HAL
open science

Un exemple de l'effet du régime sylvicole sur l'humus et la richesse du sol en éléments nutritifs

Maurice Bonneau, Marie-Françoise Slak, Jean-Christophe Suran, Arnaud Legout, Jacques Ranger

To cite this version:

Maurice Bonneau, Marie-Françoise Slak, Jean-Christophe Suran, Arnaud Legout, Jacques Ranger. Un exemple de l'effet du régime sylvicole sur l'humus et la richesse du sol en éléments nutritifs. Revue forestière française, 2011, 63 (6), pp. 683-690. 10.4267/2042/47201 . hal-03197773

HAL Id: hal-03197773

https://hal.inrae.fr/hal-03197773

Submitted on 25 Nov 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.

Un exemple de l'effet du régime sylvicole sur l'humus et la richesse du sol en éléments nutritifs

Maurice Bonneau – Marie-Françoise Slak – Jean-Christophe Suran †
Arnaud Legout – Jacques Ranger

Le bilan des éléments minéraux et l'évolution des formes d'humus et de la fertilité des sols sont sous la dépendance de différents facteurs : roche mère, climat général et microclimat, type de forêt et végétation associée. Duchaufour (1948) a très clairement mis en évidence dans l'ouest de la France l'influence de la formation végétale — chênaie en bon état, chênaie dégradée, lande — sur l'évolution des sols vers la podzolisation, évolution déterminée par celle de l'humus, elle-même sous la dépendance des litières apportées au sol et de la richesse de la roche mère. Dans le travail cité ci-dessus, il n'est pas allé jusqu'à l'étude de l'effet du régime sylvicole. On peut se demander si, sur une même roche mère et sous un même climat, le passage du régime du taillis-sous-futaie à celui de la futaie peut entraîner une évolution des sols.

Les hypothèses à tester seraient :

— le régime du taillis épuise davantage la fertilité minérale du sol que celui de la futaie par suite de l'exportation d'une biomasse relativement jeune ;

— à l'inverse, la futaie en sol pauvre présente le risque de conduire à des formes d'humus plus dégradées qu'en régime de taillis car, dans ce dernier, leur mise en lumière, beaucoup plus fréquente que dans la première, favorise la minéralisation et l'élaboration d'humus à faible C/N.

Au début des années 1980, l'occasion se présenta de comparer l'évolution d'un sol sous vieille futaie de Chêne sessile d'une part et sous taillis-sous-futaie à Chêne et Charme d'autre part (Slak et Suran, 1982). Les sols des deux éléments du couple étaient de même nature, condition indispensable à la validité de la comparaison.

Le couple étudié avait été initialement sélectionné dans un autre but : comparer la hauteur des chênes de futaie et celle des vieilles réserves de taillis-sous-futaie. Le présent travail, mené à la suite du premier sur le même site, avait en vue de vérifier l'hypothèse, pratiquement tenue à l'époque pour une évidence, que le régime du taillis-sous-futaie épuisait la richesse des sols, par exportation de bois riche en éléments minéraux, au contraire des futaies qui étaient censées la préserver car n'exportant qu'un bois moins minéralisé.

PEUPLEMENTS, SOLS, HUMUS

Ce couple se situe dans le massif de Marchenoir (Loir-et-Cher), à 35 km à l'ouest-sud-ouest d'Orléans. L'un des peuplements, en forêt privée, est un taillis-sous-futaie à réserves de Chêne sessile et taillis de Charme avec accompagnement d'un peu de Bouleau et de Hêtre ; l'autre, en

forêt domaniale de Citeaux appartenant au même massif, parcelle 12, est une vieille futaie de Chêne sessile, complètement fermée, de 32 mètres environ de hauteur dominante, d'un âge approchant ou dépassant probablement les 200 ans ; la densité de tiges est élevée, 173 à l'hectare ; la surface terrière est de 34,8 m^2/ha, le volume sur pied de 596 m^3/ha, et la production moyenne depuis l'origine de 5,6 m^3/ha/an. Dans le taillis-sous-futaie, la production totale est du même ordre, dont 3,6 m^3/ha/an pour le taillis, le complément étant assuré par les réserves. Les deux parcelles ne sont séparées que par la limite des deux propriétés.

