

ETUDES DE NUTRITION PRODUCTION SUR LE CHÊNE PERSPECTIVES DE FERTILISATION ⁽¹⁾

PAR

Ph. LEROY

I.N.R.A. - C.N.R.F.

Station de Recherches sur les Sols Forestiers
et la fertilisation

PLAN DE L'ARTICLE

- I. — Préambule.
 - II. — Organisation de l'enquête nutrition-production.
 - III. — Les douze stations: vue d'ensemble.
 31. — Classement des stations par rapport à la production.
 32. — Généralités sur les types de sols.
 - IV. — Caractères du sol apparaissant en liaison avec la production.
 - V. — Indications fournies par le diagnostic foliaire.
 51. — Production et caractéristiques physiques des feuilles.
 52. — Production et analyses chimiques des feuilles.
 53. — Conclusion partielle relative aux analyses foliaires.
 - VI. — Synthèse: application à la fertilisation.
 61. — Type de fertilisation proposée.
 62. — Pratique de la fertilisation.
 - VII. — Conclusions - Remerciements - Bibliographie.
-

I. — Préambule

Un programme de recherches consacré aux liaisons production-nutrition du chêne, à l'époque des enrésinements massifs, pourrait paraître anachronique, et pourtant les questions relatives à la production de cette essence sont régulièrement soulevées par de nombreux auteurs. Il suffirait pour s'en convaincre, de consulter les

(1) *Note*: Des résultats plus détaillés seront prochainement publiés. Il ne s'agira ici que de définir une doctrine de fertilisation du chêne.

sommaires des différents numéros de la Revue Forestière. Nos recherches s'inscrivent ainsi dans le cadre d'une « tradition », mais en même temps, elles inaugurent l'application aux feuillus, de méthodes de travail jusqu'à présent essentiellement réservées aux résineux. De cette façon, nous pensons pouvoir réunir des informations susceptibles de répondre, en partie, à J. VENET (1967) qui s'interrogeait dernièrement sur les moyens d'accélérer la croissance du chêne de qualité.

Le présent article a pour but de résumer les résultats d'une enquête nutrition-production réalisée ces deux dernières années sur douze stations de chêne (Quercus sessiliflora) réparties dans trois forêts du secteur ligérien: Allogny (Cher); Blois (Loir-et-Cher); Bercé (Sarthe). Mais avant de commenter ces résultats, il nous paraît souhaitable de souligner que ce travail sur le chêne conduira, paradoxalement, à des applications dans le domaine des résineux. Le chêne est, en effet, une essence très répandue en France, et notamment dans des zones qui seront enrésinées. Or, nous savons que la prévision des potentialités nutritionnelles d'une station vis-à-vis des résineux, est difficile et parfois impossible par la voie directe d'analyses de sols. Par contre, il est, dès à présent, possible de chercher à établir les liaisons existant entre nutrition de chêne et nutrition des résineux sur diverses stations, où ces deux types d'essences cohabitent. La connaissance de ces liaisons donnerait le moyen de prévoir et, au besoin, d'améliorer les possibilités de nutrition, et donc souvent de production, d'une plantation résineuse sur une station, à partir d'observations simples sur les chênes préexistants.

En définitive, nos recherches sur le chêne ont un double objectif :

- amélioration de la production du chêne,
- prévision des potentialités nutritives d'une station à enrésiner.

Dans l'optique d'une forêt productive, cette double orientation s'adapte parfaitement aux préoccupations des forestiers qui cherchent à la fois à produire des feuillus de qualité, et des résineux en quantité.

II. — Organisation de l'enquête nutrition-production

Cette enquête constitue la deuxième tranche du programme général de travail sur le chêne. La première tranche traitait des modalités d'utilisation du diagnostic foliaire sur chêne; ses conclusions, appliquées dans l'enquête, ont été rapportées par ailleurs (LEROY, 1968).

Les stations composant l'échantillon retenu pour l'enquête nutrition-production, ont été choisies selon deux critères principaux :

- elles devraient fournir une fourchette de production étendue ;
- elles devaient se situer sur des sols issus de roche-mères très fréquentes sous forêt et relativement voisines, afin d'éviter une trop grande hétérogénéité sur le plan des facteurs édaphiques.

Les nombreuses mesures et analyses requises pour l'exécution du travail, n'ont pas permis, dans un premier temps, de pousser les investigations sur plus de douze stations. Un échantillon aussi réduit pourrait paraître insuffisant ; en fait, il a donné des réponses très intéressantes et de portée générale.

Les trois forêts échantillonnées produisent des bois de qualité tranchage: les efforts d'amélioration de production de chêne, semblent, en effet, devoir être orientés vers cette catégorie de produit. La forêt domaniale d'Allogny a fourni deux stations notées A₁ et A₂ dans la suite de l'article. La forêt domaniale de Bercé a fourni, de son côté, huit stations notées B₁ à B₈. Enfin, pour la forêt domaniale de Blois, deux stations notées B₁ et B₂.

Par ailleurs, les conditions climatiques de ces trois forêts sont très voisines (cf. tableau 1). Les régimes de pluviométrie et de température ont des allures sensiblement identiques. Seule apparaît une légère différence en ce qui concerne les déficits de pluviométrie

TABLEAU N° 1

Données climatiques sommaires

	t° moy.	t° min.	t° max.	P	D
ALLOGNY	11.0	6.3	15.7	661	190
BERCE	11.0	6.2	15.8	650	223
BLOIS	11.1	6.2	16.0	625	230

t° moy. : température moyenne annuelle.

t° min. : moyenne annuelle des températures minimum.

t° max. : moyenne annuelle des températures maximum.

