

NUTRITION MINERALE DU PEUPLIER ET
FUMURE EN PEPINIERE ET EN PEUPLERAIE

Giuseppe Frison
Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura
S.A.F. (Gruppo ENCC)
Casale Monferrato (AL) - Italie

SOMMAIRE

INTRODUCTION	pag.	1
NUTRITION MINERALE DU PEUPLIER EN PEPINIERE		
Variation du contenu en éléments nutritifs	"	2
Quantité totale de minéraux exportés du terrain dans la pépinière de barbatelles et la pépinière	"	4
Rythme d'absorption des éléments nutritifs dans la pépinière de barbatelles	"	5
FUMURE DE LA PEPINIERE		
Prémises	"	5
Fumure minérale	"	6
Fumure organique	"	9
Interaction entre arrosage et fumure	"	13
Accroissement des plants de peuplier en pépinière sur la base de la densité de mise en place et à la fertilité du terrain	"	16
NUTRITION MINERALE DU PEUPLIER EN PLANTATION		
Diagnostic foliaire: technique d'échantillonnage des feuilles	"	18
Application de la diagnostic foliaire	"	21
FUMURE DE LA PEUPLERAIE		
Bases de l'expérimentation	"	23
Résultats de l'expérimentation	"	25
Indications pratiques	"	30
Influence des caractéristiques du terrain sur l'accroissement du peuplier	"	32
CONCLUSIONS	"	36
BIBLIOGRAPHIE	"	39

NUTRITION MINERALE DU PEUPLIER ET
FUMURE EN PEPINIERE ET EN PEUPLERAIE

Giuseppe Frison
Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura
S.A.F. (Gruppo ENCC)
Casale Monferrato (AL) - Italie

INTRODUCTION

Vers la moitié des années 60, j'ai commencé des programmes de recherche sur la nutrition minérale du peuplier puisque à cette époque-là, les connaissances sur ce sujet étaient insuffisantes et se basaient sur des données sporadiques et incertaines.

J'ai commencé par la détermination des teneurs en minéraux de la plante en faisant une distinction entre les différentes parties (feuilles, fût, branches, racines) et j'en ai étudié la variation par rapport à la période de prélèvement et à l'âge des tissus.

Ensuite, j'ai pris en considération les besoins de minéraux du peuplier pendant les différentes phases de culture (pépinière de barbatelles, pépinière, peupleraie) et j'ai étudié le rythme d'absorption des éléments nutritifs dans la pépinière de barbatelles pendant la saison de végétation.

J'ai dédié une attention particulière à la technique d'échantillonnage des feuilles, surtout dans la peupleraie, dans le but d'élaborer une méthode me permettant d'appliquer le diagnostic foliaire à l'étude de la nutrition minérale du peuplier soit pour mieux comprendre la réponse des arbres à la fumure, soit pour approfondir les besoins des divers clones cultivés en éléments nutritifs.

J'ai fait des longues expériences sur la fumure par des essais en pot et en plein champ. Les essais en plein champ ont été effectués en pépinière et en plantation.

Dans les pépinières, les essais ont été effectués avec des engrais organiques et avec des engrais minéraux en faisant des comparaisons entre doses et modalités différentes d'épandage des engrais azotés, phosphatés et potassiques; souvent on a aussi considéré l'influence de la forme de l'élément nutritif contenu dans les engrais (par exemple, pour les fumures azotées, on a comparé la forme ammoniacale à la forme nitrique et uréique). Les essais ont été étendus aussi à l'emploi des engrais liquides, distribués à travers la micro-irrigation pour étudier l'interaction entre arrosage et fumure.

On a aussi considéré la possibilité pratique de corriger les carences nutritionnelles, particulièrement la carence en fer, par la distribution de différents produits soit pour voie radicale, soit pour voie foliaire. Pour voie foliaire, on a essayé aussi la fumure avec des engrais azotés et phosphatés.

Enfin, dans des stations ayant des caractéristiques édaphiques différentes, d'habitude utilisées pour la culture de la pépinière, j'ai cherché à vérifier la réponse des arbres à la fertilité naturelle du terrain et aux traitements fertilisants standard.

En plantation, pendant les vingt dernières années, j'ai fait presque quarante essais de fumure, en utilisant des engrais organiques et minéraux, à des doses et en des formes différentes et dans des conditions édaphiques très différentes.

Par l'analyse des feuilles, j'ai cherché à mettre en évidence les différences clonales dans les teneurs en minéraux de génotypes très différents et j'ai étudié les effets de la fumure sur l'état de nutrition des arbres. J'ai aussi étudié la possibilité de soigner la chlorose ferrique dans des plantations établies sur des terrains calcaires par des traitements de divers produits ferreux ou par l'emploi de moyens agronomiques. J'ai cherché à vérifier la possibilité de corriger les terrains acides par le chaulage et d'en évaluer les effets sur la production et sur l'état de nutrition des arbres, en le considérant par lui-même ou associé à la fumure.

Enfin j'ai cherché à corréliser l'accroissement du peuplier aux caractéristiques physico-chimiques du terrain en faisant des prélèvements pédologiques et des mesures dendrométriques dans 25 peupleraies expérimentales.

Je vais ici résumer en bref les résultats obtenus dans les expériences effectuées.

NUTRITION MINERALE DU PEUPLIER EN PEPINIERE

Variation du contenu en éléments nutritifs

On a déterminé les teneurs en éléments nutritifs des plants dans la pépinière de barbatelles aussi bien que dans la pépinière, en séparant les différentes parties (feuilles, branches, fût; différentes parties du fût; bois et écorce). On a étudié les variations des teneurs en minéraux dans les différentes parties des plants par rapport à la période d'échantillonnage et de l'âge du matériel prélevé.

Pépinière de barbatelles (F_1R_1)

Dans le fût, la teneur en azote (tab. 1) a des valeurs fort décroissantes au cours de la saison de végétation et elle passe de 1,328% dans le bois et 1,924% dans l'écorce à la fin de mai à un minimum respectivement de 0,265% et 0,983%, au début d'octobre. La diminution dans le bois est beaucoup plus évidente que dans l'écorce. Toutefois, dans tous les deux, on note une augmentation remarquable au début de novembre.

Comme pour l'azote, la teneur en phosphore, exprimé en tant que P_2O_5 , a une courbe nette et régulière décroissante au cours de la saison de végétation, en allant respectivement dans le bois et dans l'écorce, de 0,394% et 0,645% à la fin de mai à des minimums de 0,155% et 0,360% au début d'octobre. Au début de novembre, on note une forte augmentation de la teneur en phosphore aussi bien dans le bois que dans l'écorce. La capacité d'accumulation de cet élément dans le tige semble proportionnellement inférieure à celle de l'azote.

La teneur en potassium, en tant que K_2O , présente des valeurs décroissantes dans le bois et dans l'écorce, du début jusqu'à la fin de la saison de végétation (tab. 1).

Dans les feuilles (tab. 2), la teneur en azote dans chaque pé-

riode est la plus élevée dans les plus jeunes, diminue au cours de la saison de végétation dans celles de chaque partie du fût considérée (segments de fût ayant 15 feuilles ou bourgeons numérotés progressivement à partir de la base vers le sommet) et atteint des minimums dans les feuilles tombées naturellement. Dans des feuilles ayant un âge comparable, mais prélevées dans des époques différentes, la teneur en azote n'a pas des fluctuations considérables. L'influence de la période semble être décidément moins importante que l'âge physiologique des feuilles pour ce qui concerne la teneur en azote.