La végétation est acidiphile : houx, chèvrefeuille, canche flexueuse, *Eurhynchium striatum*, auxquelles s'ajoutent, dans le taillis-sous-futaie, quelques plantes de lumière favorisées par les coupes fréquentes : callune et *Leucobryum glaucum*.

Dans les deux peuplements, le sol est un luvisol typique redoxique (sol lessivé à pseudogley) comportant au-dessous des horizons humifères un horizon Ega blanchi, appauvri en argile, et plus bas un horizon BTg plus compact, à plus forte teneur en argile, et marqué de signes assez nets de drainage insuffisant. La roche mère est l'argile à silex, résidu de décarbonatation des calcaires du Crétacé, mêlé d'apports de limon.

Les horizons humifères des deux sols diffèrent très notablement. Sous le taillis-sous-futaie, il s'agit d'un mésomull avec une couche OLv discontinue, parfois un peu dégradé en oligomull présentant un OLv continu. L'horizon A, de 8 à 10 cm d'épaisseur, est bien marqué, grumeleux et en passage progressif vers Ega. Sous la futaie la forme d'humus est un eumoder présentant une litière de 4 à 5 cm d'épaisseur, un horizon OH de 0,5 à 1 cm, allant localement jusqu'au dysmoder (OH de plus de 1 cm). L'horizon A, de 4 cm d'épaisseur, est plus noir et plus massif que sous le taillis-sous-futaie et sa structure est plus fine.

Les deux sols sont très acides, le pH est de 4,5 en Ega, un peu plus élevé en BT (4,5 à 4,8) ; les teneurs en calcium échangeable sont très faibles : 0,1 à 0,3 $cmol^+$/kg en Ega, 0,5 à 1 en BT, de même que celles en magnésium qui sont de l'ordre de 0,1 $cmol^+$/kg. Le complexe d'échange est garni très majoritairement d'aluminium ionique.

MÉTHODOLOGIE

Une surface de 0,8 hectare environ a été choisie dans chaque peuplement et on y a fait 40 prélèvements de sols en 4 rangées distantes de 20 m avec 10 prélèvements espacés de 10 m dans chaque rangée. Chaque prélèvement comprend :

— un prélèvement volumétrique de 277 cm^3 dans les horizons de surface, de 0 à 10 cm environ de profondeur, donc regroupant les horizons O et A, en utilisant un cylindre de 6 cm de diamètre et 9,8 cm de hauteur ;

— un prélèvement de 300 grammes environ, destiné uniquement à des analyses qualitatives, à la partie supérieure de Ega, entre 10 et 25 cm ;

— un prélèvement de même nature à la partie inférieure de Ega, entre 25 et 40 cm.

Les analyses effectuées ont été les suivantes :

— pour chaque prélèvement volumétrique : détermination du poids sec ; combustion au four ; extraction à l'acide perchlorique normal et détermination de Ca, Mg et K contenus dans les cendres et correspondant à la somme de ces éléments sous forme échangeable et sous forme incluse dans les litières et l'humus ; les résultats sont exprimés en grammes par échantillon volumétrique ;

— pour chaque prélèvement au-dessous de A : détermination du calcium, du magnésium et du potassium échangeables qui sont exprimés en $cmol^+$/kg.

Les résultats, présentés au tableau I (p. 686), ont donné lieu à une analyse statistique simple, la comparaison de la moyenne de deux populations de 40 échantillons pour chaque caractéristique déterminée.

RÉSULTATS (tableau I, p. 686)

Le poids sec des 277 cm^3 prélevés est un peu plus faible sous la futaie que sous le taillis-sous-futaie. La différence est significative au seuil de 1 %.

Le contenu en tous éléments, calcium, magnésium et potassium, est également plus faible dans la futaie, de l'ordre de 15 % pour Ca, 16 % pour le potassium et 31 % pour le magnésium. Les différences sont également significatives au seuil de 1 % pour le calcium et de 1 pour mille pour le potassium et le magnésium.

