

LA FERTILISATION EN SYLVICULTURE

M. BONNEAU

Class. Oxford 232.322.4 : 237.4

On connaît les énormes progrès réalisés en agriculture grâce à l'emploi rationnel des engrais chimiques. On a pensé qu'il pouvait en être de même en matière forestière et les premières expérimentations ont débuté dès la fin du siècle dernier à l'étranger. Malheureusement la France est restée en retard dans ce domaine.

Les résultats acquis dans les autres pays ne nous sont que d'un faible secours car, si, dans les pépinières, l'emploi des engrais se pose comme un problème d'entretien de la fertilité, donc dans des termes assez universellement variables, la fertilisation en forêt dépend très étroitement des conditions édaphiques. Or, il est difficile d'apprécier la similitude des propriétés des sols de différentes contrées car elles sont appréhendées par des méthodes assez différentes d'un pays à l'autre. L'effort d'une nation ne peut donc profiter que partiellement à ses voisines. Le retard français ne pourra donc être comblé qu'après des expérimentations longues et nombreuses ; aussi peu de lecteurs trouveront-ils dans ces pages la solution aux problèmes particuliers qui les intéressent.

LA FERTILISATION DES PÉPINIÈRES

Principes

La fertilisation des pépinières a pour but de maintenir le sol à un niveau de fertilité convenable en lui restituant les éléments minéraux qui sont exportés (1) par les plants et qui sont indiqués au tableau n° 1.

Tableau n° 1. — Exportations des pépinières forestières (en kg/are)

A. — SEMIS (Epicéa commun)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
1 ^{re} année	0,50	0,16	0,22	0,21
2 ^e année	0,74	0,25	0,41	0,56
Total	1,24	0,41	0,63	0,77

B. — REPIQUAGES (Epicéa)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
1 ^{re} année	0,71	0,23	0,34	0,72
2 ^e année	1,12	0,45	0,72	1,20
Total	1,83	0,68	1,06	1,92

C. — REPIQUAGES (Feuillus)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
1 ^{re} année	1,27	0,52	1,25	2,37
2 ^e année	2,35	0,91	1,38	2,09
Total	3,62	1,43	2,63	4,46

Dans le choix des doses et de la nature des engrais on doit en outre tenir compte de plusieurs aspects particuliers.

La plupart des résineux de culture sont acidiphiles, le pH optimum pour les semis étant de 5 environ (BENZIAN 1965). Ces essences souffriraient donc en pépinière d'apports pléthori-

(1) Il s'agit ici des éléments totaux contenus dans les plants, tiges, aiguilles, racines, et qui quitteront la pépinière avec les plants et ne reviendront donc pas au sol.

ques d'éléments minéraux, surtout de calcium, qui neutraliseraient progressivement le sol. On ne doit donc dépasser les doses correspondant aux exportations que si le sol de la pépinière est trop pauvre à l'origine (la teneur optima en éléments assimilables est de 0,10 % de P_2O_5 , de 0,1 à 0,2 m.e. de K pour 100 g ; pour le calcium, dont dépend le pH, elle est fonction de la capacité totale d'échange). Comme les exportations des plants résineux en calcium sont relativement faibles, il est indiqué de choisir des engrais pauvres en cet élément et acidifiants, c'est-à-dire des superphosphates simples ou triples de préférence aux phosphates naturels et aux scories.

Tous les forestiers savent que l'objectif en pépinière n'est pas de produire de « beaux plants », mais de « bons plants » qui soient capables d'une excellente reprise et d'une croissance initiale rapide après la plantation. L'équilibre entre parties aériennes et racines, la bonne conformation du système racinaire, l'abondance de mycorrhizes sont à cet égard des qualités indispensables surtout lorsque les plants doivent être installés dans des milieux peu accueillants pour eux : terres agricoles, prairies, pelouses. L'élaboration d'un système racinaire répondant à ces spécifications nécessite :

a) un bon drainage du sol obtenu surtout par un choix judicieux de l'emplacement de la pépinière : absence d'horizon imperméable, texture équilibrée ou sableuse,

b) une bonne structure qui exige le maintien dans la pépinière d'un taux de matière organique de 4 à 5 % ; ceci est plus important pour les planches de repiquage que pour les planches de semis ; cela suppose un apport régulier de quantités élevées d'amendements organiques et, pour éviter l'alcalinisation du sol, il faut choisir des matières organiques acides (terres de bruyère, tourbes, composts),

c) une fertilisation minérale pas trop élevée, notamment en azote, élément qui favorise le développement des parties aériennes aux dépens des racines,

d) un approvisionnement régulier du sol de la pépinière en mycelium de champignon, en employant de temps en temps, comme amendement organique, de l'humus de forêt résineuse acide (mor ou moder). Dans certains pays on cultive systématiquement en laboratoire des myceliums dont on se sert pour ensemercer les composts de pépinière,

e) un espacement convenable des plants dans les planches de repiquage (60 à 80/m²).

Pratique

Amendements organiques

Ils sont indispensables surtout dans les planches de repiquage. Au début de chaque rotation, c'est-à-dire en général tous les deux ans, il faut remplacer la matière organique qui a été minéralisée pendant le cycle précédent, soit 150 kg environ par are. Compte tenu du fait qu'une partie de l'amendement organique apporté se minéralise rapidement sans donner d'humus (taux d'humidification < 1), c'est 200 à 250 kg/are de matière organique fraîche qu'il faut apporter. Précisons bien qu'il s'agit de matière organique pure et sèche alors que les produits bruts sont plus ou moins humides et mélangés de matière minérale. Si on emploie une terre de bruyère à 60 % de matière organique et 50 % d'eau il faut donc apporter 650 kg de produit brut.

Les terres de bruyère sont excellentes : C/N assez bas (25 à 40), pH nettement acide, teneur faible en éléments minéraux, mais elles sont coûteuses. On tend à les remplacer par des tourbes peu décomposées, dites tourbes blondes, également pauvres et acides, qui sont meilleur marché. Malheureusement leur C/N très élevé (80 à 90) fait craindre, lors de leur décomposition, un blocage de l'azote minéral au détriment des plants. L'un ou l'autre des palliatifs suivants est possible :

a) Compostage préalable pendant un an avec addition de 7 kg de sulfate d'ammoniaque, 3 kg de superphosphate à 18 % et 1,5 kg de sulfate de potassium par quintal de matière sèche.

b) Enfouissement direct dans la planche de repiquage mais alors on forcera de 25 % la fumure en azote minéral. Il faut de toute façon se garder d'enfouir en même temps que la tourbe, d'un seul coup avant repiquage, une quantité de sulfate d'ammoniaque égale à celle qui est conseillée au compostage : on risquerait de brûler les racines.

