Appréciation de la fertilité du sol

Gérard Lévy

▶ **To cite this version:**

Gérard Lévy. Appréciation de la fertilité du sol. Revue forestière française, 1988, 40 (Spécial), pp.11-18. 10.4267/2042/25922 . hal-03424907

HAL Id: hal-03424907
https://hal.science/hal-03424907v1

Submitted on 10 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.

APPRÉCIATION DE LA FERTILITÉ DU SOL

G. LÉVY

Un sol forestier est fertile, au sens large, lorsqu'il peut satisfaire les exigences globales des arbres en éléments minéraux et en eau ; aussi traiterons-nous dans une première partie des méthodes d'appréciation générale de la fertilité d'un tel sol. Cette notion de fertilité est cependant relative : elle dépend aussi de caractères propres à l'essence concernée, tels son type d'enracinement et surtout ses exigences, et également de caractéristiques générales de la région considérée, comme son climat et la gamme de substrats représentés ; nous présenterons ainsi dans une seconde partie, à titre d'exemples, les propriétés les plus importantes à apprécier pour certaines essences dans une région donnée.

ÉVALUATION DES CARACTÉRISTIQUES IMPORTANTES

Alimentation en eau

- *L'enracinement*

L'alimentation hydrique des arbres dépend de la profondeur et de la densité de leur enracinement. L'examen des racines sur un profil de sol peut permettre d'apprécier ces deux variables.

En l'absence d'arbres, l'étude de ce profil et notamment des horizons successifs et de leurs propriétés permet de se faire une idée de l'enracinement futur. On s'intéressera particulièrement à :

— la texture : ainsi, une très forte proportion d'argile sera défavorable ;

— la structure : les racines s'infiltrant entre les unités, une structure assez fine sera la plus favorable (par exemple unités structurales de l'ordre du centimètre). Mais la structure varie souvent dans le temps au cours de l'année, notamment avec les conditions climatiques : aussi calcule-t-on au laboratoire l'indice « d'instabilité structurale » qui tient compte de l'effet des facteurs susceptibles d'altérer la structure. Des études ont permis de montrer une liaison entre cet indice et la densité d'enracinement d'essences forestières dans l'horizon considéré (Lévy, 1968) ;

— la présence de barrières à l'enracinement qui limitent la profondeur du sol utilisable, en particulier :

— une roche dure continue, ou une très forte teneur en cailloux,

— des marnes feuilletées,

— un sol très compact,

— d'importantes traces d'hydromorphie (des mesures de la profondeur d'affleurement des nappes permettront de vérifier que cette hydromorphie est bien actuelle et non fossile).

• *La capacité de rétention maximum en eau utile par le sol*

Dans un horizon donné, l'« eau utile » est égale à l'eau retenue à la capacité au champ (c) diminuée de celle retenue au point de flétrissement permanent (f) (valeurs exprimées dans un premier temps en pourcentage du poids du sol). La capacité au champ est l'eau retenue après une période pluvieuse qui sature le sol suivie d'un ressuyage pendant 2 à 3 jours ; une partie de cette eau, celle retenue au point de flétrissement, l'est trop fortement pour être absorbée par les arbres.

Ces deux valeurs sont estimées de façon plus précise au laboratoire par mesure de l'eau retenue après application de diverses pressions sur un sol saturé. L'estimation de la texture sur le terrain permet déjà de se faire une certaine idée de l'eau utile (figure 1) ; c'est ainsi qu'elle est la plus faible si la texture est sableuse, la plus élevée si l'horizon est limono-argileux.