Dans l'horizon Ega, calcium, magnésium et potassium échangeables sont en plus faible teneur sous la futaie de Chêne que sous le taillis-sous-futaie, aux deux niveaux et les teneurs diffèrent significativement au seuil de 1 pour mille sauf en ce qui concerne le calcium de 25 à 40 cm pour lequel la différence n'est pas significative, même à 5 %.

DISCUSSION ET CONCLUSION

La diminution de poids des dix premiers centimètres sous futaie s'explique aisément par une plus grande proportion d'horizons entièrement organiques, liée au type d'humus et notamment à la présence d'un horizon OH qui n'existe pas sous le taillis-sous-futaie.

L'appauvrissement du sol de la futaie en cations nutritifs est net à la fois sous forme « totale » dans les horizons humifères et sous forme échangeable dans l'horizon Ega. *A priori* on aurait supposé que ce serait l'inverse en raison d'exportations minérales vraisemblablement plus fortes dans le taillis-sous-futaie (exportation de bois jeunes plus riches en éléments minéraux) que dans la futaie d'où l'on ne tire que des grumes de plusieurs dizaines d'années, riches en bois de cœur peu minéralisé, sauf à l'occasion des premières éclaircies.

D'après Duchaufour (1977), le mélange d'une espèce améliorante comme le Charme favorise la formation d'un humus de type mull. Cependant des études en hêtraie normande (Aubert, 2003), si elles ont bien confirmé que la présence de Charme dans le peuplement favorise l'élaboration d'humus de ce type, elles ont aussi mis en évidence que la vitesse de décomposition des litières est inchangée. Ces mêmes études établissent aussi que sous hêtraie pure la nitrification est plus active. S'il en est de même sous chênaie pure, par rapport à un mélange Chêne-Charme, les cations sont plus fortement lixiviés dans la futaie, ce qui correspond aux résultats obtenus dans le travail effectué à Citeaux : le sol sous chênaie pure est plus pauvre en cations, calcium, magnésium et potassium, que celui du taillis-sous-futaie.

Aux deux niveaux de l'horizon Ega, les différences en faveur du taillis-sous-futaie ne peuvent pas être attribuées à une plus faible vitesse du cycle biologique en futaie qui aurait privé cet horizon d'éléments accumulés dans les couches organiques et en A puisque les contenus dans ces niveaux supérieurs sont plus faibles sous la futaie comme nous venons de le voir.

Ces différences pourraient éventuellement relever de la richesse des litières en éléments nutritifs. Des travaux effectués en forêt de Hesse (cf. tableau II, p. 687) concluent à des teneurs des feuilles de Charme plus fortes que celles de Chêne en phosphore (1,53 g/kg contre 1,38), calcium

Tableau I

Moyennes du poids en grammes d'un volume de 277 cm³ des horizons supérieurs HA, des quantités de Ca, K et Mg totaux dans ce même volume, des teneurs en Ca, K et Mg échangeables en Ega, dans la futaie et le taillis-sous-futaie.

Les écarts types sont indiqués. La valeur la plus forte entre les deux régimes est en gras et marquée d'astérisques lorsque la différence avec l'autre régime est significative : * pour 5 %, ** pour 1 %, *** pour 1 pour mille.

Échantillon	Poids sec				Ca			
	Taillis-sous-futaie		Futaie		Taillis-sous-futaie		Futaie	
	moyenne	*écart type*	moyenne	*écart type*	moyenne	*écart type*	moyenne	*écart type*
HA	**176,8**** g	*30,1*	154,9 g	*36,2*	**0,059**** g	*0,015*	0,050 g	*0,015*
E 10-25					**0,106***** cmol⁺/kg	*0,040*	0,079 cmol⁺/kg	*0,027*
E 25-40					0,104 cmol⁺/kg	*0,040*	0,098 cmol⁺/kg	*0,053*