P en mm : hauteur normale de pluies.

D en mm : déficit d'eau au cours de la période estivale.

par rapport à l'évapotranspiration au cours de l'été: Allogny souffrirait moins de la sécheresse estivale que Bercé et Blois (1).

Il reste enfin à préciser que pour cette enquête nutrition-production, *l'ensemble des mesures de production a été réalisée par J. BOUCHON, station de Sylviculture du C.N.R.F.*; on trouvera un article à ce sujet dans le même numéro de la revue. Seuls seront exposés ici, les résultats concernant les sols et les analyses foliaires.

III. — Les douze stations : Vue d'ensemble

Avant d'entamer la discussion des résultats, il est utile d'avoir une vue panoramique sur les douze stations retenues, tant sur le plan de la production que sur celui des types de sols.

31. — Classement des stations par rapport à la production.

Le travail de J. BOUCHON a permis de classer les stations en plusieurs groupes de production. La plupart des stations se retrouvent toujours dans le même groupe, quelle que soit la méthode d'évaluation de la production utilisée. Pour l'enquête, le classement basé sur les « hauteurs moyennes » a été retenu comme étant celui qui donnait l'image la plus proche de la réalité. Ce classement, ainsi que les indices de production affectés à chaque station, figurent sur les tableaux de résultats (tableaux 2 et 3).

Deux remarques faciliteront l'interprétation de ces tableaux :

— les stations ont été classées en 4 groupes de production (2,2 à 8,3 m³/ha/an — production exprimée par l'accroissement moyen annuel max. — calcul par les hauteurs moyennes).

— les stations B₁₂ et B₆, seules à présenter des variations de classement en fonction du critère choisi pour calculer la production, ont été rattachées en groupe III. On leur a donc affecté une production calculée à partir des hauteurs moyennes.

32. — Généralités sur les types de sol.

Rappelons que par souci d'homogénéité, les douze stations reposent sur des roches-mères voisines. Il s'agit d'argiles à silex du senonien ou turonien, recouvertes de placages limoneux d'épaisseur variable. Une seule exception, A₁₁, où la roche-mère est un sable dit de Vierzon. Rappelons également que, parmi les facteurs

(1) ETP estimée à partir des travaux de TURC et AI (1963).

TABLEAU N° 2

Analyses de sol: Tableau synthétique

Groupe	Stations	Production (1)	C/N moy. (2)	pH moy. (2)	Nt (3)	N min. (4)	N org. (4)	P ₂ O ₅ ass. (5)	K ass. (5)	Ca ass. (5)	Mg ass. (5)	S/T moy. (2)	K ass. P ₂ O ₅ ass (5)
I	B7	8.34	12	4.5	6756	4206	2550	1054	389	30	410	8.5%	0.37
	A1 ₂	6.63	15	4.6	5978	2998	2980	668	368	1570	543	15%	0.55
III	B8	5.64	18	4.4	7612	4434	3178	664	242	82	57	3.5%	0.36
	B3	5.53	15	4.7	7621	5061	2560	1028	1141	6620	3365	17%	1.11
	B2	4.97	18	4.4	8013	4755	3258	588	425	229	259	5%	0.72
	A1 ₁	4.87	17	4.6	7470	3370	4100	1283	281	1888	425	26%	0.22
	B1 ₁	4.72	20	4.5	5944	2904	3040	507	582	572	2572	11%	1.15
	B6	4.34	30	4.2	6257	3257	3000	248	603	274	295	5.5%	2.43
B1 ₂	3.68	15	4.7	8637	5487	3150	680	1128	10447	6055	25%	1.66	
IV	B5	2.45	29	4.3	4436	2325	2411	182	231	23	92	3%	1.27
	B1	2.14	25	4.1	12822	3452	9370	710	892	407	486	5.5%	1.26
	B4	2.06	21	4.3	11594	5591	6003	674	829	305	1226	9%	1.23

- (1) Production exprimée par accroissement moyen annuel max. en m³ (calcul par hauteurs moyennes).
 (2) C/N, pH, S/T: moyenne des valeurs obtenues dans les horizons analysés.
 (3) Nt: Azote total contenu dans les 100 cm supérieurs du profil (kg/ha).
 (4) N min., N org.: Azote total contenu respectivement dans les horizons minéraux et organiques (kg/ha).
 N min. + N org. = Nt.
 (5) P₂O₅, K, Ca, Mg: quantité d'éléments assimilables des 100 cm supérieurs du profil en kg/ha.

TABLEAU N° 3
Analyses foliaires: Tableau synthétique (1967)

Groupe	Stations	Production (I)	% N	% P ₂ O ₅	% K	% Ca	% Mg	Σ % (2)	% H ₂ O (3)	% H ₂ O + Σ %
I	B7	8.34	2.190	0.405	1.150	0.640	0.155	4.540	165.6	619.6
		6.63	2.124	0.368	0.835	0.780	0.158	4.265	147.8	574.3
III	B8	5.64	1.990	0.353	0.909	0.624	0.128	4.004	134.3	534.7
	B3	5.53	1.838	0.273	1.028	0.737	0.218	4.094	131.2	540.6
	B2	4.97	1.841	0.253	0.942	0.791	0.167	3.994	137.2	536.6
	A1	4.87	2.165	0.261	0.883	0.493	0.166	3.968	140.8	537.6
	B1	4.72	2.030	0.240	0.695	0.711	0.174	3.850	134.7	519.7
	B6	4.34	1.744	0.374	1.374	0.840	0.124	4.456	154.1	599.7
	B12	3.68	2.196	0.274	0.875	0.686	0.143	4.174	134.3	551.7
IV	B5	2.45	1.512	0.367	0.985	0.578	0.148	3.590	133.6	492.6
	B1	2.14	1.639	0.380	1.026	0.584	0.160	3.789	130.4	509.3
	B4	2.06	1.682	0.241	1.010	0.741	0.160	3.834	145.9	529.3

(1) Production exprimée par accroissement moyen annuel max. en m³ (calcul par hauteurs moyennes).