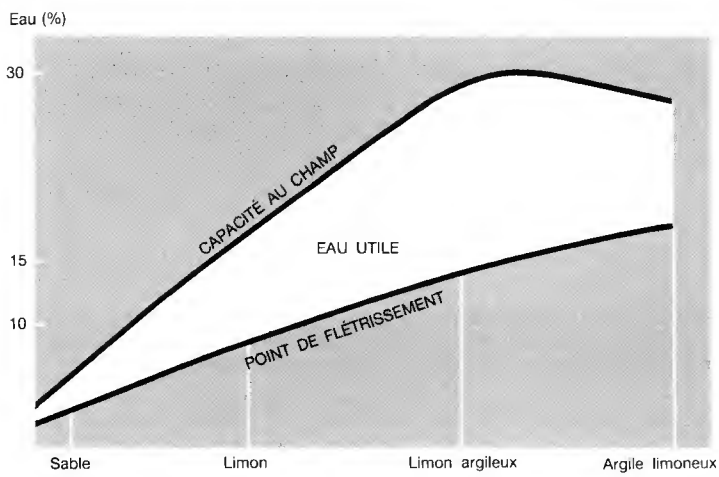

Figure 1
VARIATION DE L'EAU UTILE EN FONCTION DE LA TEXTURE (d'après Duchaufour, 1970)

L'eau utile est finalement exprimée en hauteur d'eau (en mm). Ainsi, dans un horizon sans cailloux, on a :

$$RU(mm) = \frac{c - f}{100} \times h(mm) \times d'$$

avec RU = réserve utile, h = épaisseur de l'horizon, d' = densité apparente de la terre fine.

Pour l'ensemble du sol, la réserve utile totale est égale à la somme des réserves utiles des différents horizons enracinés, à laquelle on ajoute 10 à 30 mm, selon la texture, pour tenir compte de la remontée capillaire.

En plus de la profondeur de l'enracinement, qui intervient donc dans la réserve utile totale d'un sol, la densité des racines dans les différents horizons est également importante : pour une RU

donnée, la réserve facilement utilisable (RFU) est d'autant plus élevée que l'enracinement est plus dense (RFU constitue la réserve que l'arbre peut absorber sans diminuer sa transpiration).

Dans le cas particulier que constitue la présence d'une nappe permanente dans le sol, l'alimentation en eau reste très bonne tant que la nappe ne descend pas en dessous de 50 cm sous les racines les plus profondes, en moyenne. Cette nappe peut s'observer dans un trou fait à la tarière ; son niveau le plus bas correspond à la profondeur d'apparition de l'horizon Gr, s'il s'agit d'un gley.

- *Les conditions topographiques*

Elles interviennent sur l'approvisionnement latéral en eau. Si le sol n'est pas horizontal, il y a arrivées et départs d'eau par ruissellement, le bilan étant plus ou moins favorable ou défavorable selon la situation topographique (bas ou haut de pente, rupture de pente, cuvette, etc...), (Le Goff et Lévy, 1984).

- *Les exigences en eau des diverses essences*

On classe très grossièrement les espèces en hygrophiles, mésophiles, xérophiles. Ainsi, les xérophiles économisent le mieux l'eau du sol en réduisant leur transpiration dès que ces réserves en eau commencent à diminuer. Il est nécessaire de bien connaître les exigences en eau des espèces auxquelles on s'intéresse. On s'est ainsi rendu compte que les exigences des Chênes pédonculé et sessile, classés tous deux parmi les mésophiles, étaient en fait très différentes (Becker et Lévy, 1982).

Nutrition minérale

Le type d'humus (cf. page 14) et de sol (cf. pages 15-16), les associations végétales, la texture du sol, peuvent donner une idée globale de la richesse chimique. Ainsi, les sables sont souvent pauvres, les argiles souvent riches bien que l'équilibre entre éléments ne soit pas forcément le meilleur.

Une bonne évaluation de cette richesse nécessite cependant des analyses chimiques.