La teneur en phosphore, dans chaque période, a des valeurs maximales dans les feuilles les plus jeunes, diminue au fur et à mesure que leur âge physiologique augmente et présente des minimums dans les feuilles tombées naturellement (tab.3). Dans les feuilles ayant un âge comparable, mais prélevées dans des moments différents de la saison de végétation, on note des fluctuations modestes, comme on l'a déjà observé pour l'azote. La teneur en potassium dans les feuilles des secteurs du fût terminaux (IV, V, VI) diminue au fur et à mesure que l'âge physiologique avance; dans les feuilles des secteurs basaux (I, II, III) elle suit d'abord une courbe croissante pendant des périodes de longueur différente selon les divers secteurs, ensuite elle diminue au fur et à mesure que la saison végétative avance. Dans les feuilles tombées naturellement la teneur en potassium est toujours plus basse que dans les feuilles sur le plant. Sur la base des divers échantillonnages, il en résulte qu'elle est habituellement plus élevée dans les feuilles des secteurs terminaux, mais en juillet elle est plus élevée dans les feuilles du secteur moyen, tandis qu'aux mois de mai, juin et novembre on ne note aucune différence remarquable entre les secteurs (tab. 4).

Pépinière F₁R₁

La recherche a été répétée en pépinière mais de façon simplifiée. On a prélevé un échantillon unique pour les feuilles présentes et, à partir d'une période déterminée, on a analysé les branches anticipées, presque absentes dans la pépinière de barbatelles, mais présentes dans une quantité remarquable dans la pépinière. Pour les branches, on n'a fait aucune distinction entre le bois et l'écorce.

A grands traits, les valeurs et les variations observées chez les plants de la pépinière pour les trois éléments nutritifs confirment les données obtenues chez les plants de la pépinière de barbatelles (tab. 5, 6 et 7).

La teneur en minéraux des branches anticipées n'est pas très différente de la teneur du fût, même si une comparaison précise est impossible à cause du différent pourcentage d'écorce, vu leurs petites dimensions.

Pépinière F₂R₂

Dans la pépinière à la deuxième année de culture, pour étudier les variations des teneurs en minéraux, on a effectué 9 échantillons pendant la saison de végétation; on a divisé le fût en secteurs et on a considéré séparément le bois et l'écorce. Pour ce qui concerne les branches, on a considéré séparément les branches de la première année et celles de la deuxième, sans faire des distinctions entre le bois et l'écorce.

Les résultats des analyses (tab. 8, 9 et 10) démontrent que la teneur des trois éléments nutritifs est toujours plus élevée dans l'écorce que dans le bois et que dans les deux tissus elle montre une tendance croissante de la base vers le sommet de l'arbre. C'est seulement le potassium qui fait quelques exceptions à cette règle vers la fin de l'été, lorsque la croissance ralentit. A cette époque, la teneur en potassium dans l'écorce a une inversion de tendance avec des valeurs décroissantes de la base vers le sommet de l'arbre. La teneur en minéraux dans les branches de deux ans est plus basse que celle des branches d'un an. Pour ce qui concerne la teneur en éléments nutritifs dans les feuilles, on peut confirmer les données des recherches précédentes. Pendant la deuxième saison de végétation les variations saisonnières des teneurs en N, P₂O₅ et K₂O dans le bois et l'écorce du fût, dans l'ensemble, montrent une tendance semblable à celle observée pour les plants de peupliers à la première année, mais elles sont plus évidentes dans les secteurs apicaux que dans les secteurs de la base, surtout pour l'écorce.

Quantité totale de minéraux exportés du terrain dans la pépinière de barbatelles et la pépinière

Les données du tableau 11, concernant la pépinière de barbatelles aussi bien que la pépinière, peuvent fournir une idée sur la quantité totale de minéraux exportés du sol, déterminée sur la base de la biomasse produite. Les quantités, assez remarquables, peuvent être considérées comme équivalentes aux quantités absorbées par les plus communes cultures herbacées.

L'exigence en azote sera en réalité un peu plus élevée que celle indiquée dans le tableau 11, puisque une partie de l'azote rendu au terrain par les feuilles et les racines est sujette à des phénomènes microbiologiques de dénitrification aussi bien qu'à des phénomènes de lessivage, très redoutables dans les terrains sableux.

Les quantités exportées du sol par rapport aux quantités absorbées représentent 45% pour N, 50% pour P₂O₅, 40% pour K₂O et 41% pour CaO.

Les quantités de substances nutritives exportées du sol, pendant deux ans, dans une pépinière (F₂R₂) sont décidément inférieures aux quantités exportées dans la même période, dans une pépinière de barbatelles coupée à la fin de la première année de développement (F₁ + F₁R₂); ce qui peut être corrélé à une moindre densité et donc à une moindre production unitaire de matière sèche dans la pépinière. Cependant, même dans la pépinière la quantité de minéraux enlevés du sol est considérable et doit être évaluée dans le choix de la fumure.

Rythme d'absorption des éléments nutritifs dans la pépinière de barbatelles

Les rythmes d'absorption des principaux éléments nutritifs du peuplier en pépinière, aussi bien que la connaissance des caractéristiques du sol, fournissent des données utiles pour suggérer la fertilisation optimale.

Dans la pépinière de barbatelles, par exemple, on a observé qu'au début du mois d'août, sur une production de biomasse égale à 45% de la production annuelle, l'absorption de l'azote avait déjà atteint 72%, celle du phosphore 66% et celle du potassium même 85% du total. L'azote, le phosphore et surtout le potassium sont donc absorbés précocement; il en découle une utilisation très intense de ces éléments par les jeunes plants (fig. 1).

Une période précoce d'absorption maximale a été observée aussi dans la pépinière, non seulement pendant la première année de végétation qui est comparable à la pépinière de barbatelles, mais aussi pendant la deuxième année.

La variabilité observée dans la teneur en éléments nutritifs dans les différentes phases de croissance des plants et, à l'intérieur de celles-ci, pendant la saison de végétation, rend difficile d'établir de façon univoque les doses et les rapports dans lesquels il faut apporter ces éléments au sol, surtout vu qu'il faut aussi tenir compte des disponibilités nutritionnelles du terrain.

Ces études donnent par elles-mêmes des informations intéressantes pour la fertilisation. Cependant, dans la pratique, elles ont été intégrées par des essais de fertilisation faits dans des milieux pédoclimatiques différents et avec des clones divers vu que la production de matière sèche et sa composition minérale varient pour chaque clone et sont influencées par les caractéristiques physico-chimiques du terrain, par les méthodes de culture, par les conditions climatiques et par des éventuelles adversités de nature pathologique.

FUMURE DE LA PEPINIERE

Prémises

Pour la production de jeunes plants de peuplier de bonne qualité et développement, proportionnés en diamètre et en hauteur, bien lignifiés, le terrain joue un rôle fondamental: il doit être profond, meuble et arrosable, donc fertile et de préférence plat.

Pour la culture de la pépinière, il faut éviter les terrains riches en sable grossier, puisqu'ils sont les plus exposés aux troubles hydriques et nutritionnels, et les terrains argileux, puisqu'ils sont difficiles à travailler, souvent non praticables, soit pour le labourage et pour les autres travaux de préparation du terrain pour la mise en place des boutures, soit pour l'extirpation en temps opportun des plants à la fin du cycle. En outre, ces terrains n'assurent pas un développement bien proportionné des plants pendant les deux

ans de végétation. Il faut aussi éviter les terrains avec un excès de calcaire actif car ils peuvent provoquer des manifestations de chlorose ferrique et, par conséquent, arrêter la croissance, ou, en tout cas, baisser considérablement la qualité des plants. Cela montre aussi l'importance de la réaction du sol, qui devrait rester dans les limites de la neutralité.