(2) ε % = % N + % P₂O₅ + % K + % Ca + % Mg.

(3) % H₂O: teneur en eau des feuilles exprimée par rapport à la matière sèche.

N.B.: Pour une station, les prélèvements ont été réalisés sur 10 arbres.
Les résultats figurant au tableau sont donc les moyennes de 10 analyses.

de production, le sol occupe une place prépondérante. Une étude des variations de productivité du chêne sur les pentes à Bercé (LEROY, 1967) avait d'ailleurs conduit à la constatation suivante : entre deux points distants de 120 m, la production peut passer de 7,8 m³ à 2,1 m³ (accroissement annuel moyen max.), à la suite d'un changement des caractéristiques du sol. L'étude citée n'avait pas permis d'isoler avec certitude les facteurs édaphiques intervenant aussi efficacement ; cette lacune montre bien les difficultés d'utilisation des analyses du sol.

Pour l'enquête, l'échantillon des douzes stations a permis d'interpréter avec un peu plus de rigueur l'action des qualités du sol. *A priori cependant, aucune différence majeure n'apparaît entre les analyses chimiques et même physiques des douze sols* (cf. annexes I, II et III). A de rares exceptions près, tous ces sols sont pauvres en éléments assimilables ; leur capacité totale d'échange moyenne dans les horizons minéraux, est faible et de l'ordre de 7 à 8 m. e./100 g ; leur taux de saturation moyen oscille entre 5 et 25 %. Ainsi dans les annexes I et II où les sols sont rangés dans l'ordre du classement production, *le C/N et le pH étant mis à part*, il est impossible de retrouver une progression quelconque des diverses caractéristiques physiques ou chimiques analysées. Pourtant, les variations de production sont extrêmement larges. Cette anarchie apparente au niveau des analyses de sol serait probablement dissipée si on prenait en considération des facteurs tels que la microbiologie des humus, les réserves en eau, ou la recherche des éléments totaux. Malheureusement de tels facteurs, de mesure coûteuse et délicate, ne peuvent être révélés par les analyses classiques de sol.

Par opposition, une certaine hiérarchie semble régner parmi les types génétiques de sol de chacun des groupes de production définis plus haut :

Groupe I : sol brun lessivé.

Groupe II : sol brun lessivé.

Groupe III : sol lessivé, ou sol lessivé à tendance podzolique, ou sol lessivé à pseudogley.

Groupe IV : sol lessivé podzolique, ou sol podzolique à pseudogley, ou podzol.

En fait, du groupe I au groupe IV, se succèdent les divers stades de dégradation de la chênaie atlantique en station sèche ou humide, décrits par DUCHAUFOR (1948). Cette succession n'a pourtant pas de valeur vraiment explicative ; elle illustre parfaitement sur le plan des sols la chute de production observée dans les peuplements. Cet aspect descriptif permettra le repérage sur le terrain. Mais pour intervenir sur la production, il faut aller plus loin afin d'isoler les

facteurs sur lesquels on pourrait éventuellement s'appuyer pour améliorer à peu de frais, les potentialités de production. Cela fait l'objet des deux chapitres suivants.

IV. — Caractères du sol apparaissant en liaison avec la production

Des mesures complémentaires ont permis de pousser plus loin l'interprétation des analyses classiques de sol. Les réserves en eau ont été calculées, de même que les possibilités d'enracinement en fonction de la compacité. Les résultats de ces investigations seront publiés par ailleurs. Ils n'apparaîtront pas en clair dans la discussion présente, en effet ils touchent à des caractéristiques du sol peu modifiables artificiellement en sylviculture; ils perdent ainsi leur intérêt directement pratique. *Le rôle des possibilités de nutrition en eau sur une station ne doit cependant pas être sous-estimé*: l'eau est un facteur limitant courant. En fait, pour onze des douze stations étudiées, retenons que le facteur eau existe, mais qu'il ne semble pas limitant au point d'empêcher toute amélioration chimique. En B₁ seulement, les propriétés physiques héritées de la roche-mère excluent toute amélioration et tout espoir de production valable du chêne: 60 % de cailloux; 50 mm de réserve d'eau. Les commentaires d'analyse foliaire reprendront sous un aspect différenciant ces problèmes d'alimentation en eau.

Le tableau 2 jette quelque lumière sur les caractères du sol (l'eau et l'enracinement exceptés) qui, effectivement, semblent en liaison avec la production. Pour former ce tableau, les calculs d'éléments assimilables contenus dans les 100 cm de surface ont été exécutés en passant par les densités apparentes et les % volume de cailloux. Nous avons retenu d'autre part la notion peu classique de C/N moyen des horizons organiques et minéraux. La plupart des auteurs ne citent en effet que le C/N des horizons organiques (soit couche humifiée du A₀, soit A₁). Pourtant, quand on considère au tableau 2 le partage du stock d'azote entre horizons humifiés et horizons minéraux, il apparaît que 50 % environ de l'azote est contenu dans les horizons minéraux. Dans ces conditions, on conçoit que la nutrition azotée des arbres dépende à la fois des horizons organiques et minéraux: le C/N moyen acquiert ainsi une lourde signification en rendant compte des potentialités globales de mobilisation des stocks d'azote.