Toutes les trois ou quatre rotations on remplacera la terre de bruyère ou la tourbe par de l'humus de forêt pour apporter du mycelium de champignon.

Fumures minérales

Les éléments qui se fixent bien sur le complexe absorbant, P et K, peuvent être apportés en tête de rotation pour toute la durée de celle-ci, soit :

— pour des semis et pour 2 ans : 0,45 kg de P_2O_5 par are sous forme de superphosphate à 18 % (2,5 kg/are), 0,75 kg de K_2O et 0,25 kg de MgO sous forme de patentkali (3 kg) ; ce dernier est un sulfate double de potassium et magnésium qui dose 24 % de K_2O et 8 % de MgO

— pour des repiquages (2 ans) : 0,75 kg de P_2O_5 sous forme de superphosphate à 18 % (4,2 kg), 1,2 kg de K_2O et 0,4 kg de MgO sous forme de patentkali (5 kg).

L'apport d'azote se fait en couverture, soit sous forme d'ammonitrate à 33 % pour les pépinières dont le pH est convenable, soit sous forme de sulfate d'ammoniaque si le pH est un peu trop élevé. Ces engrais doivent s'employer en plusieurs épandages au printemps et au début de l'été, un peu plus tardivement sur les semis ou repiquages de l'année que sur ceux de deux ans. Pratiquement on pourra opérer comme suit :

Semis 1^{re} année : 0,5 kg/are d'ammonitrate fin juin et 1 kg dans la deuxième quinzaine de juillet.

2^e année : 1,2 kg à mi-mai et 1,2 kg fin juin (ou deux fois 2 kg de sulfate d'ammoniaque).

Repiquages : 1^{re} année : 0,7 kg/are d'ammonitrate à mi-juin et 1,4 kg dans la première quinzaine de juillet.

2^e année : 1,8 kg d'ammonitrate à mi-mai et 1,8 kg fin juin (ou 2 fois 3 kg de sulfate d'ammoniaque).

L'urée qui est alcalinisante, au moins temporairement, n'est pas conseillée.

Précautions et méthodes nouvelles à envisager

Des risques de brûlure de racines sur les repiquages ont été reconnus dans plusieurs expérimentations en Grande-Bretagne (BENZIAN, 1966). Il y a également eu des accidents à diverses reprises en France. Ils proviennent de l'application d'une trop grande quantité d'engrais solubles trop peu de temps avant le repiquage. Un délai d'au moins quinze jours devrait s'écouler entre le mélange des engrais au sol et le repiquage. Si ce délai ne peut être observé par suite d'un retard inévitable dans la libération des planches ou dans les possibilités de travail du sol (hiver prolongé par exemple), diverses précautions peuvent réduire les accidents :

— d'abord s'en tenir aux doses d'éléments indiquées ci-dessus ou même les réduire si la pépinière est en bon état de fertilité,

— employer des engrais aussi riches que possible, ce qui permet, à dose égale d'élément nutritif, d'incorporer au sol une moindre quantité d'engrais soluble : remplacer le superphosphate simple par du super-phosphate triple à 48 % et le patentkali par du sulfate de potassium à 50 % de K_2O (alors le sol ne reçoit pas de Mg , mais l'exportation de cet élément est assez faible). On ne devra jamais employer de chlorure de potassium qui, malgré son fort dosage en K_2O , augmente beaucoup la salinité du sol,

— arroser abondamment la pépinière entre le travail des planches et le repiquage,

— employer des engrais peu solubles, par exemple, à titre exceptionnel, des phosphates naturels ou des scories. Mais on relève alors le pH, d'où l'intérêt d'avoir un sol nettement acide qui puisse supporter une augmentation passagère du pH.

Des recherches ont été menées en Grande-Bretagne en vue de l'emploi systématique, en pépinière, d'engrais lentement solubles qui ont l'énorme intérêt de ne pas présenter de risques de brûlure, même lorsqu'ils sont employés au dernier moment. Ils ont en même temps l'avantage de ne libérer que progressivement, sous forme assimilable les éléments qu'ils contiennent, ce qui limite les pertes par lessivage et évite les à-coups dans l'alimentation des plants, ce dernier avantage étant particulièrement sensible en ce qui concerne l'azote.

Ces engrais sont les suivants : phosphate ammoniac-magnésien commercialisé sous le nom de Magamp (N, P_2O_5 , MgO), métaphosphate de potassium (P_2O_5 , K_2O), isobutylidène-diurée, en abrégé I.B.D.U. (N), urée formol polymérisé (N).

L'emploi de composts préparés systématiquement de manière à apporter en même temps que la matière organique les éléments minéraux nécessaires, la pratique d'une irrigation fertilisante avec des solutions faiblement concentrées peuvent aussi constituer des voies intéressantes pour la solution de ces problèmes.

LA FERTILISATION DES PEUPELEMENTS ET DES PLANTATIONS : ASPECTS TECHNIQUES

Principes

Les ayant exposés dans des articles antérieurs, nous ne les rappellerons que brièvement. Le but de la fertilisation est ici en premier lieu de relever le stock d'éléments assimilables et

d'azote du sol à un niveau suffisant pour que le prélèvement annuel (1) du peuplement (55 kg de N/ha, 11 kg de P_2O_5 , 21 kg de K_2O pour une futaie d'épicéa de classe 1) nécessaire à sa croissance optima s'effectue sans difficulté. Du fait du faible coefficient de prospection par les racines du volume de sol qui lui est offert, le stock doit s'élever à plusieurs dizaines de fois ce prélèvement annuel. En second lieu on devra entretenir le taux d'éléments assimilables en compensant les exportations (1) mais du fait de la modicité de celles-ci (15 kg d'azote, 3 kg de P_2O_5 et 8 kg de K_2O /ha/an), ce remplacement d'éléments n'aura à intervenir qu'une dizaine ou même plusieurs dizaines d'années après le premier apport.