Les exigences restent plus ou moins les mêmes pour la culture de la pépinière de barbatelles, destinée à la production de matériel de propagation et avant tout de boutures.

Après l'énonciation de ces prémisses de caractère agronomique, il faut ajouter que d'autres éléments ont une influence remarquable sur le bon développement de la pépinière de barbatelles et de la pépinière: l'espacement, la révolution, les traitements culturaux habituels, surtout l'irrigation, et les traitements antiparasitaires.

Fumure minérale

Des indications importantes sur la fumure minérale peuvent être tirées des études sur les quantités totales de minéraux absorbés et sur leur rythme d'absorption aussi bien que des essais expérimentaux ad hoc, désormais très nombreux en Italie.

Toutefois, si les études du bilan nutritif et des rythmes d'absorption donnent des informations importantes sur les exigences des pépinières de peuplier, c'est seulement par les essais de fumure que l'on a pu vérifier ces données et approfondir les connaissances sur les doses quali-quantitatives optimales des fertilisants à appliquer.

Il y a plus de dix ans, on a mené une vaste étude sur l'effet de la fumure dans des pépinières de peuplier de l'hybride euro-américain I-214 dans des stations assez différentes surtout pour les caractéristiques du sol (texture, réaction, richesse en éléments de fertilité).

Dans ces essais, les engrais ont été utilisés de façon à créer des rapports presque de 1:1:1 entre les unités fertilisantes (N:P₂O₅:K₂O). On a essayé le nitrate de calcium, le sulfate d'ammonium et l'urée, avec des épandages en couverture, soit dans la pépinière de barbatelles soit dans la pépinière: le perphosphate minéral et le sel potassique ont été distribués au labourage dans les deux cultures, tandis que le fumier n'a été distribué que dans la pépinière (évidemment avant la mise en place).

Dans la plupart des cas, la fumure de la pépinière de barbatelles et de la pépinière, même si elle a déterminé une augmentation globale de biomasse, n'a pas donné dans la pratique des résultats significativement positifs, vu que l'on n'a obtenu ni une production de boutures plus abondante, ni des plants plus développés.

L'effet des engrais azotés, même si très bas, est plus évident si l'on n'utilise pas de fumier; ces résultats peuvent aussi être dus au fait que les terrains utilisés avaient été destinés pendant des années à des cultures agricoles (blé, maïs, luzerne), bien fumées.

On peut mentionner aussi d'autres essais menés dans des zones

différentes par Giulimondi (1961, 1973), d'où il résulte que l'urée n'a eu aucune influence sur l'accroissement et que le sulfate potassique, employé dans des doses diverses, n'a pas eu des effets statistiquement significatifs sur le diamètre et sur la hauteur des plants de peuplier.

Aussi au cours d'une expérience plus récente, menée dans quatre terrains ayant des caractéristiques chimico-physiques très différentes (tab. 12), mais indiqués sur le plan agronomique à la culture de la pépinière de peuplier, on a obtenu des résultats fort peu intéressants du point de vue pratique. Dans ces essais, le témoin non fumé a été comparé à une fumure avant la mise en place avec un engrais ternaire (11.22.16) à la dose de 9 q/ha, intégrée avec une fumure en couverture avec sulfate d'ammonium (21%) à la dose de 5 q/ha.

A la fin de la première année, on n'a pas observée des différences significatives entre les plants du témoin et les plants fumés soit pour la hauteur, soit pour le diamètre mesuré à m 0,50 du sol. Aussi à la fin de la deuxième année, la fumure semblait n'avoir aucun effet sur l'accroissement en diamètre des plants, diamètre mesuré à m 1 du sol (tab. 13).

L'analyse des feuilles, prélevées au début du mois d'août de la première saison végétative, ne montrait aucun effet significatif de l'apport des fertilisants sur la teneur en éléments nutritifs (tab.14).

Vu les données susmentionnées, il en résulte que si l'on choisi le terrain propre et on applique les traitements culturaux plus indiqués, la fumure ne permet pas des augmentations considérables de la production. Toutefois, si l'on considère que le pépiniériste doit avant tout viser à la qualité du produit et que les exportations minérales de la pépinière et de la pépinière de barbatelles sont assez élevées et que l'absorption en éléments nutritifs, surtout du potassium, est très précoce, on peut donc suggérer une fumure avec de prééminentes fonctions de maintien.

Dans ce but, il est évident la nécessité d'un labourage assez profond (cm 40-60) du sol avant la mise en place avec l'enfouissement de l'engrais phosphaté dans les doses, selon la disponibilité du terrain, de 5-7 q/ha de perphosphate minéral 18-20% et éventuellement de sulfate potassique 50-52% à raison de 1,50-3 q/ha. Au contraire, il faut éviter la fumure avec potassium sous forme de chlorure vu les possibles brûlures des jeunes racines.

L'enfouissement dans la zone la plus explorée par les racines est très important dans les terrains ayant une bonne capacité d'échange, où les mouvements verticaux des ions sont très faibles. Pour cette raison, les engrais phosphatés distribués en surface, se déplaçant seulement de peu de centimètres, finiraient par ne pas être absorbés par les racines dans des quantités adéquates.

La distribution des engrais azotés (urée, sulfate d'ammonium, nitrate d'ammonium) en couverture à la première et à la deuxième année de végétation est considérée utile si l'on distribue dans les deux ans environ 100-150 kg/ha de azote divisés, dans les deux années, en deux applications distinctes: la première au début du printemps et la deuxième à la fin du

printemps - début de l'été selon les différentes conditions saisonnières. Cette distribution graduelle s'explique par la mobilité de l'élément dans le terrain, mais surtout par le rythme d'absorption par les plants. Toutefois, sur le plan pratique, on n'a pas noté un avantage net de la distribution fractionnée par rapport à la distribution unique sur l'accroissement.

Pendant la première année, il faut éviter de placer la fumure azotée trop près des racines pour ne pas les brûler, tandis que pendant la deuxième année elle doit être distribuée sur toute la surface.

Dans la pépinière, vu la densité élevée, il est nécessaire d'assurer un niveau de fertilité suffisant pendant les deux ans de végétation, surtout dans les terrains ayant une basse capacité d'échange. En considérant les bilans, quand même indicatifs, sur les sols sablonneux une fertilisation la plus équilibrée que possible peut être utile en utilisant des engrais ternaires aussi au début de la deuxième année, quand l'absorption de l'azote semble prépondérante; cela ne peut pas être oublié dans le choix des titres des fertilisants.

En bref, compte tenu des études effectuées, il semble nécessaire de répéter que la fumure doit être considérée comme une intervention indispensable dans les terrains constitutionnellement pauvres en éléments nutritifs, tandis que dans les autres cas l'apport de fertilisants peut être utile pour le maintien de la fertilité du terrain et de la prévention de troubles nutritionnels éventuels, souvent difficiles à prévoir ou à identifier.

Vu l'influence de la fumure sur les aspects qualitatifs du matériel produit, on a démontré que l'emploi de phosphore dans la pépinière de barbatelles améliore l'état de nutrition des fûts avec des résultats positifs sur l'enracinement des boutures obtenues de ces fûts.

La fumure pour voie foliaire, avec des engrais azotés ou des microéléments, a donné des résultats peu intéressants. Dans le cas de carence en fer, la distribution de chélatés de Fe pour voie radicale est bien plus efficace que la distribution pour voie foliaire.