Deux notions capitales ressortent du tableau:

- la liaison C/N moy-production est très significative
($r = -0,78$, 10 ddl).
- la liaison pH-production est significative
($r = 0,58$, 10 ddl).

Plusieurs remarques complètent ces notions :

— Les quantités d'éléments assimilables contenus dans les 100 cm de surface ne suivent en rien le classement production. On peut même constater que la pauvreté en calcium n'est pas l'apanage des mauvaises stations. Par contre, le rapport K/P_2O_5 varie en fonction inverse de la production ($r = -0,57$) ; un déséquilibre phosphore potassium pourrait donc agir sur les mauvaises stations.

— Les corrélations S/T-Ca, S/T-pH, pH-Ca sont significatives (coefficients respectifs : 0,60 ; 0,70 ; 0,74 pour 10 ddl). Ces corrélations sont naturelles dans le sens où la liaison pH-taux de saturation est couramment admise. Elles sont intéressantes dans le sens où elles font apparaître de façon chiffrée un moyen éventuel d'intervention, le chaulage, alors que la liaison calcium-production n'est pas évidente.

— L'azote total contenu dans les 100 cm de surface n'est pas lié à la production. On note simplement une tendance au stockage d'azote dans les horizons organiques épais et à C/N élevé, des stations B₁ et B₄.

L'ensemble de ces observations conduit à formuler *quelques hypothèses sur les possibilités d'augmenter la production au moyen de la fertilisation* :

— apports de chaux et d'azote pour jouer sur le pH et remonter les disponibilités en azote ;

— apports de phosphore pour corriger les déséquilibres phosphopotassiques et relever les teneurs en P_2O_5 .

Ces apports ne pourraient d'ailleurs que favoriser l'activité biologique des sols et freiner les processus de dégradation. Il ne s'agit évidemment que d'hypothèses ; nous sommes en effet loin de savoir interpréter les analyses de sol avec précision. Seuls les essais de fertilisation permettront de déterminer l'efficacité et la rentabilité des engrais. Notons toutefois que ces premières conclusions rejoignent celles que divers auteurs ont pu faire à propos des résineux.

V. — Informations fournies par le diagnostic foliaire

Les études de sol constituaient la première approche des problèmes « nutrition-production » : ses conclusions sont partielles et hypothétiques. Les analyses foliaires vont apporter un complément d'information indispensable à la mise sur pieds de propositions plus fondées. Ces analyses ont été poursuivies pendant deux années consécutives de façon à vérifier la reproductibilité des résultats. Les

prélèvements ont été réalisés au mois d'août; la comparaison 1966-1967 conduit aux remarques suivantes :

— Le taux moyen d'azote passe de 2,11 % en 1966, à 1,94 % en 1967.

— La teneur globale moyenne en N, P, K, Ca, Mg passe de 4,28 % en 1966, à 4,00 % en 1967.

— Le % d'eau foliaire, exprimé par rapport à la matière sèche, passe de 143 % en 1966 à 138 % en 1967.

— entre 1966 et 1967, les écarts observés sur les % N, P, K, Ca, Mg et % H₂O sont de même signe quelque soit la station considérée (tendance générale à la baisse entre 1966 et 1967).

Ces écarts entre deux années peuvent être attribués à des différences climatiques (MILLER, 1966). L'année 1966 fut beaucoup plus humide que la normale. L'été 1967 a été très sec (1). *S'ils étaient désordonnés, ces écarts interdiraient l'utilisation du diagnostic foliaire.* En fait, il n'en est rien : les classements des 8 stations en fonction des diverses mesures sont pratiquement identiques en 1966 et en 1967 (corrélations 1966-1967 très fortement significatives). Ainsi avec quelques précautions, la comparaison des résultats d'analyses foliaires acquis en plusieurs années sera possible; il suffira simplement de tenir compte des écarts induits par les conditions climatiques. En définitive, nous pouvons donc ne commenter ici que les résultats 1967 et nous tenterons de leur donner une portée générale, en nous appuyant au besoin sur les résultats 1966.

51. — *Production et caractéristiques physiques des feuilles.*

Avant d'être analysées, les feuilles ont fait l'objet de mensurations et pesées afin de mettre en évidence les relations éventuelles entre la production et diverses caractéristiques foliaires telles que la taille, la teneur en eau (% H₂O) ou le poids sec de 1 000 feuilles (Ps). Seules les dimensions et teneurs en eau des feuilles reflètent les variations de production. Pour les P_s, aucune liaison ne se manifeste. Cependant, l'indice le plus riche de signification reste certainement le % H₂O (tableau 3). Il est en effet possible de penser *que la mesure extrêmement simple du % H₂O des feuilles donne une bonne appréciation des potentialités de nutrition en eau d'une station.* A titre d'exemple, à Allogny où la sécheresse estivale est moins prononcée qu'à Blois et Bercé, la station Al₁ voit son % H₂O plus élevé que la moyenne du groupe de production III: 141 % contre 136 %. De même en B₄, station à bonne réserve en eau: 145 % contre 136 %.

(1) Pour Allogny, Bercé et Blois, en 66 pluviosités respectives de juin-juillet: 121, 103, 122 mm. En 1967, aux mêmes époques: 64, 47, 22 mm.