On comprendra facilement que sur certains sols possédant, soit naturellement (roche-mère riche), soit artificiellement (amélioration préalable par l'agriculture), de fortes concentrations en éléments assimilables, le relèvement du stock de ces derniers soit inutile et même qu'une production convenable puisse être assurée pendant plusieurs révolutions sans baisse notable de fertilité. Sur d'autres au contraire, la fertilisation, appliquée soit à la plantation, soit en cours de révolution, pourra conduire à des gains importants de production. En somme, compte tenu de la modicité des exportations, la fertilisation en forêt dépend des caractéristiques stationnelles bien plus que de l'essence cultivée. C'est pourquoi on ne peut pas donner de « recette » valable partout car tel élément indispensable dans un sol donné ne l'est pas dans un autre. Nous fixerons provisoirement les teneurs en éléments assimilables au-dessous desquelles l'emploi des engrais a de fortes chances d'être efficace à 0,05 % de P_2O_5 et 0,08 m.e. de potassium pour 100 g de sols en sols sableux (0,2 m.e. en sols argileux) ; au contraire au-dessus de 0,08 % de P_2O_5 et 0,15 m.e. de potassium dans les sols sableux (0,30 m.e. dans les sols argileux), la fertilisation n'a que de faibles chances de succès. En ce qui concerne l'azote nous nous baserons sur le C/N qui doit être inférieur à 25 pour que la nutrition azotée soit suffisante.

Cependant ces normes ne sont que des approximations grossières et l'expérimentation de terrain reste nécessaire dans une large mesure, dans toutes les régions forestières importantes. C'est là, pour un pays comme la France, un travail considérable et on comprendra facilement que ce n'est qu'après de nombreuses années que nous pourrions donner des indications sûres pour la totalité des régions.

Ces délais sont encore allongés par le fait que l'efficacité de la fertilisation ne peut se juger, sur un essai donné, qu'après plusieurs années. En effet, nous pensons que l'intérêt réel de l'apport d'engrais réside dans une production accrue et non, comme on le dit souvent, dans une économie sur le dégagement des plantations. D'ailleurs cette économie n'est réelle que si la croissance juvénile est accélérée de 40 % au moins et, dans ce cas, il est presque certain que l'effet de la fertilisation se prolongera et qu'on aura également, en définitive, un gain appréciable sur le volume produit.

De toute façon, pour avoir une idée de l'augmentation possible de production, il faut attendre au moins une dizaine d'années après la fertilisation d'une plantation. Par exemple, dans un essai sur Douglas sur grès bigarré en Haute-Saône (sol anciennement cultivé), un apport de phosphore et potassium en plein avant la plantation, puis d'azote en couverture par pied, a assuré une augmentation de croissance en hauteur de 23 % pendant les quatre premières années. Mais les mesures effectuées à la fin de la sixième année de végétation montrent que, s'il subsiste un gain significatif sur la hauteur totale, l'accroissement de 1967 et 1968 a été le même pour les témoins et pour les arbres fertilisés, et ceci malgré un apport d'azote de 100 kg à l'ha effectué au début de 1967. En définitive, malgré les résultats encourageants des premières années, la fertilisation se révèle très probablement sans intérêt dans cette station. Au contraire, dans l'essai de Mimizan sur pin maritime dans les Landes, les dernières mensurations, après 11 ans, montrent un gain de production moyenne de plus de 3 m³/ha/an ; d'après les tables de production récentes cela correspond à un passage de la classe IV à la classe I (station de recherches forestières de Bordeaux - résultats non publiés). On peut espérer dans ce cas, une efficacité tout à fait réelle au terme de la révolution.

Dans le cas de fertilisation de forêts adultes, on peut avoir une réponse valable dans de bien meilleurs délais : 3 à 5 ans.

Intérêt de la fertilisation dans diverses régions

L'intérêt de la fertilisation phosphatée du semis de pin maritime dans les Landes est aujourd'hui bien connu. On applique 150 à 200 kg de P_2O_5 par ha de bande travaillée (ou en plein dans le cas de plus en plus fréquent de ligniculture). Un apport complémentaire de potassium et d'azote n'a que rarement un effet positif. Sur les peuplements jeunes (10 à 15 ans) de

(1) Eléments prélevés chaque année au sol par l'arbre pour assurer l'élaboration de sa masse vivante : bois, feuilles, etc. et dont une partie reviendra au sol par la litière tandis que l'autre, stockée définitivement dans le bois du tronc, quittera la forêt au moment des exploitations. Cette dernière partie constitue les « exportations ».

pins portugais dépérissants, l'association azote + phosphore + travail du sol a conduit à des gains de production de 3 m³/ha/an environ, mais le traitement est coûteux et le faible prix du bois de pin maritime rend douteuse sa rentabilité (BONNEAU, GELPE, LE TACON). Il faudra connaître la durée d'effet du premier traitement pour se prononcer. Sur les peuplements sains d'origine landaise, plusieurs essais ont été tentés, mais jusqu'à présent sans succès, sans doute parce que les méthodes d'application n'étaient pas convenables ; d'autres essais sont nécessaires pour avoir une opinion définitive.

Sur les dunes une fertilisation azotée a un effet positif net sur des semis d'une dizaine d'années (ILLY 1964).

Dans l'ouest de la France, sur les sols du type argile à silex, avec horizons compacts et matériaux de couverture limoneux ou sableux, souvent très appauvris par lessivage ou podzolisation, l'emploi des engrais a très probablement un grand intérêt. En forêt de Moulière (Vienne), une fertilisation complète NPKCa en plein avant la plantation a encore, neuf ans après le traitement, un effet considérable (témoins : 2,05 m de hauteur et 7,8 cm de circonférence, contre 3,13 m et 15,4 cm dans les placeaux avec engrais) (BONNEAU 1963). CHARLON (1969) rapporte également divers essais sur épicéa de Sitka, Abies grandis et Douglas où un apport de 200 g de scories dans le trou de plantation conduit à des gains de croissance en hauteur de 35 à 45 % après 8 à 10 ans. Il en est de même sur les grès armoricains et sur les schistes.

Récemment LEROY a montré que dans cette région, sur les sols superficiels et à humus partiellement dégradés, le chêne montrait souvent de nettes insuffisances de nutrition azotée et il est probable que la fertilisation peut être intéressante ; mais les premiers essais viennent seulement d'être mis en place.