On a fait de nombreuses expériences sur le traitement de la chlorose ferrique et on a étudié aussi les effets de la distribution pour voie radicale de chélaté de fer sur la teneur en minéraux des feuilles. Dans ce but, déjà en 1982, on avait prélevé des échantillons de terrain et de feuilles de plants traités, ou non, avec Sequestrene 138 Fe dans la pépinière à la deuxième année du clone LUISA AVANZO, à Sarmato (PC).

Les feuilles ont été prélevées de la partie moyenne des branches turionales d'une dizaine de plants pour chaque échantillon; le terrain a été prélevé près des plants échantillonnés à une distance de 50 cm de la rangée et pour une profondeur de 30 cm. Les échantillons ont été prélevés dans les parcelles arrosées avec ou sans l'adjonction de Sequestrene, aussi bien que dans la rangée non arrosée comprise entre les parcelles mêmes.

Les données des analyses du terrain n'ont mis en évidence aucune différence significative entre les thèses pour aucun des

paramètres étudiés (tab.15).

Pour les feuilles au contraire on note (tab. 16):

- des différences très significatives ($P=0,01$) pour la teneur en eau et en cendres, pour la teneur en azote, en phosphore, en potassium, en fer, en manganèse et en zinc;
- des différences significatives ($P=0,05$) pour la teneur en calcium, magnésium et cuivre;
- des différences non significatives pour la teneur en bore et molybdène.

En particulier, il faut remarquer que parmi les plants arrosés, les plants traités avec Sequestrene montrent des teneurs significativement plus élevées en Fe et plus basses en eau, cendres, phosphore, potassium, calcium, magnésium et zinc.

Les plants de la rangée non arrosée, par rapport aux plants des parcelles arrosées, montrent dans l'ensemble des teneurs plus basses en azote et en phosphore, les plants de la rangée non arrosée comprise entre les parcelles traitées avec Sequestrene ont une teneur en fer plus haute et une teneur en calcium plus basse que les plants comprises entre les parcelles non traitées. Il semble donc que le traitement avec Sequestrene pour voie radicale influence non seulement l'absorption du fer, mais aussi celle des autres éléments nutritifs.

Les chélatés de fer distribués pour voie radicale par microirrigation goutte à goutte sont absorbés rapidement par les racines, passent dans les feuilles et donnent aux plants la possibilité de sortir des troubles physiologiques très rapidement (une semaine). Avec cette technique, plutôt coûteuse, mais possible en pépinière, le problème de la chlorose ferrique peut être considéré comme résolu.

Fumure organique

La distribution de fumier avant la préparation du terrain pour la mise en place des boutures reste une pratique bien assise pour son influence sur les caractéristiques physico-chimiques du terrain aussi bien que pour l'enrichissement en éléments nutritifs du sol. Toutefois la distribution de fumier devrait être considérée surtout comme une intervention qui modifie la structure du sol, étant donné que les fertilisants minéraux pourraient aussi bien contribuer à l'amélioration de la fertilité chimique.

Pour exploiter l'effet positif des composés humiques qui dérivent du fumier, dans des terrains du Frioul, où la chlorose ferrique avait atteint des plants de peuplier en pépinière, on a essayé un composé de fumier et de sulfate ferreux, dans la tentative de prévenir la maladie et de favoriser l'accroissement des arbres.

L'essai a été effectué en 1982-83 à Palazzolo dello Stella (UD) dans une pépinière du clone LUISA_AVANZO. La pépinière a été mise en place au cours du printemps 1982 en utilisant des boutures de 20 cm de long et avec un espacement de 1,60x0,60.

On a comparé les 5 thèses suivantes:

- témoin non fumé
- fumier avec sulfate ferreux avant la mise en place
- fumier avec sulfate ferreux en post-émergence (juin)
- chélatés de fer pour voie radicale

- chélatés de fer pour voie foliaire.

En plein champ, on a adopté un schéma expérimental à bloc randomisé avec 6 répétitions. L'unité expérimentale est représentée par une parcelle comprenant 6 rangées de plants de peuplier pour m 12 de long.

Le composé a été préparé en ajoutant au fumier le sulfate ferreux à la dose correspondant à 6% en poids du produit commercial, égal à 1% de fer. Le composé doit être remué souvent.

Soit avant la mise en place, soit en post-émergence, le composé a été utilisé à la dose d'environ 100 tonnes par hectare et a été enterré superficiellement pour favoriser la transformation de la substance organique et éviter l'enrichissement en anhydride carbonique en profondeur.

La distribution du chélaté de fer (Sequestrene 330 Fe) pour voie foliaire a été effectuée aux dates suivantes: 18.6, 2.7, 19.7, 2.8, 13.8, 27.8.1982.

Le traitement pour voie radicale a été effectué avant la mise en place en même temps que la distribution du composé.

Pendant la première année de végétation, il n'y a eu aucune manifestation de chlorose, mais le 21.10.1982 les plants traités avec le composé se distinguaient des autres par leur aspect plus saine.

Sur la base des données dendrométriques relevées à la fin de la saison végétative, les plants de peuplier des parcelles traitées avec le composé avaient des diamètres et des hauteurs plus élevés que les plants des autres thèses, même si les différences n'étaient pas statistiquement significatives (tab.17).

Les observations les plus importantes ont été effectuées pendant la deuxième année de végétation, lorsque la chlorose s'est manifestée dans les parcelles du témoin et dans les parcelles traitées avec les chélatés de fer soit pour voie foliaire, soit pour voie radicale, tandis que la carence en fer ne s'est pas manifestée ou s'est manifestée sous forme très légère dans les deux parcelles traitées avec le composé. Dans celles-ci, les plants se sont développés davantage. En effet sur la base des données dendrométriques relevées à la fin de la saison de végétation le diamètre aussi bien que la hauteur des plants traités étaient supérieurs à ceux des toutes les autres thèses qui entre elles montraient des différences minimales (tab. 17).

Le chélaté de fer distribué par voie radicale dans un but préventif n'a pas été assez efficace à éviter les nécroses sur les feuilles. La persistance de l'action du Sequestrene 138 Fe dans le terrain est limitée à de brèves périodes, il est donc préférable de l'appliquer lorsque la maladie fait son apparition.

Parmi tous les traitements, une attention particulière va donc au traitement avec le composé, avant tout pour son effet positif sur l'accroissement, ensuite pour son efficacité sur la prévention de la chlorose.

Pour réduire les coûts, il reste à voir si le composé agit si bien même à des doses plus basses de sulfate de Fe que celle qu'on a utilisée (6%=60q/ha).

L'emploi du fumier dans la culture de la pépinière de peuplier

devient de plus en plus rare, car il est de plus en plus difficile de trouver ce fertilisant organique. C'est pourquoi que l'on a fait des essais spécifiques pour étudier la possibilité de le remplacer avec des matériels organiques transformés (exemple: compost d'écorce, de chips de bois, etc.), intégrés avec des engrais minéraux, ou avec la fiente de volaille.

Des résultats très bons ont été obtenus par l'emploi de la fiente dans un essai en pot. Ce produit, à des doses croissantes, a influencé de façon significative le poids sec moyen par chaque plant des feuilles, des bourgeons et des racines; en outre le poids tendait à augmenter si l'on augmentait la dose de fiente. On a observé la même tendance pour la hauteur des jeunes plants.

Pour vérifier l'efficacité de ce produit en plein champ comparé au fumier et aux engrais minéraux, on a effectué une série de quatre essais dans quatre pépinières de SAF (Società Agricola e Forestale per le Piante da Cellulosa e da Carta), ayant des caractéristiques pédoclimatiques très différentes.