- *Nutrition azotée*

Elle dépend d'un certain nombre de facteurs (figure 2) :

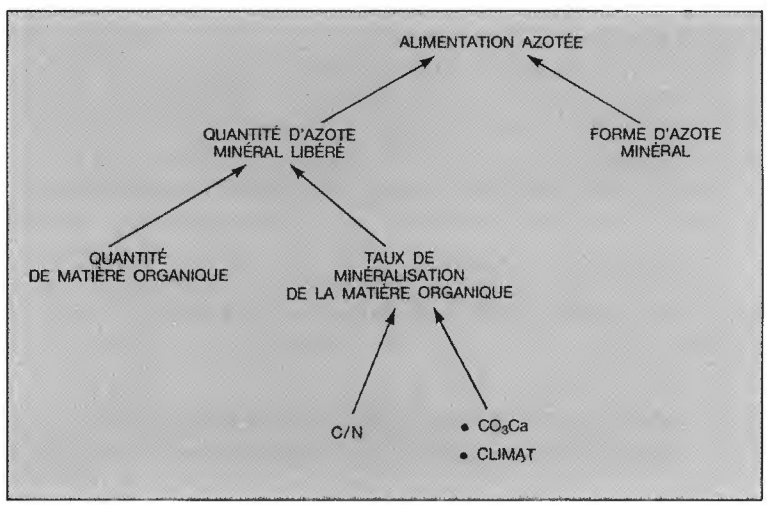

Figure 2
FACTEURS DONT DÉPEND L'ALIMENTATION AZOTÉE DES ARBRES

— Le rapport C/N. Pour un C/N de 25 dans l'horizon A_1 et encore plus au-delà de cette valeur, tout l'azote libéré est susceptible d'être consommé par les micro-organismes. En dessous de 25, C/N est d'autant plus favorable qu'il est plus faible. C/N est déterminé par analyse, mais le type d'humus permet déjà de s'en faire une idée (figure 3).

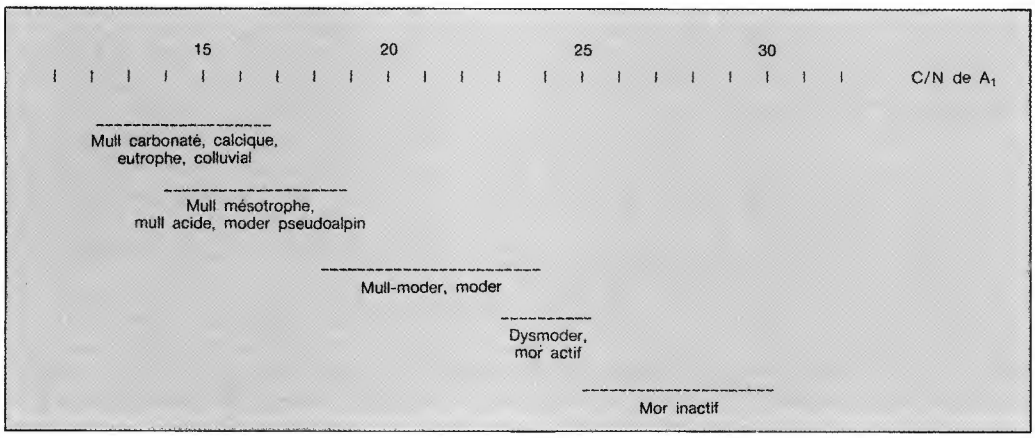

Figure 3 **GAMME DE VARIATION DU RAPPORT C/N DE L'HORIZON A_1 POUR DIFFÉRENTS TYPES D'HUMUS** (d'après Bonneau, 1981)

— D'autres facteurs que le rapport C/N peuvent intervenir sur le taux de minéralisation de la matière organique. Il s'agit : du **climat** (ainsi, le taux de minéralisation diminue-t-il avec l'altitude) et du **carbonate de calcium** (dans les mull carbonatés, l'enrobement des agrégats par du carbonate de calcium reprécipité ralentit la minéralisation).