Le très vaste ensemble des terrains cristallins du Massif Central, granites, gneiss, micaschistes, mérite une attention particulière justifiée par la vocation incontestablement forestière de cette région. Le reboisement y a jusqu'à maintenant bien réussi sauf dans les zones sommitales (1 200 à 1 350 m d'altitude), où les plants d'épicéas restent longtemps jaunes et rabougris. On arrive à une nette amélioration grâce à une fertilisation à base de calcium et d'azote : 100 g de chaux éteinte par mètre linéaire, épanchée dans le fond des raies de décapage et enfouie avant la plantation, puis 10 g d'ammonitrate à 33 % par plant chaque printemps (BONNEAU). Le gain de croissance en hauteur est de l'ordre de 70 %, mais l'azote a une part très importante dans l'effet total, et comme on ne peut effectuer indéfiniment chaque année un apport de cet élément, ce qui serait trop coûteux (70 F/ha/an), on peut se demander si, après l'arrêt de la fertilisation azotée, l'effet du calcium seul restera notable. Comme l'effet d'un phosphate de chaux seul est un peu supérieur à celui de la chaux seule, il est probable que la formule la moins coûteuse sera un apport de phosphates ou de scories complété par une fertilisation azotée par pied pendant un ou deux ans seulement, puis par un apport d'azote en plein lorsque le peuplement se fermera. Les conditions climatiques étant très rigoureuses, il n'est pas de tout certain, cependant, que l'emploi des engrais sera rentable dans ces conditions : il permettra seulement un meilleur démarrage des plantations sans assurer un gain important de production ligneuse.

A plus basse altitude dans le Massif Central, les espoirs sont meilleurs. Une association PCa et surtout NPCa, parfois NPKCa, a, dans les landes à callune, une action bénéfique très nette. Mais la plupart des essais sont très récents, de sorte qu'on ne sait pas, pour le moment, si les gains enregistrés se prolongeront assez dans l'avenir pour augmenter réellement la production. Nous avons remarqué depuis un an des signes très nets de carence en cuivre sur le Douglas : la pousse terminale se recourbe vers le bas et, dans les cas graves, ne se redresse pas lorsque le bois durcit, d'où une déformation définitive de l'arbre qui perd toute valeur. Cette carence semble se manifester surtout sur les stations riches, ou sur les plantations fertilisées. Si l'emploi des engrais se généralise dans cette région, de petites quantités de sulfate de cuivre devront obligatoirement être épanchées en même temps que le phosphore et l'azote.

Beaucoup de peuplements d'épicéa du Massif Central ont déjà plusieurs dizaines d'années. Sur les sols très pauvres en calcium de cette région, un humus brut s'est souvent constitué et il est probable que la nutrition azotée laisse souvent à désirer. Des déficiences certaines de nutrition azotée ont déjà été constatées par LE TACON dans certains peuplements de l'Ardèche (étude en cours de publication). Il faudra donc étudier le plus vite possible la fertilisation des peuplements adultes, sur lesquels l'azote a, a priori, de bonnes chances de se montrer efficace. Il sera sans doute utile d'envisager en même temps un amendement calcique susceptible d'améliorer l'état de l'humus, donc d'accélérer le cycle biologique et en même temps de s'opposer à une podzolisation du sol qui ne manquerait pas de se répercuter fâcheusement sur la production des peuplements de deuxième ou troisième génération.

Le domaine d'application de la fertilisation ne se restreint pas aux régions qui viennent d'être passées en revue. FRICKER, par exemple, a obtenu dans deux essais du Jura des gains de croissance intéressants sur épicéa avec un engrais phospho-potassique appliqué par pied au moment de la plantation. Des réponses positives ont été également enregistrées sur les peupleraies, soit avec l'azote, soit avec le phosphore et le potassium, mais il est difficile de les rapporter à un type de station précis (LEROY). Dans les sapinières et pessières sur les sols ocres-podzoliques des Hautes-Vosges, ou sur les sols podzoliques des Basses-Vosges, il est probable que la fertilisation serait intéressante car la nutrition azotée y semble nettement insuffisante, ainsi que, à un moindre degré, l'alimentation en P et Ca (VALLEE). L'AFOCEL a déjà obtenu un résultat positif sur un peuplement d'épicéa de 28 ans, dans la région de Schirmeck. D'autres essais sont en cours et leur succès est rendu probable par les résultats déjà obtenus en Allemagne dans des conditions analogues (MITSCHERLICH et WITTICH).

Puisque notre propos est, non pas de faire l'apologie de la fertilisation, mais d'informer objectivement le lecteur, il nous faut citer maintenant un certain nombre d'essais négatifs. En Sologne, plusieurs expériences sur plantation de pin laricio ont eu des résultats nuls ou faibles, malgré l'apparente pauvreté des sols. Sur schistes du dévonien dans les Ardennes et sur grès intermédiaire dans la région d'Epinal, la croissance de jeunes sapins pectinés ou Douglas n'a pas été améliorée par la fertilisation, après trois ans d'application. Il en est de même avec du sapin de Nordmann sur des argiles de décalcification superficielles dans la Meuse ou sur des limons de l'Argonne; sur la gaize, dans cette même région, on a cependant après trois ans une faible réaction. Sur des sols fortement lessivés sur grès vosgien plus ou moins chargé en limon (région de Saint-Avoid) et sur des sols ocres-podzoliques de la forêt de Haguenau, pourtant fertilisés en plein et copieusement, le pin sylvestre n'a pas réagi après quatre ans. Ceci montre bien que la fertilisation n'est pas simple et qu'un essai positif n'a valeur d'exemple que dans des conditions écologiques identiques. Le type génétique de sol n'a pas de valeur indicatrice suffisante car si une évolution poussée, comme une podzolisation, s'accompagne généralement d'une baisse de fertilité par rapport à des sols non dégradés, ceci n'est valable que de manière relative, sur une même roche-mère dont la nature lithologique conditionne profondément les possibilités de nutrition. Il a même été observé, dans certains cas, qu'une dégradation limitée de l'humus, en accélérant la décomposition des minéraux du sol, pouvait avoir une incidence heureuse sur la fertilité.

Pratique de la fertilisation

● Plantations

A) Fertilisation phosphatée, potassique ou calcique

On peut l'appliquer soit par pled, soit en plein.