Selon la société qui distribue la fiente, appelée "Italpollina", elle a la composition suivante:

substance organiques	85-87%
(dont humus total 18-10%)	
azote organique (N)	4-6%
anhydride phosphorique (P_2O_5)	4-6%
oxyde de potassium (K_2O)	3-5%
oxyde de calcium (CaO)	2-4%
oxyde de magnésium (MgO)	0,5-1%
humidité	12-15%
pH	7-8
charge microbienne	500 million/gramme
microéléments	Fer, Manganèse, Molibdène, Bore, Zinc, Cuivre, Magnésium

La valeur fertilisante d'un quintal de fiente est considérée comme égale à la valeur de 15 quintaux de fumier mûr et les deux engrais organiques ont été comparés sur la base de ce rapport.

Le programme expérimentale a été tracé en collaboration entre les deux Instituts de recherche de SAF (ISP-Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura, Casale Monferrato, CSAF-Centro di Sperimentazione Agricola e Forestale, Roma); il comprenait l'exécution de quatre essais dans quatre pépinières commerciales de SAF localisées à Zibello (CR), Palazzolo dello Stella (UD), Zeddiani (OR) et Bagni Roselle (GR) et gérées respectivement par quatre Fermes SAF, Scottine, Volpares, Campulongu et Il Terzo.

Deux essais ont été effectués par ISP en 1984-85 avec la collaboration de la Ferme Scottine et en 1985-87 avec la collaboration de la Ferme Volpares; les autres deux essais par CSAF en 1986-87 et 1987-88 avec la collaboration des Fermes Il Terzo et Campulongu.

On a choisi des terrains représentatifs des terrains utilisés par les différentes fermes SAF pour la culture de la pépinière. Il s'agit (tab.18) de terrains assez profonds, de bon drainage qui ont donné les résultats qu'on va décrire.

Les pépinières ont été constituées avec des boutures du clone LUISA AVANZO chez les Fermes Scottine (Sarmato), Il Terzo (Grosseto) et Campulongu (Oristano) et avec le clone I-214 à Volpares (Palazzolo dello Stella).

Pour la mise en place dans les trois premières fermes, les boutures ont été placées à cm 60 de distance sur des rangées géminées (m1 entre les deux rangées du couple et m 2,20 entre les couples à Grosseto et Oristano et m 2,30 à Zibello), tandis que à Palazzolo, les boutures ont été placées à cm 60 sur des rangées simples espacées de m 2,20.

Les expériences ont été organisées de façon à pouvoir comparer la fumure avec feinte de volaille, par elle-même ou intégrée avec des engrais minéraux, avec la fumure minérale elle-même et avec la fertilisation avec fumier intégrée avec engrais minéral. On a donc comparé les thèses suivantes:

- 1) témoin non fumé
- 2) traitement avec 4 q/ha de fertilisant ternaire 11:22:16 intégré avec 1 q/ha d'urée à la première année et répétition du même traitement à la deuxième année
- 3) traitement avant la mise en place avec 550 q/ha de fumier mûr et 4 q/ha de 11:22:16
- 4) traitement avant la mise en place avec 34 q/ha de feinte et 4 q/ha de 11:22:16
- 5) traitement avant la mise en place avec 34 q/ha de feinte
- 6) traitement avec 17 q/ha de feinte et 2 q/ha de 11:22:16 à la première année et répétition du même traitement à la deuxième année

La distribution des traitements en plein champ a été effectuée selon un schéma à blocs randomisés avec 6 répétitions. L'unité expérimentale était constituée par une parcelle de m 20 x 40 comprenant presque 800 plants de peuplier.

L'enfouissement de la feinte et du fumier a été effectué à une profondeur de cm 10-15 soit avant la mise en place des boutures, soit au début de la deuxième année.

Pour l'irrigation, on a utilisé la méthode par aspersion dans toutes les quatre localités avec des intervalles d'une vingtaine de jour à Oristano (par exemple en 1986 on a irrigué aux dates suivantes: 26 mai, 14 juin, 4 juillet, 23 juillet, 18 août et 10 octobre) et à Bagno Roselle, deux ou trois fois par an à Zibello et seulement après des longues périodes sans pluie à Palazzolo dello Stella.

Même si les terrains avaient des caractéristiques pédologiques et surtout climatiques très différentes, dans l'ensemble, les résultats des quatre essais sont très homogènes soit pour les fumures organiques, soit pour leur intégration avec les engrais minéraux. L'inefficacité des fumures a été observée non seulement sur l'accroissement (tab. 19 et 22), mais aussi sur la teneur des trois principaux éléments de la fertilité (azote, phosphore et potassium) dans les feuilles (tab. 23 et 24).

Ces expériences montrent que les résultats positifs statistiquement probants obtenus dans des essais en pot (Frison, 1976) ne sont pas toujours confirmés dans les essais en plein champ. Probablement en plein champ, deux ans et les doses employées ne sont pas suffisants pour influencer de façon positive avec

la feinte et même avec le fumier les caractéristiques physiques et chimiques d'un terrain avec une fertilité normale et donc l'accroissement des plants de peuplier.

Interaction entre arrosage et fumure

Il est désormais connu que si l'on veut obtenir des productions d'un bon niveau quanti-qualitatif, il faut absolument arroser la pépinière de peuplier non seulement dans l'Italie centro-méridionale, mais aussi dans la Plaine du Pô. On connaît assez bien les quantités d'eau qui doivent être distribuées au cours de la saison de végétation (Frison et al., 1982) et les modalités de distribution de l'eau (Liani, 1974); ces aspects de l'irrigation sont très importants, le perfectionnement de ces techniques permet en effet la réduction des consommations et l'amélioration de l'efficacité.

Au contraire, les données expérimentales concernant l'interaction entre l'arrosage et la fumure réalisée par l'emploi de fertilisant liquides sont encore insuffisantes. Les Instituts de recherche de SAF, CSAF et ISP, toujours sensibles aux innovations techniques, ont accepté favorablement la possibilité de comparer la méthode de microirrigation goutte à goutte, désormais bien connue, avec la plus récente méthode de sub-nutriirrigation utilisant VIAFLO, deux méthodes indiquées aussi pour la distribution du fertilisant liquide.

VIAFLO est le nom donné par Du Pont de Nemours, USA, à la gaine poreuse à ruban, fabriquée avec une substance plastique spéciale (polyéthylène) appelée Tyvek. Les pores de la gaine ont un diamètre de 4-5 micron et permettent un débit de 0,3-0,5 litres par mètre et par heure à la pression de 0,1-0,3 kg/cm². La gaine est posée à la profondeur d'environ cm 5 et lorsqu'on introduit l'eau à basse pression, on a une transsudation homogène à travers les parois poreuses qui arrose le terrain autour des plants de façon uniforme.

Vu la possibilité pour les Instituts de recherche de SAF d'utiliser des terrains ayant des caractéristiques écologiques très différentes, les essais ont été effectués à Casale Monferrato (AL), chez la Ferme Expérimentale Mezzi, et à Passo di Treia (MC), chez la Ferme Santa Maria in Selva, dans des pépinières commerciales mises en place au printemps 1986 et destinées à la production de plants de deux ans.

Dans les deux localités, on a comparé les six thèses suivantes:

- 1) témoin non arrosé non fumé
- 2) témoin non arrosé mais fumé
- 3) microirrigation goutte à goutte sans fumure
- 4) microirrigation goutte à goutte avec fumure
- 5) irrigation avec système VIAFLO sans fumure
- 6) irrigation avec système VIAFLO avec fumure

Les thèses en plein champ ont été distribuées en adoptant un schéma à parcelle divisée, en attribuant les grandes parcelles aux méthodes d'arrosage (goutte à goutte, VIAFLO et témoin non arrosé), et les petites parcelles à la fumure (fumé et non fumé), avec quatre répétitions.

