres conditions de milieu (sauf sur rendzines comme nous l'avons dit). Il en est, bien entendu, de même des bruyères, bien qu'à un degré moindre ; les genêts (en l'espèce *Genista pilosa*) au contraire, jouent un rôle améliorant incontestable.

Le Hêtre donne un humus se décomposant nettement plus lentement que celui du Chêne, phénomène déjà constaté par beaucoup d'auteurs étrangers (ETTER, RICHARD, RÜBNER, etc...).

On constate donc qu'il n'y a pas de limite tranchée entre le Mor et le Mull, mais une gamme continue d'intermédiaires ; tous les facteurs propices à l'activité bactérienne : insolation modérée, apport de calcium, soit par le substratum minéral, soit par la litière elle-même, flore donnant naissance à des débris plus aisément décomposables, favorisent la formation de Mull. Au contraire, celle du Mor est provoquée par les phénomènes inverses : lessivage des bases, couvert trop dense, relèvement du plan d'eau amenant des conditions asphyxiantes, envahissement du sol par les bruyères.

Il est difficile de déterminer quels sont les plus importants, des facteurs externes (sol et climat) ou des facteurs intrinsèques (nature de la litière). Lorsque les facteurs externes sont extrêmes (sol riche en calcaire actif, sol non aéré), nous avons vu qu'ils sont déterminants. Dans les cas intermédiaires, la nature des débris semble être prépondérante : Cependant, le rapport C/N, même s'il est initialement élevé, peut s'abaisser considérablement en conditions favorables, par exemple sur une roche-mère neutre ou peu acide, suffisamment riche en bases échangeables (cas du hêtre sur sol brun en forêt de Haye).

LES APPLICATIONS PRATIQUES EN SYLVICULTURE

L'étude du rapport C/N présente donc un intérêt pratique considérable pour le sylviculteur : *intérêt immédiat* d'abord, puisque la vitesse de décomposition de l'humus conditionne la nutrition des arbres, en particulier des jeunes semis ; sa connaissance est donc essentielle pour la réussite des régénérations et des reboisements. *Intérêt à longue échéance* également, car on sait que l'humus conditionne l'évolution lente du sol ; c'est l'humus acide qui provoque la podzolisation des sols siliceux filtrants, c'est la tourbe qui donne aux sols à gley leurs propriétés fondamentales, enfin c'est l'humus floculé en présence de calcaire qui est à l'origine de la structure grumeleuse des rendzines.

L'action du forestier ou du reboiseur sera différente suivant qu'on se trouvera en présence de l'un ou l'autre de ces trois cas fondamentaux ; nous résumons brièvement les procédés classiques dont il dispose.

1° *Lutte contre le danger d'acidification
et de lessivage en sol acide*

Il est nécessaire d'activer la vie bactérienne et d'abaisser le rapport C/N par tous les moyens ; citons, à ce sujet, les procédés bien connus des forestiers : insolation progressive de la surface du sol par les coupes, crochétages mettant à nu le sol minéral si la couche de Mor est trop acide, introduction d'espèces « améliorantes » à débris facilement attaquables par les bactéries, notamment les fixatrices d'azote particulièrement indiquées à ce point de vue, car elles abaissent le rapport C/N.

2° *Lutte contre le danger d'asphyxie en sol mal drainé*

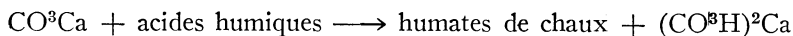
Ce danger est dévoilé par l'apparition d'un niveau de gley et l'élévation du rapport C/N, même en milieu peu acide. Le problème consiste à rétablir la structure par le travail superficiel du sol, à abaisser le plan d'eau par l'assainissement, à améliorer la porosité en surface par l'introduction d'essences résistant à l'asphyxie et génératrices d'humus doux.

3° *Amélioration des sols de rendzines*

Le reboisement de ces sols est un problème difficile à résoudre, car les rendzines, qui présentent un excès de *calcaire actif*, se comportent souvent en sols secs et pauvres. En ce qui concerne le rapport C/N de l'humus, l'action du reboiseur devra s'exercer dans deux directions différentes, au début lors de l'installation du peuplement, et par la suite au cours de l'évolution ultérieure du peuplement.

Au démarrage, au moment de la plantation et dans les années qui suivent, il convient d'abaisser au maximum le rapport C/N afin d'assurer aux plants une nutrition azotée efficace, donc une bonne reprise et une croissance satisfaisante. Si l'essence de rapport est résineuse, il s'avère utile d'introduire, soit en sous-étage, soit en lignes intercalées, une espèce fixatrice d'azote.

Au cours de l'évolution ultérieure des peuplements, une élévation progressive du rapport C/N ne sera pas nuisible : la production d'une grande quantité d'acides humiques par les résineux, exerce une action incontestablement favorable sur les sols calcaires. On sait que l'excès de calcaire actif est nuisible à la nutrition des plantes : or, les acides humiques produits par les résineux activent la dissolution du calcaire par la réaction suivante :



Le bicarbonate soluble est entraîné par les eaux,

Le sol est ainsi progressivement décarbonaté et il évolue vers le sol brun forestier, ce qui est une transformation incontestablement favorable.

CONCLUSION

On peut conclure par la constatation fondamentale que tout abaissement du rapport C/N de l'humus signifie recrudescence de l'activité biologique dans le sol. Toute élévation au contraire de ce rapport trahit une décroissance de cette activité.

Incontestablement, le forestier dispose ainsi d'un moyen de contrôle, de diagnostic de l'état du sol forestier particulièrement efficace ; il a en outre la possibilité, en agissant sur les divers facteurs, tant externes qu'internes, qui conditionnent le rapport C/N, de le modifier dans un sens ou dans l'autre : dans la très grande majorité des cas, c'est vers un abaissement de C/N que devra porter son effort.

C'est également par son action sur l'humus que le forestier peut influencer l'évolution pédologique du sol à longue échéance. On sait que le sol brun forestier à humus doux, représente l'optimum, le « climax » du sol de la forêt feuillue en climat tempéré à tendances atlantiques. Toute action sur l'humus favorisant la formation d'un *humus doux à décomposition rapide*, accélère l'évolution normale vers le sol brun, et freine les phénomènes de lessivage : Un humus en bon état, c'est pour le sylviculteur, la meilleure garantie contre la dégradation future du sol forestier, toujours menaçante en climat atlantique.

Ph. DUCHAUFOUR.