Fertilisation en plein : Elle est certainement la plus efficace car elle répartit uniformément l'engrais dans tout l'espace susceptible d'être prospecté par les racines. Elle est liée au travail du sol et les engrais doivent être enfouis après épandage. Dans la majorité des cas connus jusqu'à maintenant la fertilisation de base est une fertilisation phospho-calcique pour laquelle les scories conviennent parfaitement car elles sont rapidement efficaces et apportent, en plus du P_2O_5 (15 à 18 %), du calcium (50 % de CaO), un peu de magnésium et d'oligo-éléments. La dose à appliquer est de 150 à 200 kg de P_2O_5 soit 800 à 1 200 kg environ de scories par hectare travaillé, c'est-à-dire, par hectare cadastral, 800 à 1 200 kg dans le cas de travail du sol et de fertilisation en plein (par exemple pin maritime en ligniculture, coupe à blanc) et 400 à 600 kg dans le cas de bandes travaillées occupant seulement la moitié du terrain (semis traditionnel de pin maritime, plantation sur bandes ouvertes au rotavator ou au root-rake dans les landes à callune). Si une addition de potassium est nécessaire, on emploiera du sulfate de potassium à 200 kg par hectare travaillé (100 kg de K_2O). Ce n'est qu'exceptionnellement que, ayant déjà épandu des scories, on aura à pratiquer une fertilisation calcique supplémentaire : on emploierait alors de la chaux éteinte à 1 200 kg par hectare travaillé ou du calcaire broyé à 1 500 kg par ha.

Dans les sols à pH > 6, on remplacera les scories par du superphosphate à 18 % ou du superphosphate triple à 48 %.

L'épandage des engrais ne pose pas de problème dans le cas où il se fait en plein, car on peut employer les semoirs agricoles. Pour la fertilisation de bandes relativement étroites comme celles ouvertes au rotavator ou même au root-rake (1 à 3 m de large), ces semoirs ont une trop grande largeur de travail. De plus il faut effectuer trois passages : un pour ouvrir la bande, un pour épandre l'engrais et un troisième pour l'enfouir. Si l'emploi des engrais devait se généraliser, il serait utile de mettre au point un semoir porté à petite largeur de travail

(80 cm à 1 m) et couplé avec un rotavator : on pourrait alors en un seul passage effectuer les trois opérations ci-dessus.

Fertilisation par pied : Elle est certainement moins durable que la fertilisation en plein, car, une fois sorties du petit espace fertilisé, les racines se trouveront de nouveau dans un sol pauvre. Cependant, elle peut avoir une action très importante sur la croissance juvénile. Il faut faire attention, en employant les engrais de cette manière, à éviter de brûler les racines par une trop grande quantité d'engrais solubles. On pourra opérer de l'une des trois manières suivantes :

a) Epanche sur l'emplacement du plant, sur 1/4 de m², puis mélanger au sol, par brassage au croc sur une quinzaine de cm de profondeur, 80 g de phosphate naturel moulu et 20 g de sulfate de potassium. On peut planter immédiatement.

b) Même opération avec 120 g de scories et 20 g de sulfate de potassium, mais attendre une dizaine de jours au moins avant de planter car les scories apportent de petites quantités de chaux vive qui peuvent être dangereuses.

Le mélange des engrais à la tarière mécanique, qui paraît rationnel, n'est peut-être pas très indiqué : nous avons remarqué que les premiers tours de tarière craquèrent la croûte de surface sur laquelle sont déposés les engrais et la rejettent à la périphérie, en surface.

c) Planter sans fertiliser et, dès que les plants ont repris, épanche autour du plant 120 g de scories ou 60 g de superphosphate triple et 30 g de sulfate de potassium. On dit souvent que le phosphore et le potassium ne migrent pas en profondeur, mais en fait, dans de nombreux essais, cette méthode s'est révélée efficace. Nous la recommandons cependant moins que les deux précédentes. Peut-être serait-elle à proscrire en milieu méditerranéen, sur terrain en pente, où une forte averse survenant aussitôt après l'épandage de l'engrais pourrait l'entraîner loin des plants. Il faudrait, sous ce climat, enfouir un peu l'engrais par un léger binage.

d) Pour les peupliers, on emploiera des doses plus importantes mais on opérera un peu différemment du fait que les trous de plantation sont préparés à l'avance : planter l'arbre, recouvrir les racines de terre non fertilisée puis mélanger à la terre avec laquelle on achève de remplir le trou 300 g de scories et 50 g de sulfate de potassium.

B) Fertilisation azotée

On l'applique en couverture, en mai ou juin, pendant les deux ou trois années qui suivent la plantation. Il est possible, mais non certain, qu'elle pourrait être bénéfique dès la première année (WEISSEN et REGINSTER). Les ammonitrates à 33 % ou à 20 % sont excellents, mais il ne faut pas dépasser des doses de 10 à 15 g par plant, respectivement 60 g pour un peuplier de un an et 150 g pour un peuplier de deux ans, sur un mètre de rayon.

Rappelons que l'azote doit toujours s'employer après une fertilisation phospho-calcique et éventuellement potassique, car, seul, il a souvent une action dépressive.

● Peuplements adultes

La seule technique possible est l'épandage en surface. Les doses employées sont de 2 000 kg de calcaire broyé, 100 kg de P₂O₅ environ sous forme de scories (600 kg), 100 kg de K₂O (200 kg de sulfate de potassium) et 200 kg d'azote (600 kg d'ammonitrate à 33 % ou 450 kg d'urée à 46 %). Contrairement à ce qui se passe pour les plantations, l'azote est souvent employé seul, notamment dans les pays scandinaves où plusieurs dizaines de milliers d'hectares sont ainsi fertilisés chaque année. L'azote n'a généralement qu'une action de courte durée (5 à 10 ans) et le renouvellement systématique de son apport est nécessaire.

Les moyens d'épandage sont les suivants :

Avion : il suppose un relief assez plat et des possibilités d'atterrissage à proximité de la forêt.
Tracteur : muni d'une trémie et d'une soufflerie : il n'est également utilisable que si le relief n'est pas trop accidenté.

Epanche à la main : les ouvriers sont équipés de hottes munies à leur partie inférieure d'un large tuyau flexible (10 à 15 cm de diamètre) par où s'écoule l'engrais et que l'ouvrier balance horizontalement d'un mouvement alternatif : l'épandage est ainsi assez rapide.