La microirrigation goutte à goutte a été effectuée en plaçant

des ailes gouttantes formées par un tube en polyéthylène à basse densité PN6 de mm 16 de diamètre, doué de gouttières en labyrinthe produites par Lego de mm 20 de diamètre et avec une sortie et ayant un débit horaire de 4 litres. Les gouttières ont été disposées à m 1 de distance.

Pour l'irrigation par transsudation, on a enterré la gaine à ruban le long de la rangée, à environ cm 10 des plants, à une profondeur d'environ cm 5. Sous l'effet de la pression (0,1 atm) de l'eau introduite dans la gaine, le ruban se gonflait et permettait le passage de l'eau et la transsudation à travers les micropores, avec un débit horaire de 0,3-0,5 litre par mètre linéaire.

La fertilisation a été effectuée en utilisant de la fumure liquide au titre 14.7.7 qui était injectée avec de pompes TMB, de construction israélienne, au début de la conduite principale d'irrigation dans la dose de 136 kg/ha par semaine. La solution nutritive était plongée dans un terrain efficacement imbibé pour éviter le contact avec les complexes absorbants du moyen et favoriser donc son immédiate disponibilité pour les arbres. En outre, après la distribution, on arrosait encore avec l'eau pure pour aider la pénétration des éléments nutritifs en profondeur.

La fertiirrigation a été effectuée du 13 juin au 26 août pendant la première année et du 12 juin au 25 août pendant la deuxième année avec des quantités totales dans les deux ans de 227 kg/ha de N, 114 kg/ha de P_2O_5 et de 114 kg/ha de K_2O .

Pour le témoin, on a distribué les mêmes quantités deux fois en 1986 (25.6 et 14.7) et une fois en 1987 (14.7), en diluant le fertilisant liquide en eau et enterrant la solution à la profondeur d'environ cm 10 et à la distance de cm 20-30 de la rangée.

A Casale Monferrato, le terrain avait dans la couche labourée une texture sableuse (80% sable, 15% limon et 5% argile), avait une réaction fondamentalement subalcaline (le pH déterminé en H_2O variait de 7,4 à 7,6), était pauvre en substances organiques, mais riche en azote, phosphore et potassium.

Les boutures du clone I-214 de cm 20 de long ont été placées à cm 60 de distance sur des rangées ayant une distance de m 2,20.

Les parcelles étaient constituées par 8 rangées de m 25 de long comprenant 40 plants chacune. Pour le mesurage, pour éviter les effets de bord, on n'a pas considéré les deux rangées latérales aussi bien que les sept plants de tête et les huit plants de queue des autres six rangées. Les données dendrométriques ont donc été relevées sur 25 plants par rangée pour un total de 150 plants par parcelle.

A Passo di Treia (MC), l'essai a été mené dans une pépinière constituée avec des boutures du clone LUISA AVANZO sur un terrain qui avait dans la couche labourée une texture franche (48% sable, 26% limon, 26% argile), avait une réaction alcaline (le Ph déterminé en H_2O variait de 8,2 à 8,3) et était dans l'ensemble riche en éléments nutritifs.

La dimension des boutures, l'espacement, les thèses et leur distribution en plein champ ont été les mêmes que ceux que l'on avait adoptés à Casale Monferrato.

Les parcelles étaient constituées par 12 rangées de m 19,8 de long et comprenant 33 plants chacune. Pour les relèvements, on a utilisé les 20 plants intérieurs des 8 rangées centrales. On a relevé:

- la hauteur totale pendant la première saison de végétation et à la fin de la I^{ère} et de la II^{ème} année;
- le double diamètre à m 0,5 du sol à la fin de la I^{ère} année et à m 1 du sol à la fin de la II^{ème} année.

En outre, pour étudier l'effet du fertilisant sur l'état de nutrition des plants, on a prélevé des feuilles, le 15 septembre au cours de la première saison de végétation et le 6 août au cours de la deuxième, et on a déterminé leur teneur en N, P₂O₅ et K₂O.

Dans ce but, sur 30 plants pour chaque parcelle, on a échantillonné deux feuilles mûres pour chaque plant, c'est-à-dire qui avaient terminé leur développement en extension, correspondant à la 8[°] et 9[°] à la première année et à la 10[°] et 11[°] à la deuxième année par rapport au sommet.

A Casale Monferrato, les plants de peuplier se sont développés régulièrement pendant les deux ans et ont atteint des dimensions normales pour la station (tab. 25). Au début du mois d'août de la première année, l'accroissement en hauteur (tab. 25) semblait exalté significativement par l'arrosage, mais sans distinction entre les deux méthodes d'irrigation. Par la suite, les différences dues à l'irrigation se sont atténuées: à la fin de la première saison de végétation elles étaient modestes, et à la fin de la deuxième elles avaient disparu.

L'accroissement en diamètre a été influencé par l'irrigation, sans distinction entre les méthodes adoptées, de façon statistiquement significative au cours de la première année, et de façon beaucoup moins évidente au cours de la deuxième année. En effet, les différences entre les thèses, même si elles sont assez nettes, n'atteignent pas les seuils de la signification statistique (tab. 25)

L'accroissement en diamètre et en hauteur, au cours de la première et de la deuxième année, n'a été influencé de façon significative par la distribution de fertilisant liquide ni à travers la microirrigation goutte à goutte, ni avec VIAFLO. La distribution de fertilisant liquide n'a influencé non plus la teneur en éléments nutritifs des feuilles (tab. 26). Au contraire, l'irrigation a provoqué une augmentation significative de la teneur en phosphore des feuilles au cours de la première année et de la teneur en azote au cours de la deuxième année.

Sur le plan pratique, on ne note aucune interaction significative entre irrigation et fumure ni sur l'accroissement, ni sur les teneurs en minéraux des feuilles.

A Passo di Treia, à la fin de la première année, l'accroissement en diamètre ne montraient pas de différences entre les thèses, au contraire l'accroissement en hauteur était significativement augmenté par l'irrigation (tab. 27).

A la fin de la deuxième année, la différence en hauteur totale et en diamètre est progressivement augmentée entre le témoin et les plants arrosés, sans aucune distinction entre les méthodes d'irrigation.

La distribution du fertilisant liquide n'a influencé ni l'accroissement, ni la concentration des éléments nutritifs dans les feuilles. Au contraire, l'irrigation a influencé positivement l'absorption du phosphore (tab. 28). Dans cette station non plus, on n'a observé une interaction entre fumure et irrigation.

C'est une opinion répandue que l'irrigation fertilisante est en mesure d'exalter les capacités de production des cultures et en même temps de contribuer à un emploi plus rationnel des fertilisants minéraux surtout avec les méthodes d'irrigation adoptées dans ces expériences. Cela est sans aucune doute vrai pour bien des cultures agricoles, mais il n'est pas confirmé pour le peuplier en pépinière, du moins dans les conditions expérimentales adoptées.

La richesse en éléments nutritifs des deux terrains utilisés et l'énorme développement des racines des plants irrigués peuvent avoir permis à ces plants de satisfaire dans les zones arrosées leurs besoins alimentaires en quantité suffisante sans avoir besoin d'autres apports par la fertiirrigation. Il est évident que si le développement radicale augmente, l'exploration et l'utilisation du volume de terrain disponible pour les racines absorbantes augmentent aussi.