Échantillon	K				Mg			
	Taillis-sous-futaie		Futaie		Taillis-sous-futaie		Futaie	
	moyenne	*écart type*	moyenne	*écart type*	moyenne	*écart type*	moyenne	*écart type*
HA	**0,012***** g	*0,002*	0,010 g	*0,002*	**0,060***** g	*0,011*	0,041 g	*0,015*
E 10-25	**0,087***** cmol⁺/kg	*0,030*	0,061 cmol⁺/kg	*0,015*	**0,156***** cmol⁺/kg	*0,091*	0,088 cmol⁺/kg	*0,029*
E 25-40	**0,103***** cmol⁺/kg	*0,021*	0,083 cmol⁺/kg	*0,026*	**0,518***** cmol⁺/kg	*0,217*	0,337 cmol⁺/kg	*0,264*

(8,36 contre 5,51), alors que les teneurs en potassium et magnésium sont voisines (9,30 en potassium et 2,05 en magnésium) ; ceci pourrait expliquer en partie la plus forte teneur en calcium dans le sol du taillis-sous-futaie.

TABLEAU II **Composition foliaire comparée du Chêne et du Charme, en g/kg**
(d'après A. Legout, communication personnelle)

Élément	Moyenne et erreur standard	Charme	Chêne
Azote	Moyenne	21,05	22,26
	Erreur standard	*0,84*	*0,57*
Phosphore	Moyenne	1,53	1,38
	Erreur standard	*0,05*	*0,21*
Potassium	Moyenne	9,22	9,38
	Erreur standard	*0,34*	*1,50*
Calcium	Moyenne	8,36	5,51
	Erreur standard	*0,68*	*0,92*
Magnésium	Moyenne	2,12	1,99
	Erreur standard	*0,10*	*0,35*

En définitive, l'appauvrissement des horizons humifères ainsi que de l'horizon Ega sous la futaie de Chêne tient sans doute à la plus forte lixiviation d'éléments sous l'humus de ce peuplement. Il a été très clairement mis en évidence, dans les travaux menés au Centre de pédologie du CNRS à Nancy, que les humus de type moder génèrent des acides organiques à petites molécules, oxalique, citrique, lactique par exemple (Védy, 1973), et surtout de molécules organiques pseudosolubles, susceptibles de mobiliser les cations et de les entraîner dans les eaux de drainage (Duchaufour, 1997). Une nitrification éventuellement plus forte sous chênaie pure, renforcerait l'action lixiviante des substances organiques. L'absence de différence significative à la partie inférieure de E tend à montrer qu'une partie du calcium lixivié se fixe à nouveau sur les argiles à ce niveau. Ce n'est pas le cas pour le magnésium dont le coefficient d'échange avec l'aluminium du complexe absorbant est plus défavorable que celui du calcium (Hildebrand, 1986). Nous avons déjà signalé ce fait important à l'occasion des travaux menés en forêt du Donon sur l'Observatoire de la qualité des sols (Bonneau, 2000 ; Bonneau *et al.*, 2006).

Ainsi avons-nous ici un bon exemple de l'effet du régime appliqué à la forêt et du type d'humus généré par cette première cause, ceci sur une même roche mère assez pauvre et sous un même climat, dans un sol déjà acidifié à l'origine par l'apport de pluies acides d'origine à la fois naturelle et anthropique, bien que l'acidité d'origine anthropique des précipitations soit sans doute modérée sur ce site qui n'est pas sous le vent de grands centres industriels. On voit clairement qu'ici l'évolution de l'humus de mull en moder qui a suivi la conversion en futaie a probablement déclenché un cycle de lixiviation de cations nutritifs en chargeant les eaux de drainage de substances organiques solubles ou pseudosolubles capables de les mobiliser. Le changement de régime et le passage d'un peuplement d'essences mélangées à une monoculture de Chêne en a probablement été la cause première. La fréquence des coupes qui, tous les 25 ou 30 ans, accélèrent la minéralisation de la matière organique sous le taillis-sous-futaie a été vraisemblablement un second facteur-clé dans l'évolution de l'humus et donc du sol. La flore, bien que comportant sous le taillis-sous-futaie des éléments défavorables (callune et *Leucobryum*) n'a apparemment pas eu d'influence et n'y a pas empêché l'élaboration d'un humus de type mull.