LA FERTILISATION DES PLANTATIONS ET DES PEUPELEMENTS ADULTES : ASPECTS ÉCONOMIQUES

Efficacité et rentabilité

On ne peut, dans l'ambiance économique actuelle, envisager la fertilisation que si elle est rentable, c'est-à-dire si le gain de production en valeur est supérieur au capital investi dans l'achat et la mise en place des engrais, augmenté de ses intérêts composés jusqu'à la date de récolte effective.

Nous reviendrons sur ce problème, mais il est indispensable de faire remarquer que les données économiques actuelles peuvent se modifier. Dans un pays qui, comme le nôtre, est largement sous-producteur de bois, il se peut qu'on en vienne à attacher plus de prix à la production de quantités accrues de matériaux ligneux qu'à la rentabilité de l'utilisation des engrais. A cause de la lenteur de la production forestière, il pourrait être sage de penser a long terme et de prendre en considération, comme critère de mise en œuvre de la fertilisation, son efficacité, c'est-à-dire sa capacité à augmenter notablement le volume de bois produit, fut-ce au détriment de la rentabilité.

Quoi qu'il en soit, c'est cette question de rentabilité que nous allons envisager maintenant, d'une manière un peu théorique, puisque des résultats techniques contrôlés pendant des périodes suffisamment longues manquent encore dans beaucoup de situations écologiques françaises pour asseoir un calcul objectif.

Les prix

Nous donnons ci-dessous les coûts de quelques méthodes possibles de fertilisation, tels que nous pouvons les évaluer, c'est-à-dire avec une certaine incertitude sur le prix des épandages.

1. - Fertilisation par pied avec 100 g de scories + 20 g de sulfate de potassium : 2 centimes d'engrais et 7 centimes d'épandage par pied, soit 225 F/ha.

2. - Fertilisation par pied comme ci-dessus, puis deux épandages d'azote par pied. L'épandage d'azote est estimé à 2,9 centimes par pied (2,5 centimes d'épandage et 0,4 centime d'engrais), au total : 370 F/ha.

3. - Fertilisation en bandes à 200 kg de P_2O_5 par hectare travaillé : 80 F d'engrais, 130 F d'épandage et d'enfouissement, soit 210 F au total.

4. - Fertilisation en plein à 200 kg de P_2O_5 par hectare : 420 F.

5. - Fertilisation en bandes à 200 kg de P_2O_5 et 100 kg de K_2O par hectare travaillé ; puis 10 g d'ammonitrate par pied pendant 2 ans et 100 kg d'azote par hectare lorsque la plantation se referme : 265 F d'engrais + 410 F d'épandages, 675 F au total.

6. - Fertilisation d'un peuplement adulte à 200 kg d'azote par hectare en première application, puis 100 kg/ha tous les dix ans :

Première application : 204 F d'engrais + 60 F d'épandage : 264 F

Renouvellement : 102 F d'engrais + 40 F d'épandage : 142 F

7. - Même fertilisation que ci-dessus mais en ajoutant à la première application 100 kg de P_2O_5 /ha. :

Première application : 284 F d'engrais + 120 F d'épandage : 404 F

Renouvellement : 142 F

Remarquons la fraction importante du prix représentée par les épandages. Toute possibilité de progrès dans ce domaine (emploi de l'avion, mise au point de semoirs bien adaptés aux besoins) peut donc avoir une incidence extrêmement intéressante sur le coût des opérations. Il en résulte aussi que la fertilisation par pied, aussi coûteuse et probablement moins durable que la fertilisation par bandes ou en plein, ne présente d'intérêt que dans les conditions où le travail du sol est impossible, ou si l'on craint que la fertilisation en plein ne favorise trop la végétation concurrente.

Rentabilité

Plantations

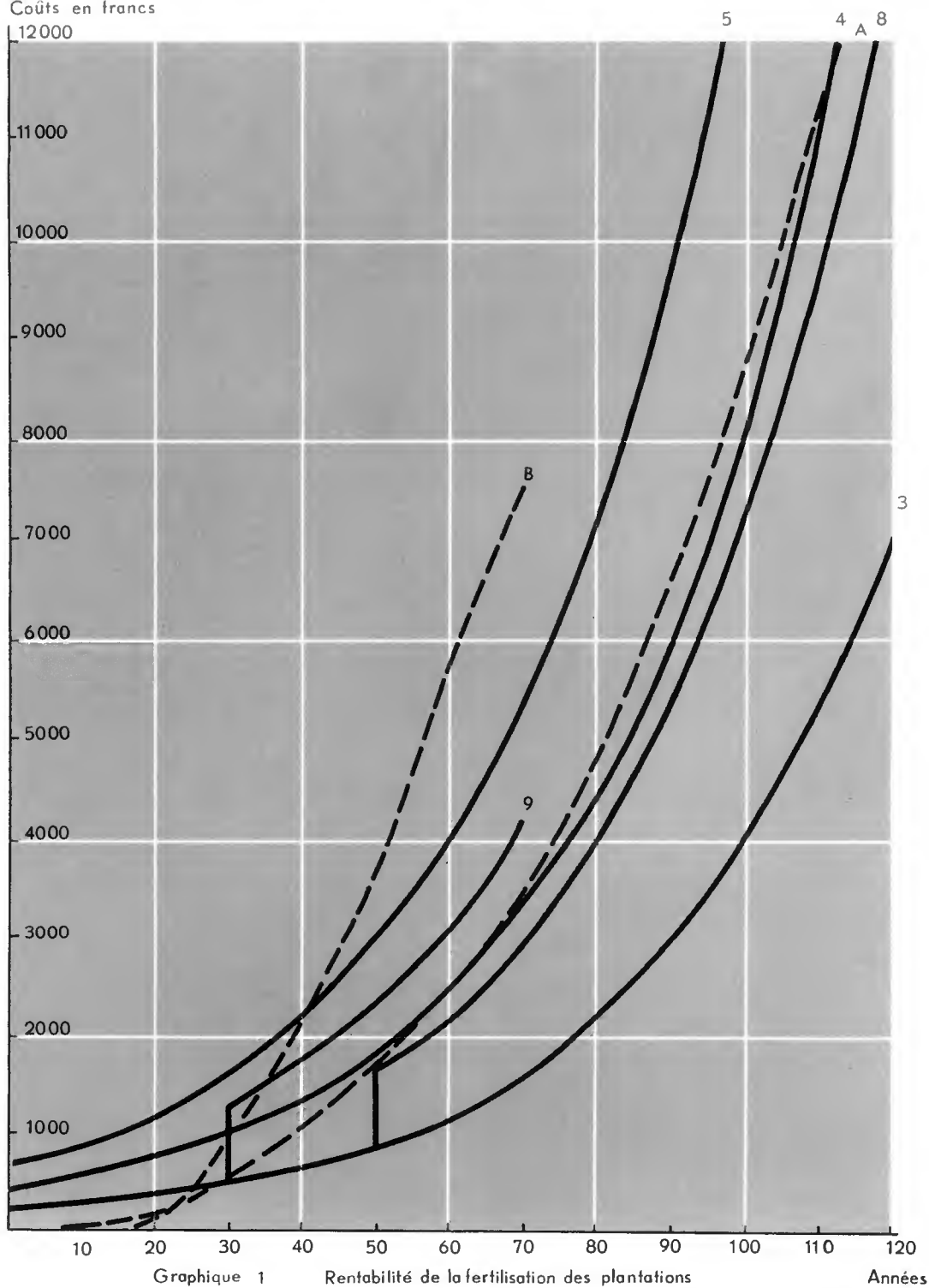
A partir des prix ci-dessus, nous avons construit les courbes représentatives des prix de revient des formules de fertilisation 3, 4, 5 ci-dessus, en supposant les sommes initialement engagées placées à intérêts composés au taux de 3 % (graphique n° 1).