L'intérêt du % H_2O est confirmé par le fait qu'il est lié significativement à la production ($r = 0,63$ pour 12 stations). Le niveau optimum du % H_2O estival se situant vers 156 % (PISEK et WINCKLER, 1956), nous constatons d'ailleurs que seuls les groupes I et II dépassent de peu cette valeur (158 %). Les groupes III et IV avec un % H_2O moyen de 136 % souffrent en été d'un déficit de saturation en eau. Nous vérifions ainsi quelques considérations sur l'eau évoquées à propos des études de sol.

52. — Production et analyses chimiques des feuilles.

Seuls, dans un premier temps, les éléments majeurs N, P, K, Ca et Mg ont été dosés. Le tableau 3 groupe les résultats d'analyse. Pour chacun des éléments, le calcul montre l'existence de différences significatives entre stations, cependant *seuls les % d'azote suivent de près le classement production* (corrélation % N - production: $r = 0,70$ pour 12 stations). D'autre part, en faisant la somme des % en N, P, K, Ca, Mg, on obtient un indice de nutrition minérale (ϵ %) (1) qui suit presque parfaitement le classement production (corrélation ϵ % - production: $r = 0,88$ pour 12 stations). Notons enfin que les corrélations NP, NK et KP sont fortement significatives. Cet ensemble de conclusions permet d'affirmer *que la nutrition minérale, et plus particulièrement la nutrition azotée, sont fortement liées à la production.*

Au tableau 3 figure en outre, un indice % $H_2O + \epsilon$ % qui est égal à la somme du % H_2O d'une station exprimé avec une décimale et de ϵ % $\times 100$. Cet indice intègre nutrition en eau et nutrition minérale. Il est, lui aussi, fortement lié à la production ($r = 0,82$ pour 12 stations). Il semble ainsi possible de rassembler en un seul chiffre un ensemble de facteurs nutritionnels fortement liés à la production.

53. — Conclusion partielle relative aux analyses foliaires.

Avant de tenter une synthèse globale des résultats concernant les sols et les feuilles, il est utile de résumer les données relatives aux liaisons production-analyses foliaires :

— Le % d'azote est lié à la production.

(1) L'indice ϵ % n'a qu'un intérêt restreint. Il suit simplement le classement-production avec plus de rigueur que le % N. ($r = 0,88$ contre $r = 0,70$). Notons également que cet indice n'est valable que pour le type de stations considérées dans le cas du chêne. Il n'a aucune portée générale, et ne peut être utilisé qu'avec prudence sur les argiles à silex du Bassin Parisien. Les mêmes remarques pourront s'appliquer à l'indice % $H_2O + \epsilon$ %.

Le seuil, en dessous duquel le % N correspond à une très mauvaise production peut être situé vers :

1,7 à 1,8 % en année sèche,
1,9 à 2,0 % en année humide.

— La teneur globale (ϵ %) en N, P, K, Ca, Mg est liée à la production.

Seuils proposés :

3,8 % en année sèche,
4,0 à 4,1 % en année humide.

— L'indice % $H_2O + \epsilon$ % intégrant alimentation en eau et nutrition minérale est lié à la production.

Seuils proposés :

520 à 530 en année sèche,
560 en année humide.

Il reste à insister sur les relations nutrition minérale - teneur en eau des feuilles. *Il n'y a pas de liaison statistique entre % H_2O et % N* ($r = 0,28$ pour 12 stations); si effectivement cette liaison existe, elle est donc relativement faible. Ce résultat laisse penser qu'il serait éventuellement possible, dans de nombreux cas, d'améliorer la nutrition azotée et, par là, la production, indépendamment de toute référence au facteur eau. La liaison % $H_2O - \epsilon$ %, quant à elle, est juste significative; la nutrition minérale dans son ensemble dépend ainsi en partie du facteur eau. Ces dernières remarques seront reprises dans la discussion des problèmes de fertilisation.

VI. — Synthèse: Application à la fertilisation

Les résultats commentés ci-dessus seront repris de manière plus fouillée dans une publication ultérieure. Ils permettent cependant de comprendre la façon dont se sont dégagées un certain nombre de notions relatives à la fertilisation du chêne. *Ces notions devront être vérifiées par des essais du terrain*, mais elles présentent déjà l'énorme intérêt d'avoir ouvert des pistes. Il était en effet difficilement concevable d'envisager une expérimentation sans information préalable sur les facteurs liés à la production. Par ailleurs, *sur le plan de la pratique*, il n'est pas impossible d'utiliser ces premiers résultats pour fertiliser des peuplements résineux ou feuillus dans la mesure où cette fertilisation a été décidée par le gestion-

naire. Notons toutefois, que ces résultats ne valent que pour les argiles à silex du Bassin Parisien; ce type de roche-mère est extrêmement représenté sous forêt.

61. — *Type de fertilisation proposé.*

Les études de sol laissent penser qu'il faut à la fois jouer sur les disponibilités en azote, le pH, le rapport K/P_2O_5 .

Les analyses foliaires confirment que sur mauvaise station, la nutrition azotée est moins bien assurée que sur bonne station. D'autre part, elles font supposer que le facteur eau n'est pas limitant au point d'empêcher une amélioration de la nutrition azotée. En ce qui concerne la nutrition minérale dans son ensemble (P, K, Ca, Mg), il faut être moins affirmatif: elle est en relation avec la production, mais elle semble davantage liée au facteur eau que l'azote. Dans ces conditions, pour les cas les plus défavorables, le déficit en eau risque d'empêcher une amélioration de la nutrition en P, K, Ca, Mg.

En fin de compte, la fertilisation devrait poursuivre les objectifs suivants:

- amélioration rapide de la nutrition azotée par apports d'azote,
- augmentation au pH et amélioration de la vie biologique par chaulage,
- correction du rapport K/P_2O_5 par apports de phosphore.