— La quantité de matière organique. Elle est fonction de l'épaisseur des horizons organiques et de leur teneur en matière organique. On peut évaluer grossièrement ces variables par examen du profil (teinte). De plus, la détermination du type d'humus permet souvent de se faire une idée, non seulement de C/N, mais aussi du stock de matière organique, donc, finalement, de la quantité d'azote minéral libéré. Cette dernière variable est ainsi généralement la plus élevée sur mull colluvial, puis, dans l'ordre, sur mull eutrophe, mésotrophe, acide ; la plus faible sur mor et dysmoder, puis sur moder. Sur mull carbonaté, la quantité d'azote libéré peut être assez élevée si l'horizon A_1 est épais (rendzines colluviales) ou relativement faible dans le cas contraire (sols bruns calcaires).

— La forme d'azote minéral libéré. La forme absorbée préférentiellement (ammoniacal ($NH4^+$) ou nitrique ($NO3^-$), ou un mélange des deux) dépend de l'essence, l'âge, le milieu. La détermination du type d'humus peut fournir des indications. Ainsi, en présence de mull carbonaté, la nitrification est pratiquement totale, ce qui convient par exemple au Frêne, mais pas du tout aux résineux. Par contre, dans les dysmoders ou les mors, il n'y a guère ou pas de nitrification, ce qui ne convient guère qu'à certains résineux, tel le Pin sylvestre.

• *Éléments autres que l'azote*

Une alimentation minérale satisfaisante exige que certaines conditions soient satisfaites, notamment en ce qui concerne les différents éléments :

— teneur suffisante de la forme assimilable ;

— rétention avec une force suffisamment faible ;

— absence de déséquilibre important (antagonisme) ;

— enracinement suffisamment dense ; mycorhization.

Ces trois dernières exigences font que les quantités d'un élément prélevées par les arbres ne sont pas toujours en rapport avec le résultat des analyses de cet élément dans le sol. Aussi, les analyses foliaires fournissent-elles souvent une meilleure idée de la nutrition des arbres que les analyses de sol.

En plus des teneurs absolues en éléments, certaines données obtenues également par analyse de sol pourront permettre de supposer que la nutrition est bonne ; par exemple le pH (optimum : feuillus 5,5 à 6, résineux 4,5 à 5,5) ; également le rapport S/T (S : somme des bases échangeables, T : capacité totale d'échange) (résineux $\geq$ 10 %, Chêne $\geq$ 20 %, Frêne et Peuplier $\geq$ 50 %), ce qui correspond à la deuxième exigence ci-dessus.

En ce qui concerne les éléments majeurs, on dispose de normes approximatives permettant d'interpréter les résultats d'analyse des sols. Ainsi, on considère comme peu fertiles des sols dont les teneurs sont inférieures aux valeurs suivantes, en m.e./100 g de sol pour K, Mg et Ca et en p. mille pour P_2O_5 (Bonneau, 1980) :

— horizons humifères : K : 0,6 ; Mg : 0,6 ; Ca : 1,0 ; P_2O_5 : 0,10 ;

— horizons minéraux : K : 0,12 ; Mg : 0,06 ; Ca : 0,3 ; P_2O_5 : 0,06.

Quant aux **oligo-éléments**, leurs déficits sont surtout mis en évidence par analyse foliaire. Une des rares valeurs connues en ce qui concerne le sol est la suivante : il y a carence en cuivre chez le Douglas et l'Épicéa de Sitka, ce qui provoque des déformations de la pousse terminale, pour des teneurs en Cu inférieures à 4 ppm dans l'horizon A_1.

Un certain nombre de **phénomènes de toxicité** peuvent apparaître. Ils concernent :

— *Les sols calcaires* : les espèces dites calcifuges tolèrent mal la présence de CO_3Ca dans la terre fine des horizons superficiels. La présence de ce calcaire est facile à déterminer sur le terrain (HCl assez concentré) (voir paragraphe « Différentes espèces et régions », pages 16-17, les résultats d'études menées sur sols calcaires).