L'exportation d'éléments, très probablement plus forte dans le régime de taillis-sous-futaie, aurait pu jouer en sens inverse, conduisant à une meilleure conservation de la fertilité en futaie. Mais cet effet a été occulté par celui de l'humus, plus important.

Malgré des imperfections notables, en particulier l'absence de détermination de la composition des feuilles tombantes, des minéralomasses sur pied et des exportations, et de la diversité du couvert végétal en période estivale, cette étude met en lumière le rôle important du type d'humus sur l'évolution de la fertilité minérale des sols de forêt. D'autres études (Ranger *et al.*, 2010) ont montré celui de la vitesse du cycle biogéochimique qui ne joue apparemment ici qu'un faible rôle. Dans l'Observatoire de la qualité des sols du Donon (Bonneau, 2000, 2006), nous avons mis en évidence l'effet très important des phases de minéralisation intense des humus en liaison avec des conditions climatiques particulières ou avec une coupe à blanc.

En conclusion, ce travail amène à évoquer des questions générales :

— avantage des mélanges par rapport aux monocultures. Celles-ci sont toujours défavorables, sauf si l'essence unique fournit une litière très facilement décomposable, ce qui n'est pas possible en sol pauvre où les essences à litière riche ne peuvent se développer, seules tout au moins (à l'exception notable du Robinier qui modifie la vitesse du cycle par la richesse de sa litière en azote). Parfois le mélange est perpétué par l'action humaine ; ainsi Duchaufour (1948) observe que le Charme a subsisté dans des stations de faible fertilité grâce à la reproduction végétative imposée par la coupe.

— effets de la fréquence des coupes. Les coupes fréquentes s'avèrent favorables dans les milieux pauvres car elles permettent le développement d'humus de meilleure qualité que ceux qui sont générés dans des peuplements moins souvent entrouverts. Or la nature de l'humus a un rôle moteur dans le fonctionnement biogéochimique de l'écosystème.

Cette étude montre que des processus antagonistes caractérisent les écosystèmes forestiers en constante évolution et que des changements de régime sylvicole peuvent entraîner une dégradation de leur fonctionnement.

Maurice BONNEAU
Ingénieur général honoraire du GREF
Directeur de recherches honoraire de l'INRA
7 rue Albert Camus
F-66600 RIVESALTES
(maurice.bonneau1@free.fr)

Jean-Christophe SURAN †
Ingénieur-Élève à l'ENGREF
à l'époque de la réalisation de ce travail

Arnaud LEGOUT
Chargé de recherches
UR Biogéochimie des écosystèmes forestiers
Centre INRA de Nancy
F-54280 CHAMPENOUX
(legout@nancy.inra.fr)

Marie-Françoise SLAK
Maître de Conférences hors classe
Inspectrice de l'Enseignement agricole
DGER - Inspection de l'enseignement agricole
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'ALIMENTATION,
DE LA PÊCHE, DE LA RURALITÉ
ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
1ter avenue de Lowendal
F-75700 PARIS
(marie.slak@hotmail.fr)

Jacques RANGER
Directeur de recherches
UR Biogéochimie des écosystèmes forestiers
Centre INRA de Nancy
F-54280 CHAMPENOUX
(ranger@nancy.inra.fr)

BIBLIOGRAPHIE

AUBERT (M.). — Biodiversité et processus écologiques à l'interface sol-végétation dans les hêtraies sur limon de Haute-Normandie. — Thèse pour obtenir le doctorat de l'Université de Rouen, discipline biologie, spécialité écologie présentée le 06 juin 2003. — [Rouen] : [Université de Rouen, Laboratoire d'Écologie, groupe Ecodiv, UPRES-EA1293], 2003. — 168 p.