Il resterait à préciser le niveau de production à partir duquel il serait souhaitable et rentable d'intervenir avec des engrais. Nous reprendrons cette question, en notant dès maintenant que seuls les essais du terrain lui apporteront une réponse claire à plus ou moins long terme.

62. — *Pratique de la fertilisation.*

Dans le domaine de la production du chêne de tranchage, il s'agit d'éviter que la fertilisation n'entraîne des répercussions fâcheuses sur la qualité technologique du bois. On peut estimer, d'une façon générale, que les cernes annuels ne doivent pas dépasser les normes couramment admises pour le tranchage. Il faut en outre éviter les « coups d'accordéon » dans la croissance. Les effets brutaux des engrais n'étant pas très durables, *le seul moyen de respecter ces conditions de qualité est de faire intervenir la fertilisation à des époques de la révolution, où l'arbre ne fabrique pas de bois destiné au tranchage, c'est-à-dire:*

- pendant les 30 ou 60 ans qui suivent la germination (période correspondant à la formation du bois de cœur),

— pendant les 10 ou 20 ans qui précèdent la coupe définitive de régénération (période correspondant à la fabrication de l'aubier).

Ainsi, la fertilisation devrait-elle être pratiquée *avant et après* la régénération. Il importe de distinguer les deux cas. On ne fertilisera pas, en effet, de manière identique, des peuplements âgés et les jeunes gaulis.

— dans le premier cas, il s'agit de préparer le peuplement à se régénérer sans favoriser la croissance des adventices. Les engrais ne seront pas apportés au sol mais aux semenciers, dans l'espoir d'améliorer les glandées;

— dans le second cas, il faut apporter les engrais au sol de façon à favoriser la croissance juvénile des chênes *et parvenir ainsi plus vite aux stades où la sylviculture classique reprendra ses droits.*

A titre d'exemple, sont réunis ci-dessous les types de fertilisation apportée à l'occasion du lancement des premiers essais en forêt de Bercé (1):

— peuplement de 200 ans, en préparation à la régénération (sous étage extrait). Apports des engrais en couverture sur une couronne autour des semenciers.

Doses par arbre:

N	: 700 g	sous forme	d'ammonitrate,
P ₂ O ₅	: 1 200 g	»	» de scories,
K ₂ O	: 700 g	»	» de patentkali,
CaO	: 5 600 g	»	» de chaux,
MgO	: 200 g	»	» de patentkali ou magnésie.

— peuplement de 20 ans, au stade gaulis. Apport des engrais en couverture sur toute la surface.

Doses par ha:

N	: 120 kg	sous forme	d'ammonitrate,
P ₂ O ₅	: 200 kg	»	» de scories,
K ₂ O	: 100 kg	»	» de patentkali,
CaO	: 1 500 kg	»	» de chaux,
MgO	: 34 kg	»	» de patentkali ou magnésie.

(1) A titre expérimental, des apports de potassium ont été pratiqués dans les essais. La nécessité de ces apports n'a pourtant pas été mise en évidence par l'enquête. Il s'agit en fait pour nous, de vérifier si une amélioration de la nutrition phosphatée n'entraînera pas une carence secondaire en potassium.

Il est vraisemblable que les apports d'azote devront être répétés plusieurs années de suite. Notons également que, dans les essais, les éléments sont apportés seuls ou en combinaison.

La fertilisation que nous venons de proposer ne saurait bien évidemment faire pousser du chêne de qualité là où les propriétés physiques du sol sont telles qu'elles interdisent tout espoir d'amélioration. Ces stations, type groupe IV, devraient probablement être enrésinées. Il n'en est pas de même pour les stations type groupe III sur sols lessivés, où les apports d'engrais pourraient augmenter la production.

VII. — Conclusions

Etudes de sol et diagnostic foliaire ont permis de dégager certains facteurs sur lesquels on pourrait agir pour améliorer la croissance du chêne de qualité *sur les argiles à silex du Bassin Parisien*. Pour les analyses foliaires, certains seuils ont même été proposés. La fertilisation azotée, le chaulage, et des apports de phosphore devraient être efficaces. Seuls les essais de terrain pourront vérifier pleinement ces hypothèses; mais déjà sur le plan de la pratique, ces notions pourraient aider les gestionnaires de forêts, décidés à fertiliser résineux ou feuillus sans attendre davantage.

En ce qui concerne le chêne, la doctrine (1) de fertilisation proposée vise à augmenter la production sans nuire à la qualité. Les apports d'engrais ne sont ainsi recommandés qu'au début ou en fin de révolution. A ces périodes, leurs effets brutaux ont des chances de ne pas avoir de conséquences fâcheuses. On peut espérer que ces apports favoriseront :

- les régénérations par amélioration des glandées,
- la croissance juvénile par coup de fouet sur la nutrition,
- la production de plus grandes quantités de bois de qualité (possibilité de gain : 2 à 3 m³/ha/an - cf. tableaux 2 et 3).

La réalisation de ces trois objectifs conduirait à une réduction notable du temps de révolution.

Notons pour terminer que la fertilisation aura également des effets favorables sur l'évolution des sols et freinera probablement les processus de dégradation si préjudiciables au patrimoine forestier national.

(1) Les considérations sur les effets à long terme de la fertilisation sont réduites à dessein, au minimum. Il est pour l'instant difficile de s'étendre sur le rôle des engrais dans la sylviculture du chêne.

Remerciements

Nour remercions vivement MM. les chefs de Centre de Gestion de l'O.N.F. à Blois, Bourges et Le Mans qui ont participé à toutes les étapes de notre travail.