— *Les sels solubles* : c'est surtout ClNa qui est concerné ; il peut provoquer des troubles physiologiques. Ainsi, le Chêne tolère jusqu'à 4 m.e. Na/100 g, l'Épicéa est intoxiqué à partir de 3 m.e. Na/100 g (Evers, 1971). Il existe également des listes indiquant le seuil de toxicité de ClNa pour différentes espèces ; si le sol contient plus de 400 mg de ClNa/100 g, il est inutilisable.

— *L'aluminium échangeable* : il peut être abondant dans des sols tels les sols bruns acides ou les sols podzoliques. Il est surtout toxique pour les semis. Ainsi, il y a toxicité pour les semis de Pin maritime à partir de 0,5 m.e. Al/100 g de sol peu organique et de 1 m.e. Al/100 g de sol riche en humus (Juste, 1979).

— *Le manganèse* : il y a toxicité vis-à-vis des semis de Sapin dans les Vosges, sur humus de type mull, en présence de plus de 1,5 à 2,5 m.e. de Mn facilement réductible (Mn^{3+}) (Vallée, 1967).

— *Les métaux lourds* : les risques existent surtout sur sols pollués. Des teneurs limites pour les différents métaux ont été publiées.

Méthodes d'appréciation de la fertilité du sol (récapitulatif)

- *Examen du profil*

— Paramètres utiles à étudier : type et épaisseur de l'humus, profondeur du sol et, dans chaque horizon : texture, structure (dimension et netteté des unités), compaction et pénétrabilité (dépendent de la teneur en eau), traces d'hydromorphie (niveau et intensité des taches et concrétions ; il est utile de suivre la fluctuation des nappes, également), cailloux (nature, dimensions, proportion), calcaire de la terre fine, enracinement.

— La détermination du type de sol peut souvent donner une idée de la fertilité. Ainsi, très globalement et en moyenne :

— rendzines et sols bruns calcaires : ils présentent souvent des problèmes d'alimentation en eau et en azote, parfois en potassium ou magnésium, mais cela dépend de l'espèce ;

— sols bruns, bruns lessivés, lessivés : ce sont souvent de bons sols forestiers pour l'alimentation minérale et hydrique ;

— sols bruns acides, bruns ocreux, ocres podzoliques : ils conviennent à certaines espèces, telles le Hêtre ou le Sapin ;

— sols podzoliques et podzols : sur ces sols, les arbres ont généralement des difficultés d'alimentation en éléments minéraux, surtout azote, et en eau ;

— pseudogleys : lorsque l'hydromorphie est superficielle, il apparaît des problèmes de nutrition azotée (Lévy, 1981) ; d'autre part, l'alimentation hydrique estivale est souvent déficitaire, surtout sur sol à argile ou marne proche de la surface.

• *Analyses de laboratoire*

Elles comprennent principalement : des analyses physiques (texture, stabilité structurale, capacité au champ et point de flétrissement) et des analyses chimiques (forme assimilable des différents éléments nutritifs, pH, S/T, matière organique, C/N).

DIFFÉRENTES ESPÈCES ET RÉGIONS : PROPRIÉTÉS PARTICULIÈREMENT IMPORTANTES À APPRÉCIER

Nous avons vu que les exigences des arbres, tant en eau qu'en éléments nutritifs, varient selon les essences. De plus, selon la région, certains facteurs sont plus spécialement limitants. Aussi faudra-t-il apporter une attention particulière à certaines propriétés pour apprécier la fertilité du sol pour une essence donnée, dans une région donnée.

Les connaissances dans ce domaine découlent des études régionales des liaisons entre propriétés stationnelles et production de différentes espèces. De nombreuses études de ce type ont été réalisées. Nous allons présenter rapidement, à titre d'exemple, les propriétés importantes qui se dégagent de certaines de ces études. Ces propriétés ont d'ailleurs été généralement combinées dans une équation prédictive de la production (que nous ne présenterons pas ici). On se reportera, pour tous détails, à la publication d'origine.