Accroissement des plants de peuplier en pépinière sur la base de la densité de mise en place et à la fertilité du terrain

Pour vérifier l'influence de la fertilité de la station sur l'accroissement des plants de peuplier en pépinière, on a fait une vaste série d'essais en utilisant toujours le même clone (LUISA AVANZO) et en adoptant 8 densités de mise en place différentes (d'un minimum de 4.454 plants par ha à un maximum de 15.151). Les 8 densités ont été réalisées avec une distance de m 2,20 entre les rangées et avec des distances croissantes sur la rangée, d'un minimum de cm 30 à un maximum de cm 100, avec un module de cm 10. Pour chaque distance, on a employé 50 boutures, 10 pour chaque rangée sur 5 rangées. Pour chaque distance, on a fait 5 répétitions.

Les caractéristiques granulométriques des terrains varient du sableux (Casale Monferrato) au franc (Gazzo, Botricello, Casalotti) et à l'argileux (Sarmato, Giarole, Palazzolo dello Stella). Les terrains ci-derniers ont quelques difficultés de drainage.

Pour ce qui concerne les éléments nutritifs (N, P et K), aucun des terrains ne montrent de carences évidentes.

Sur la base des résultats obtenus, on peut affirmer que les accroissements augmentent de façon surprenante si l'on augmente la distance entre les plants sur la rangée, surtout au cours de la deuxième année de végétation et surtout en diamètre plutôt qu'en hauteur. Les accroissements varient de façon surprenante aussi d'une station à l'autre: les plants atteignent des dimensions considérables dans les terrains légers, tandis qu'ils ont un développement fort inférieur dans les terrains plus lourds, surtout là où le drainage était moins efficace (fig. 2 à 7).

Les besoins de place sont plus grands pour les plants cultivés dans les terrains les plus fertiles par rapport aux plants

cultivés dans les terrains moins fertiles, si l'on veut réduire la compétition entre eux.

La fumure a été plus ou moins la même pour toutes les pépinières et par l'irrigation on a essayé d'éviter aux plants de longues périodes de sécheresse pendant la saison de végétation. Il est évident que dans les stations où l'on a obtenu des accroissements inférieurs, ce n'est pas la faute d'éléments nutritifs à limiter l'accroissement et on n'aurait pu combler les différences de développement par une fumure plus abondante.

On peut dire que les terrains comparés ont des potentialités différentes et que l'accroissement des plants ne dépend pas seulement de la fertilité chimique, mais aussi, et surtout, de la fertilité agronomique. Celle-ci est la résultante d'un grand nombre de caractéristiques d'ordre physique, chimique, biologique et cultural, avec des équilibres délicats et complexes. On ne peut prétendre d'exalter l'accroissement en agissant seulement sur quelques unes de ces caractéristiques.

NUTRITION MINÉRALE DU PEUPLIER EN PLANTATION

Exportations minérales et aspects généraux

Pour fumer rationnellement la peupleraie, il est nécessaire de connaître les exigences nutritives de cet arbre et en établir les besoins alimentaires réels. Les premières peuvent être mesurées sur la base des exportations minérales, déterminées en fonction de la biomasse produite; les seconds doivent être calculés non seulement sur les exportations, mais aussi sur la possibilité de l'arbre d'utiliser chaque élément nutritif par rapport aux caractéristiques physiques et chimiques du sol.

Le problème des exportations et des exigences nutritives de cette salicacée a été étudié en Italie aussi (Frison, 1967, 1968, 1968, 1975; Giulimondi, 1970, 1974) avec des résultats assez intéressants. Récemment, Bernier (1974) a publié un intéressant compte rendu bibliographique dans lequel il a résumé et élaboré les données de tous les travaux des dernières années.

Pour ce qui concerne les exportations minérales, on a démontré que dans une révolution de 10-12 ans, sur la base d'une production, en tant que matière sèche, de 90 t/ha de troncs et branches, 12,4 t/ha de souche et racines et 21,5 t/ha de feuilles (on considère une humidité moyenne de 60% pour le fût et 70% pour les feuilles), la peupleraie absorbe les quantités suivantes (kg/ha) d'éléments nutritifs: azote (N) = 557; phosphore (P O) = 172; potassium (K O) = 625; calcium (CaO) = 1.650.

Si l'on suppose que toutes les feuilles et les racines restent dans le terrain, les quantités (kg/ha) exportées effectivement, concernant les troncs, les ramilles et les souches, atteignent respectivement: N = 163; P₂O₅ = 75; K₂O = 239; CaO = 580.

Cependant, le terrain n'est pas un substrat inerte, mais il est le lieu de complexes équilibres, liés aux fractions

colloïdales, et donc pas toute la quantité d'engrais distribués n'est disponibles pour les arbres. Il n'est donc pas suffisant de fournir chaque année une quantité d'azote, de phosphore et de potassium sous forme assimilable égale à la quantité exportée. Les quantités du blocage et du lessivage sont très différentes d'un terrain à l'autre et d'autre part, les différents éléments ne sont pas sujets de la même façon à ces phénomènes. Par conséquent, il n'est pas possible d'établir des règles précises et toujours valables pour la fumure.

Si l'étude du bilan nutritif est un moyen indiqué pour donner des informations sur les exigences nutritionnelles du peuplier, c'est seulement par l'expérimentation en plein champ, menée pendant des années et toujours sur les mêmes arbres, qu'on peut vérifier ces informations, approfondir les connaissances nécessaires pour le choix des fertilisants et des rapports dans les formulations, des époques et des modalités d'épandage, et évaluer la réponse des arbres à la fumure par rapport à leur âge.

Vu le caractère typiquement agronomique de la populiculture, la fumure ne doit pas seulement répondre à des critères de rationalité, mais elle doit aussi satisfaire des exigences précises d'ordre économique.

Puisque il y a une quinzaine d'ans, les informations disponibles dans la littérature technique italienne sur ces sujets étaient absolument insuffisantes, pour combler ces lacunes et pour chercher à trouver une solution d'ordre pratique aux problèmes principaux, j'ai commencé une vaste expérimentation dans les principales zones populières de la Plaine du Pô dans le but d'obtenir des informations assez précises et en tirer des conclusions ayant un haut niveau de crédibilité.

Tout d'abord, pour appliquer correctement la diagnostique foliaire et dans le but de poursuivre les recherches sur les effets de la fumure sur l'état de nutrition des plantes, on a mis au point une technique d'échantillonnage des feuilles.

L'expérimentation, concernant la fertilisation, décrite dans cette note, a commencé en printemps 1970 et comprend 38 expériences.

Les résultats de quelques unes de ces expériences ont déjà été publiés (Frison, 1976, 1978, 1984, 1987), les plus récentes sont décrites dans cette note.

Enfin, par l'examen des données relevées dans 25 peupleraies expérimentales polyclonales, on a cherché de mettre en relation l'accroissement des arbres avec les caractéristiques physico-chimiques du terrain.

Diagnostique foliaire: technique d'échantillonnage des feuilles

Sur la base des résultats obtenus, on peut affirmer que la teneur en minéraux des feuilles, par rapport à leur position dans les macroblastes et dans les brachyblastes (fig.8) ou bien à la position des branches dans la chevelure, varie de façon plus ou moins remarquable selon les éléments considérés. En particulier, la teneur en azote présente des valeurs plus

élevées dans les branches de la partie supérieure de la chevelure que dans celles de la partie inférieure (R_1+R_2 vs R_3+R_4), mais elle ne manifeste pas des différences significatives entre les feuilles des macroblastes et des brachyblastes et, dans les deux, entre les feuilles apicales et basales.

De façon semblable à l'azote, la teneur en phosphore montre une courbe croissante à partir des branches de la partie plus basse de la chevelure à celles de la partie plus haute (R_1+R_2 vs R_3+R_4 , R_3 vs R_4) et, contrairement à l'azote, elle atteint des valeurs plus basses dans les feuilles des macroblastes que dans celles des brachyblastes, en juin et en juillet.