Nous remercions également C. MILLIER, Station de Biométrie de l'I.N.R.A. - C.N.R.F., qui s'est chargé de l'interprétation statistique des résultats.

BIBLIOGRAPHIE

- BOUCHON (J.). — 1968. « Indice de production pour le chêne de tranchage du secteur ligérien ». R.F.F., mai 1968.
- DUCHAUFOUR (Ph.). — 1948. « Recherches écologiques sur la chênaie atlantique française ». Thèse. Ann. E.N.E.F., XI, 335 pages.
- LEROY (Ph.). — 1967 « Variations de productivité du chêne sur les pentes à Bercé. Nécessité d'une cartographie des sols ». R.F.F., 1967, 10, pp. 598-612.
- LEROY (Ph.). — 1968. « Variations saisonnières des teneurs en eau et en éléments minéraux des feuilles de chêne ». Proposé aux Annales des Sciences Forestières.
- MILLER (W.F.). — 1966. « Annual changes in folia nitrogen, phosphorus and potassium levels of Loblolly pine With site and weather factors ». Plant and Soil 24, 369-378.
- PARDÉ (J.). — « Arbres et forêts de France », 2^e édition. Librairie A. Colin, 1965.
- PISEK et WINCKLER. — 1956. Cités par de PARCEVAUX, 1963, Transpiration végétale et production de matière sèche. Publication I.N.R.A.: l'Eau et la production végétale, pp. 63-150.
- TURC (L.), GOBILLOT (Th.), HLAVEK (R.), LE CARPENTIER (C.). — 1963. « Cartes d'évapotranspiration potentielle. Interprétation et utilisation ». Bulletin technique du Génie Rural, n° 60.
- VENET (J.). — 1967. « Sylviculture des forêts de chêne de tranchage ». R.F.F., 1967, 12, pp. 746-758.
-

ANNEXE I

Dans un but de clarté, les tableaux ne laissent apparaître, pour un profil donné, que les analyses des horizons les plus significatifs.

Désignation des horizons	Argile %	limons fins %	limons grossiers %	sables fins %	sables grossiers %	fer libre %	TYPE DE SOL
B ₇							
A ₁	9.7	24.5	36.7	12.9	6.3	0.66	Sol brun lessivé
A ₂ - 70	13.5	25.5	39.5	13.9	6.0	0.78	
B - 100	19.0	22.7	36.1	13.6	7.3	1.06	
A1 ₂							
A ₁	12.0	29.5	22.8	5.9	15.4	0.62	Sol brun lessivé
A ₂ - 40	16.0	34.7	29.0	5.9	14.7	0.65	
B - 60	20.7	33.5	27.8	5.8	11.4	1.28	
B ₈							
A ₁	12.0	21.2	27.3	16.6	11.7	0.58	Sol lessivé, à tendance podzolique
A ₂ - 40	13.2	20.7	29.8	19.5	14.4	0.72	
A ₂ B - 60	14.2	19.5	28.2	20.6	15.1	0.76	
B ₃							
A ₁	8.5	30.5	38.3	9.5	1.7	0.42	Sol lessivé
A ₂ - 40	14.0	29.7	39.4	10.4	3.2	0.82	
B - 60	29.0	26.5	34.7	8.3	1.1	1.57	
B ₂							
A ₁	13.0	21.0	27.3	15.7	10.4	0.26	Sol lessivé, tendance podzolique
A ₂ - 40	14.7	23.0	28.6	16.4	13.1	0.45	
B - 60	58.0	11.5	12.6	9.6	7.3	1.53	
A1 ₁							
A ₁	10.0	10.5	5.8	15.0	49.9	1.33	Sol brun lessivé à pseudogley
A ₂ - 30	16.7	11.2	7.3	17.2	46.8	2.16	
B ₈ - 50	21.0	9.7	6.4	15.3	46.7	3.20	
B1 ₁							
A ₁	14.2	23.7	21.5	11.8	16.8	0.93	Sol lessivé, tendance podzolique
A ₂ - 40	17.5	24.7	25.9	12.0	18.7	1.12	
B - 60	58.0	10.2	8.9	9.1	11.1	1.55	
B ₆							
A ₁	9.0	19.0	25.8	29.8	7.3	0.07	Sol lessivé, tendance podzolique à pseudogley profond
A ₂ - 30	11.2	16.5	18.3	31.7	8.8	0.14	
B - 60	33.0	10.2	17.4	27.6	9.2	0.52	
B1 ₂							
A ₁	17.7	23.2	18.6	6.3	22.4	1.48	Sol lessivé
A ₂ - 40	30.2	18.7	15.9	5.4	25.8	3.10	
B - 60	61.7	5.7	3.1	8.1	13.5	5.25	
B ₅							
A ₁	10.5	19.7	33.5	20.2	7.3	0.13	Sol podzolique à pseudogley
A ₂ - 30	11.2	20.2	35.2	22.4	7.7	0.13	
A ₂ B - 50	14.0	22.3	34.7	20.0	8.2	0.12	
B1							
A ₁	10.7	13.5	15.0	15.7	7.4	0.27	Podzol
A ₂ - 30	6.2	18.2	28.8	32.3	11.6	0.13	
B ₁ - 45	9.0	17.0	27.9	30.4	10.7	0.44	
B ₂ - 55	13.5	16.2	26.2	30.2	9.5	0.79	
B ₄							
A ₁	12.0	20.5	23.2	9.6	5.7	0.35	Sol lessivé podzolique
A ₂ - 40	16.5	25.2	34.2	13.6	6.5	0.71	
B - 70	47.7	18.7	17.9	7.7	6.9	1.86	