Sur la même graphique nous avons représenté les gains en argent en faisant l'hypothèse que 40 % du volume produit en supplément, grâce à la fertilisation est récolté en éclaircie et le prix de vente de ce bois placé ensuite à intérêts composés à 3 % jusqu'à la fin de la révolution.

Courbe A : sapin ou épicéa. Le gain de production est supposé de 1 m³/ha/an et le prix du bois sur pied de 10 F le m³ à 20 ans, 30 F à 40 ans, 40 F à 60 ans, 60 F à 80 ans, 70 F à partir de 100 ans.

Courbe B : pin maritime avec un gain de production de 2 m³/ha/an et des prix de 10 F à 20 ans, 20 F à 30 ans, 30 F à 40 ans, 40 F à 50 ans et 50 F à partir de 60 ans.

On peut constater qu'une fertilisation en bandes avec acide phosphorique seul est largement rentabilisée par un gain de 1 m³/ha/an de sapin ou d'épicéa et qu'elle le serait même avec 0,5 m³/ha. Une fertilisation en plein s'avère également rentable si l'âge d'exploitabilité ne dé-



Graphique 1 Rentabilité de la fertilisation des plantations

Années

ne passe pas 110 ans. Le pin maritime avec 2 m^3 , chiffre qui ne paraît pas exagéré si on se base sur les résultats techniques actuellement connus, couvre également très largement les dépenses de fertilisation.

Des formules plus complètes, mais plus coûteuses, comme la formule 5 (acide phosphorique + potasse + azote), nécessiteraient, pour être rentables, des gains de $1,5 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$ environ.

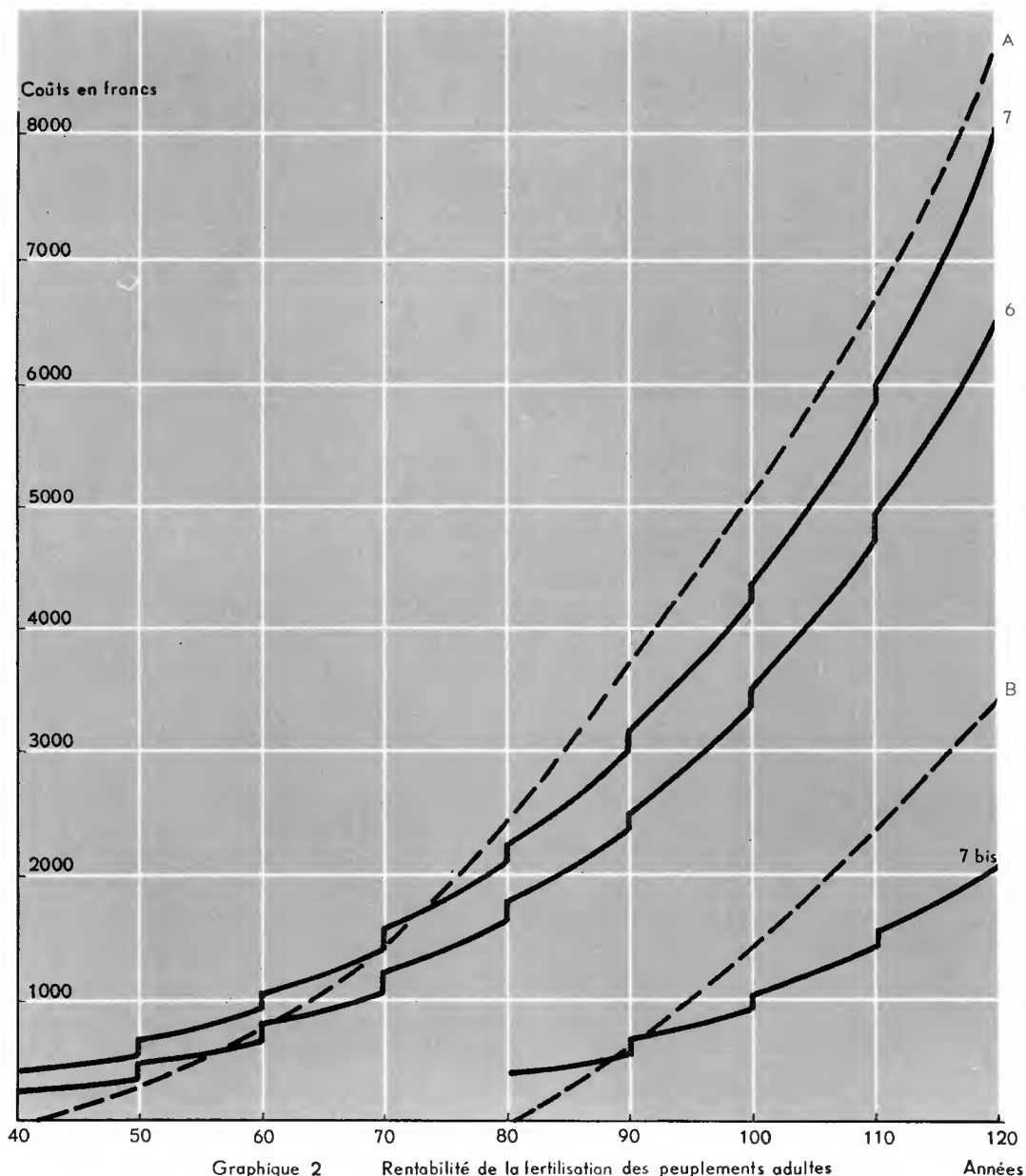
Notons aussi qu'à partir du moment où le prix du bois devient constant l'accroissement de la valeur argent du supplément de production devient moins rapide, tandis que les dépenses capitalisées augmentent de plus en plus vite : l'allongement de révolution a tendance à diminuer la rentabilité.