Les plateaux calcaires de l'Est

— *L'Épicéa* (Le Tacon et Décourt, 1970). Sa production moyenne varie de 1,6 à 15 m^3/ha/an. Les facteurs du diagnostic sont constitués par : le type de sol, la profondeur de décarbonatation, la teneur en calcaire de l'horizon A_1, la réserve utile maximum en eau. L'Épicéa est une espèce calcifuge, mais une bonne alimentation en eau compense l'effet néfaste du calcaire.

— *Le Pin noir* (Décourt et Le Tacon, 1974). Cette espèce est indifférente au calcaire et ses besoins en eau sont peu élevés. La seule propriété du sol importante pour le diagnostic est sa teneur en phosphore assimilable.

— *Le Mélèze d'Europe* (C. Sindou, 1984). Sa sensibilité au calcaire et au déficit hydrique est intermédiaire entre celles de l'Épicéa et du Pin noir. Calcaire et eau constitueront néanmoins les éléments du diagnostic.

Les sols à hydromorphie temporaire de l'Est

Les facteurs importants de la production sont la teneur en argile du sol et le niveau supérieur atteint par la nappe ; la stabilité structurale du sol intervient également. Mais la sensibilité à ces

variables dépend beaucoup des espèces. Ainsi, sur sol à nappe superficielle et très argileux, les espèces dont la croissance est la moins affectée sont des pins : Pin noir, sylvestre, Weymouth, laricio de Calabre (S. Claude, 1986). Sur sol moins argileux, on peut ajouter à cette liste le Chêne et l'Épicéa (la production de cette dernière essence varie, selon les caractéristiques du sol hydromorphe, de 4 à 22 m^3/ha/an) (Lévy, 1978).

L'Épicéa dans le Limousin (Décourt et Nys, 1976)

L'élément essentiel du diagnostic est le type de sol. Les peuplements sur sol brun acide appartiennent généralement à la classe I de production, ceux sur sol brun acide humifère à la classe II, ceux sur sol podzolique à la classe III. L'élément secondaire du diagnostic est constitué par la position topographique.

Le Frêne dans le Nord-Est et dans la région Nord-Picardie (Devauchelle et Lévy, 1977 ; Le Goff et Lévy, 1984)

Le facteur essentiel de la production est l'approvisionnement en eau. Les éléments du diagnostic sont constitués par, d'une part la topographie et la microtopographie, d'autre part la profondeur du sol et secondairement sa texture.

D'une manière très globale et au moins dans un premier temps, les propriétés chimiques du sol ne seront donc pas prises en compte si l'on veut estimer la productivité d'un sol pour le Frêne dans ces deux régions.

Le Peuplier sur gley dans le Nord du Bassin Parisien (Garbaye, 1979)

La production dépend à la fois de l'effet néfaste de la nappe de printemps, si elle remonte à moins de 30 cm de la surface du sol, et de l'effet favorable de la nappe d'été, à condition qu'elle ne soit ni trop superficielle (plus proche que − 30 cm), ni trop profonde (profondeurs les plus favorables : entre − 30 et − 65 cm). Les éléments du diagnostic seront ainsi constitués par le niveau d'apparition des horizons Go et Gr du gley, la nappe fluctuant entre ces deux profondeurs au cours de l'année.

Nous venons de citer des exemples des propriétés essentielles à prendre en compte, en vue du diagnostic de fertilité, pour différentes essences dans certaines régions. Il ne faudra cependant pas négliger d'effectuer une étude générale (examen d'ensemble du profil, analyse du sol), car dans une station donnée peut exister un facteur limitant particulier qui n'est pas apparu à l'échelle statistique de l'étude régionale.

En conclusion, il convient d'insister sur le fait que l'amélioration du diagnostic de fertilité des sols suppose l'amélioration de nos connaissances sur l'autécologie et l'écophysiologie des essences forestières, c'est-à-dire nécessite de nombreuses études sur l'influence des divers facteurs du milieu sur le comportement des différentes essences.