BONNEAU (M.), RANGER (J.). — Effect of an oak forest on a silty acid soil. Changes in humus and exchangeable cations. E.S.F. Workshop "State and Changes of Forest Ecosystems" (March 21-24th, 1983 ; Uppsala, Sweden), pp. 245-249. *In*: State and change of forest ecosystems. Indicators in current research. Proceedings of the E.S.F. workshop. What properties of a forest ecosystem give the best information on state on change, Uppsala, March 21-24, 1983. — Göran I. Ågren, 1984. — 413 p.

BONNEAU (M.). — Évolution sur dix ans de la fertilité minérale d'un sol acide des Vosges. — *Revue forestière française*, vol. LII, n° 6, 2000, pp. 519-529.

BONNEAU (M.), BONNAUD (P.), GELHAYE (D.), RANGER (J.). — Observatoire de la qualité des sols (O.Q.S.) du Donon : contenu et flux de Ca, Mg et K après la tempête de 1999. — *Étude et Gestion des Sols*, vol. 13, 1, 2006, pp. 23-32.

DUCHAUFOUR (Ph.). — Abrégé de pédologie. Sol, végétation, environnement. — Paris : Masson, 1997. — 291 p.

DUCHAUFOUR (Ph.). — Pédologie. Tome 1 : Pédogénèse et classification. — Paris : Masson, 1977. — 477 p.

DUCHAUFOUR (Ph.). — Recherches écologiques sur la chênaie atlantique française. — *Annales de l'École nationale des Eaux et Forêts et de la Station de recherches et expériences*, tome XI, fascicule I, 1948, 332 p.

HILDEBRAND (E.E.). — Zustand und Entwicklung der Austauschereigenschaften von Mineralböden aus Standorten mit erkranken Waldbeständ. — *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, vol. 105, n° 1, 1986, pp. 60-76.

RANGER (J.), AUGUSTO (L.), BONNAUD (P.), GELHAYE (D.), JAFFRAIN (J.), MARESCHAL (L.). — Effet des essences sur la qualité des sols et la durabilité des écosystèmes forestiers. Partie II. — *Forêt privée*, n° 315, 7-8, 2010, pp. 72-81.

SLAK (M.-F.), SURAN (J.-C.) — Influence du traitement sylvicole "futaie ou taillis-sous-futaie" sur la richesse minérale du sol : approche expérimentale. — Nancy : ENGREF ; Champenoux : Institut national de la recherche agronomique, 1982. — 30 p. (Rapport de fin d'études).

VÉDY (J.-C.). — Relations entre le cycle biologique des cations et l'humification en milieu acide. — Université de Nancy, 1973. — 141 p. (Thèse de Docteur ès-sciences naturelles).

UN EXEMPLE DE L'EFFET DU RÉGIME SYLVICOLE SUR L'HUMUS ET LA RICHESSE DU SOL EN ÉLÉMENTS NUTRITIFS (Résumé)

Les facteurs de la pédogénèse et ceux de la fertilité des sols sont connus. Les effets des traitements sylvicoles sur le sol le sont moins, comme par exemple le passage du régime du taillis-sous-futaie à la futaie.

Le taillis épuiserait davantage la fertilité minérale du sol que la futaie par suite de l'exportation de biomasse, à l'inverse la futaie pourrait conduire à des humus plus dégradés qu'en taillis. Cet article présente un exemple pris en chênaie ligérienne et pose la question générale de l'effet des monocultures fussent-elles feuillues, et celle des perturbations des écosystèmes, sur la fertilité minérale des sols.

AN EXAMPLE OF THE EFFECT OF SILVICULTURAL PRACTICES ON HUMUS AND NUTRIENT CONTENT OF SOILS (Abstract)

The factors involved in soil formation and fertility are known. The effects of silvicultural practices on soil are not so well-known, for instance those arising from switching from a coppice-with-standards to a high forest system.

Coppice is thought to take a greater toll on the inorganic fertility of soils as compared to a high forest system because of biomass removal. However, the high forest system may produce more degraded humus than coppicing. This article presents an example from an oak stand in the Loire river basin, raising the general question of the effect of single-crop systems, including deciduous species, and of ecosystem disruption on the inorganic fertility of soils.