Peuplements adultes

a) Nous envisageons d'abord le cas de renouvellement de la fertilisation au cours de la révolution de peuplements ayant déjà reçu des engrais au moment de la plantation.

Courbe 8 - (graphique n° 1) : apport à 50 ans de 200 kg de P_2O_5 et 200 kg d'azote/ha en plein. En supposant que ce nouvel apport soit nécessaire pour assurer le gain de production de 1 $m^3/ha/an$ jusqu'à la fin de la révolution, on voit que la rentabilité reste assurée.

Courbe 9 - (graphique n° 1) : Renouvellement Identique à 30 ans, soit à mi-révolution de pin maritime. Le gain de production de 2 $m^3/ha/an$ reste largement suffisant pour assurer la rentabilité de ce nouvel apport.



b) Envisageons ensuite le cas de peuplements qui n'ont pas été fertilisés au début de la révolution. Nous avons construit sur le graphique n° 2 les courbes correspondant aux formules de fertilisation n° 6 et 7 indiquées dans le paragraphe « prix » et supposées appliquées à 40 ans, puis la courbe 7 bis, correspondant à la courbe 7 mais appliquée à 80 ans. Les courbes A et B indiquent les gains obtenus pour un accroissement de production de 1 m³/ha/an à partir de 40 ans (courbe A) ou de 80 ans (courbe B) et des prix du m³ de 35 F à 50 ans, 40 F à 60 ans, 45 F à 70 ans, 60 F à 80 ans, 65 F à 90 ans et 70 F à partir de 100 ans.

Nous constatons que le gain de 1 m³ rentabilise largement une fertilisation azotée seule appliquée à partir de 40 ans et même une fertilisation plus complète (formule 7). Une fertilisation tardive, intervenant à un âge où le bois a plus de valeur, valorise largement une fertilisation coûteuse (courbe 7 bis) même avec un gain de 0,6 m³/ha/an seulement. Remarquons cependant qu'elle assure un gain-matière relativement faible, ce qui, sur le plan de la production nationale, est un inconvénient.

CONCLUSIONS

Nous espérons que ces quelques exemples auront convaincu le lecteur que, sur le plan technique, une mise au point de la fertilisation exige à la fois de nombreux essais, compte tenu de la diversité écologique de notre pays et une longue durée d'expérimentation qui permette de recueillir des informations valables sur les gains de production possibles. Les réponses concernant la rentabilité sont plus longues encore à obtenir et plus hasardeuses, car une faible diminution du gain-matière au cours des années peut tout remettre en cause. Il n'en reste pas moins que dans de nombreuses régions, il existe des espoirs solides d'augmenter notre production ligneuse dans des conditions financières acceptables, et ceci sans crainte, comme le montrent des études françaises et étrangères, de dégrader gravement la qualité des bois.

Maurice BONNEAU

Ingénieur du G. R. E. F.
Directeur de la Station de recherches
sur les sols forestiers C. N. R. F.

14, Rue Girardet
54 - NANCY

BIBLIOGRAPHIE

- BENZIAN (B.). — Experiments on nutrition problems in forest nurseries. **Forestry Commission - Bulletin** n° 37, 1965, 251 p.
- BENZIAN (B.). — Risk of damage from certain fertilizers salts to transplants of Norway spruce and the use of slow release fertilizers. - Suppl. For. Rep. sixth Discussion Meet. Edinburgh (Rothamsted Experiment Station, Harpenden), 1966, pp. 68-69.
- BENZIAN, BOLTON, MATTINGLY. — Nutrition experiments in forest nurseries. **Rothamsted Annual Report** (Rothamsted Experiment Station, Harpenden), 1967, pp. 140-142.
- BONNEAU (M.). — Premiers résultats d'une expérience de fertilisation sur pin laricio de Corse en forêt de Moulière. **Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences forestières**, tome XX, n° 3, 1963, pp. 315-341.
- BONNEAU (M.), GELPE (J.), LE TACON (F.). — Influence des conditions de nutrition minérale sur le dépérissement du pin maritime dans les landes de Gascogne. **Annales des Sciences Forestières**, vol. 25, n° 4, 1968, pp. 251-289.
- CHARLON (S.N.S.T.). — Fertilisation forestière et Scories Thomas, 1969.
- GUINAUDEAU (J.), ILLY (G.), MAUGE (F.), DUMAS (P.). — Essai de fertilisation minérale sur pin maritime à Mimizan (Landes). **Annales de l'Ecole Nationale des Eaux et Forêts et de la Station de Recherches et Expériences forestières**, tome XX, n° 1, 1963, pp. 3-71.
- ILLY (G.). — Premiers résultats de la fertilisation azotée en forêt de dunes. **Revue Forestière Française**, n° 10, octobre 1964, pp. 734-743.
- LEROY (Ph.). — Etudes de nutrition-production sur le chêne, perspectives de fertilisation. **Revue Forestière Française**, n° 5, mai 1968, pp. 323-341.
- LEROY (Ph.). — Résultats précoces d'essais de fertilisation du peuplier sur sols à gley dans la Meuse (à paraître dans les **Annales des Sciences forestières**).
- MITSCHERLICH, WITTICH. — Düngungsversuche in älteren Beständen Badens. **Allgemeine Forst und Jagdzeitung**, 129 Jahrgang, n° 7-8, 1958, pp. 169-190.
- VALLEE (G.). — Nouvelles contributions à l'étude du rôle du manganèse dans la régénération de la sapinière vosgienne. Thèse de docteur-ingénieur 1966.
- WEISSEN, REGINSTER. — Premières réactions au travail du sol et à la fumure minérale d'un reboisement en épicéas après coupe à blanc étoc. **Bulletin de la Société Royale Forestière de Belgique**, n° 4, avril 1968, pp. 200-225.