ANNEXE II

Désignation des horizons	Mat. Org. %	C/N	pH	Ca (I)	K (I)	Mg (I)	T (I)	S/T (2)	P ₂ O ₅ %
B ₇									
A ₁	8.23	19.21	4.15	0.15	0.24	0.60	10.4	9.5	0.14
A ₂ - 70	0.55	9.47	4.5	traces	0.06	0.20	4.5	5.8	0.08
B - 100	0.46	7.79	4.6	traces	0.08	0.50	5.8	10.0	0.09
A1 ₂									
A ₁	15.25	22.29	4.10	0.45	0.29	0.80	16.40	9.4	0.10
A ₂ - 40	0.65	13.57	4.75	0.60	0.05	0.10	4.40	17.0	0.05
B - 60	0.40	9.20	4.90	0.60	0.06	0.45	6.20	18.0	0.05
B ₈									
A ₁	10.72	22.88	3.95	0.35	0.22	0.40	12.1	8.0	0.12
A ₂ - 40	1.73	17.91	4.60	traces	0.04	traces	3.5	1.1	0.045
A ₂ B - 60	0.95	14.17	4.55	traces	0.03	traces	3.4	1.0	0.055
B ₃									
A ₁	11.37	26.23	4.25	0.35	0.26	0.55	15.8	7.3	0.10
A ₂ - 40	0.57	11.92	4.60	traces	0.07	0.25	6.8	4.7	0.03
B - 60	0.34	6.32	5.20	traces	0.21	2.40	13.8	39.5	0.07
B ₂									
A ₁	13.22	21.29	4.40	0.40	0.28	0.70	14.4	9.6	0.115
A ₂ - 40	1.15	18.55	4.50	traces	0.04	0.10	4.6	3.0	0.04
B - 60	0.81	15.22	4.40	0.10	0.11	0.20	12.4	3.3	0.055
A1 ₁									
A ₁	14.36	22.56	4.50	1.50	0.18	0.70	8.0	29.7	0.19
A ₂ - 30	1.05	15.66	4.60	0.60	0.04	0.55	4.8	29.7	0.07
B ₈ - 50	0.50	11.52	4.80	0.60	0.04	0.20	4.6	18.3	0.09
B1 ₁									
A ₁	12.64	26.25	4.30	0.70	0.21	0.80	15.8	10.8	0.10
A ₂ - 40	1.27	20.50	4.60	traces	0.05	0.35	6.8	5.9	0.05
B - 60	0.79	13.55	4.75	0.30	0.16	2.75	17.6	18.2	0.04
B ₆									
A ₁	12.28	32.78	4.05	0.65	0.33	0.60	15.2	10.4	0.06
A ₂ - 30	3.35	46.38	4.35	traces	0.10	0.05	4.6	2.4	0.03
B - 60	0.51	11.96	4.40	0.05	0.07	0.15	6.2	3.7	0.01
B1 ₂									
A ₁	11.44	22.13	4.5	2.30	0.28	1.35	18.0	21.8	0.11
A ₂ - 40	0.83	9.68	4.8	0.50	0.15	1.30	15.0	13.0	0.085
B - 60	0.99	12.0	4.85	8.15	0.33	7.15	37.6	41.6	0.045
B ₅									
A ₁	7.37	23.59	4.0	0.10	0.21	0.35	10.6	6.2	0.045
A ₂ - 30	2.74	40.79	4.40	traces	0.05	traces	5.0	1.0	0.015
A ₂ B - 50	0.83	22.0	4.60	traces	0.03	0.05	3.6	2.2	0.015
B ₁									
A ₁	34.83	24.54	3.8	1.80	1.40	3.25	46.2	14.0	0.295
A ₂ - 30	2.88	31.54	4.1	traces	0.085	traces	2.8	3.0	0.04
B ₁ - 45	3.89	32.58	4.0	traces	0.07	0.10	6.5	2.6	0.05
B ₂ - 55	1.84	22.33	4.4	traces	0.08	0.10	5.2	3.5	0.045
B ₄									
A ₁	28.6	24.12	3.8	1.75	1.00	2.00	36.7	13.0	0.20
A ₂ - 40	2.26	26.28	4.4	traces	0.07	0.10	5.9	2.9	0.04
B - 70	0.75	11.23	4.7	traces ⁰	0.15	1.40	13.2	11.7	0.04

(1) en milliéquivalents pour 100 g de terre fine.

(2) S/T en % — Valeur approchée (Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺ + K⁺ = S).

ANNEXE III

Note brève sur les procédés d'analyses de sols

N	Méthode ANSTETT
C	Méthode ANNE
P ₂ O ₅	Méthode DUCHAUFOUR (double extraction acide-base)
T	détermination par Cl ₂ Ca $\frac{N}{2}$
K, Ca, Mg	Percolation acétate d'ammonium

La Revue Forestière Française publiera prochainement une suite de trois articles consacrés à l'Enseignement forestier en France et à la formation professionnelle forestière, sous la plume autorisée de M. SERVAT, Sous-Directeur de l'Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts.

Un premier article qui doit paraître dans notre numéro de juin sera consacré à l'Ecole Nationale du Génie Rural des Eaux et des Forêts et à l'Enseignement forestier supérieur qu'elle dispense.

Un deuxième article, en juillet, parlera de l'Ecole des Ingénieurs des Travaux des Eaux et Forêts et de la formation de Techniciens supérieurs forestiers.

Un troisième article, ultérieurement traitera de la formation des cadres moyens et des agents techniques, ainsi que des centres de perfectionnement pour ouvriers forestiers.