G. LÉVY
Station de Recherches sur le Sol,
la Microbiologie et la Nutrition des Arbres forestiers
CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES (INRA)
BP 35
CHAMPENOUX 54280 SEICHAMPS

BIBLIOGRAPHIE

BECKER (M.), LÉVY (G.). — Le dépérissement du Chêne en forêt de Tronçais. Les causes écologiques. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 39, n° 4, 1982, pp. 439-444.

BONNEAU (M.). — Cours de pédologie forestière. 2e partie, chapitre V : appréciation de la fertilité du sol ; éléments autres que l'azote. — Nancy : ENGREF, 1980. — 26 p.

BONNEAU (M.). — Cours de pédologie forestière. 2e partie, chapitre IV : humus et nutrition azotée. — Nancy : ENGREF, 1981. — 23 p.

CLAUDE (S.). — Étude du comportement d'essences introduites sur sols à hydromorphie temporaire en Lorraine et Haute-Saône. — Champenoux : Centre national de Recherches forestières, 1986. — 141 p. (Mémoire de 3e année ENITEF).

DÉCOURT (N.), NYS (C.). — Nutrition, croissance et production de l'Épicéa et du Douglas dans le Limousin. — *Revue forestière française*, vol. XXVIII, n° 3, 1976, pp. 193-200.

DÉCOURT (N.), LE TACON (F.).. — Comportement du Pin noir sur les plateaux calcaires de l'Est de la France. — *Revue forestière française*, vol. XXVI, n° 3, 1974, pp. 211-218.

DEVAUCHELLE (R.), LÉVY (G.). — Propriétés stationnelles et croissance du Frêne dans l'Est de la France. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 34, n° 3, 1977, pp. 231-244.

DUCHAUFOUR (Ph.). — Précis de Pédologie. — Paris : Masson, 1970. — 481 p.

EVERS (F.H.). — Über Schäden in Fichtenbestäden durch abgeschwemmte Auftausalze. — *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, vol. 90, n° 6, 1971, pp. 363-369.

GARBAYE (J.). — Sol et productivité des peupliers « I.214 » et « Robusta » en populiculture traditionnelle dans le Nord du Bassin Parisien. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 36, n° 1, 1979, pp. 39-58.

JUSTE (C.). — In : Pédologie. Tome 2 : Constituants et propriétés du sol. — Paris : Masson, 1979. — 459 p.

LE GOFF (N.), LÉVY (G.). — Productivité du Frêne en région Nord-Picardie. B : Étude des relations entre la productivité et les conditions de milieu. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 41, n° 2, 1984, pp. 135-170.

LE TACON (F.), DÉCOURT (N.). — L'Épicéa commun sur les plateaux calcaires de l'Est de la France. Essai de prévision de la production à l'aide de déterminations pédologiques simples. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 27, n° 3, 1970, pp. 255-286.

LÉVY (G.). — Importance des propriétés du sol pour l'enracinement de *Picea excelsa* et de *Pinus sylvestris*. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 25, n° 3, 1968, pp. 157-188.

LÉVY (G.). — Nutrition et production de l'Épicéa commun adulte sur les sols hydromorphes en Lorraine : liaison avec les caractéristiques stationnelles. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 35, n° 1, 1978, pp. 39-58.

LÉVY (G.). — La nutrition azotée de l'Épicéa en sol engorgé : étude expérimentale. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 38, n° 2, 1981, pp. 163-178.

SINDOU (C.). — Étude de la croissance en hauteur et de la productivité du Mélèze d'Europe sur les plateaux calcaires de Lorraine. — Metz : Centre régional de la Propriété forestière, 1984. — 23 p. (Mémoire de stage ENGREF).

VALLÉE (G.). — Nouvelles contributions à l'étude du rôle du manganèse dans la régénération de la sapinière vosgienne. — Thèse de Docteur-Ingénieur, Université de Nancy, 1967. — 146 p.