Comme les deux autres éléments considérés, la teneur en potassium augmente de façon significative à partir des branches de la partie plus basse à celles de la partie plus haute de la chevelure (R_1+R_2 vs R_3+R_4), mais elle ne montre pas de différences entre les feuilles des macroblastes et celles des brachyblastes.

Contrairement à l'azote, au phosphore et au potassium, la teneur en calcium diminue de façon significative à partir des branches de la partie plus basse de la chevelure à celles de la partie plus haute, a des valeurs plus basses dans les macroblastes que dans les brachyblastes et, surtout dans les premiers, diminue des feuilles basales aux feuilles apicales. Enfin, la teneur en sodium montre une courbe semblable à celle du calcium.

Le gradient de concentration dans les macroblastes est sans aucune doute lié surtout à l'âge différent le long du bourgeon. Il est en effet connu que le calcium s'accumule dans les feuilles avec leur vieillissement. Il est important de répéter que dans les macroblastes on a écarté les feuilles terminales plus jeunes et on prélevé les feuilles basales (F_2) et les feuilles apicales (F_1) qui avaient terminé leur développement en extension et qui pouvaient être considérées comme mûres du point de vue physiologique, excepté au mois de mai. C'est pour cette raison que pour l'azote, le phosphore et le potassium, on n'a pas considéré le gradient de concentration le long du bourgeon; on aurait sûrement mis en évidence un gradient, mais de signe contraire à celui du calcium, si l'on avait pris en considération aussi les feuilles plus jeunes n'ayant pas terminé leur développement. De là, on peut déduire que la concentration en calcium est beaucoup plus influencée du facteur 'âge' que la concentration des autres éléments considérés.

Pour ce qui concerne la variabilité à l'intérieure de la chevelure, les résultats de ce travail coïncident avec les résultats obtenus par Van Der Meier (1964) quant au calcium, tandis que pour l'azote, le phosphore et le potassium cet Auteur n'avait pas noté de différences significatives.

Pour ce qui concerne les variations liées à la date d'échantillonnage (fig. 9 à 12), la teneur en azote, phosphore et potassium décroît fortement jusqu'au 30 juillet, tandis que la teneur en calcium et en sodium augmente; ensuite, de juillet à septembre, elle continue à augmenter pour le calcium et le sodium, diminue doucement pour le potassium et ne varie

pas de façon significative pour l'azote et le phosphore. Ces données sont très importantes pour choisir l'époque d'échantillonnage des feuilles qui doit être caractérisée par des niveaux de concentration en éléments minéraux plutôt constants.

La période de fin juillet est considérée comme la plus indiquée pour l'échantillonnage et va être choisie pour l'étude de la variabilité entre les arbres au niveau des différents secteurs de chevelure testés. Cela dans le but de choisir le secteur qui présente les variations minimales entre deux arbres et de réduire au minimum le nombre d'échantillons pour chaque arbre.

En examinant les différentes solutions, on a mis en évidence qu'il n'y a aucun avantage pratique à échantillonner les feuilles soit des macroblastes, soit des brachyblastes, on peut donc limiter la récolte aux feuilles des uns ou des autres. Le choix doit être fait sur la base de considération d'ordre pratique et d'ordre physiologique. Sur le plan pratique, il faut rappeler que les brachyblastes, plus nombreux sur R_1 et R_2 , ont des feuilles qui, surtout dans les clones sensibles à *Marssonina brunnea*, tombent précocement et qui sont donc disponibles seulement pendant des brèves périodes. Les macroblastes, plus nombreux et bien plus vigoureux dans les branches R_3 et R_4 , ont un feuillage qui persiste davantage et surtout c'est dans les macroblastes qu'on a une plus intense activité végétative et qu'on a des teneurs plus élevées. Sur le plan physiologique, ils sont donc considérés comme plus représentatifs de l'état de nutrition et plus indiqués pour les recherches de diagnostic foliaire. En effet, pour établir, par exemple, le seuil de carence en N, P et K, il semble plus logique de prendre en considération le contenu des feuilles, physiologiquement plus mûres, qui dans le feuillage ont d'habitude la concentration la plus haute puisqu'elles sont sur les branches les plus vigoureuses.

Sur la base de ces considérations, on a préféré pour l'échantillonnage les feuilles des macroblastes des branches R_3 et R_4 .

Sur la base des études effectuées, en admettant une probabilité de 95% et une erreur de 10% de la valeur moyenne, le nombre d'arbres d'où on doit prélever les feuilles est 2 pour l'N, 2 pour le P, 3 pour le K, 3 pour le Ca et 5 pour le Na.

Si l'on veut réduire l'erreur à 5% de la valeur moyenne, pour des recherches plus précises, il faut augmenter le nombre des arbres à échantillonner de 8 à 29, selon les éléments nutritifs considérés.

En conclusion, vu la variabilité entre les arbres et considérant les facteurs d'ordre pratique et physiologique, pour l'échantillonnage des feuilles, on peut suggérer cette technique: à la fin de juillet, prélevez les feuilles, physiologiquement mûres, des macroblastes des branches R_3 et R_4 sur 2-5 arbres pour chaque parcelle homogène.

Cette quantité peut sembler basse, mais il faut rappeler que, d'habitude, dans la populiculture industrielle, les plantations sont constituées avec des plantes du même clone,

du même âge et cultivées avec les mêmes techniques. En outre, dans le choix des arbres-échantillon, on écarte les plantes superdominantes et les plantes superdominées. Dans l'application pratique de la méthode, on devra vérifier avec soin les variabilités du terrain et le diviser dans des parcelles les plus uniformes possible et avec une superficie inférieure ou égale à 1 hectare.

Application de la diagnostique foliaire

En appliquant en même temps l'analyse des feuilles et l'analyse du terrain, il a été possible de mettre en évidence que les corrélations entre la disponibilité en éléments nutritifs du sol sous forme assimilable ou échangeable et les teneurs des mêmes éléments dans les feuilles sont plutôt modestes. En particulier, cette corrélation n'existe pas pour le potassium (fig 15), pour le magnésium (fig. 17) et pour le manganèse (fig. 18); elle est faible pour l'azote ($r = 0,62$) (fig. 13) et pour le calcium ($r = 0,53$) (fig. 16) et elle est significative pour le phosphore ($r = 0,74$) (fig. 14).

Il existe une corrélation négative ($r = -0,73$) entre la teneur en potassium et la teneur en manganèse dans les feuilles (fig. 20); au contraire, dans le terrain, la corrélation est positive, même s'il y a une dispersion remarquable (fig. 19).

L'application de la diagnostique foliaire a mis en évidence des différences significatives entre les clones pour ce qui concerne les teneurs en éléments nutritifs (tab. 29, 30 et 31), par conséquent, aussi les rapports entre elles varient. Puisque dans les mêmes conditions édaphiques les clones donnent des productions différentes, les exportations en minéraux peuvent être différentes et, par conséquent, il est fort probable que la réponse à la fumure est elle-aussi différente.

Les corrélations entre les teneurs en minéraux des feuilles, ou du fût et des branches, et l'accroissement sont encore en étude, mais d'après quelques exemples, on a vu que la corrélation peut être négative (tab. 32).

Les analyses du terrain et des feuilles sont très utiles, mais il est difficile de choisir les méthodes d'analyse et d'interpréter les résultats.

Par exemple, l'analyse détermine fondamentalement une quantité statique de K et Mg du sol, tandis qu'en réalité la disponibilité de K et de Mg est réglée par de différents facteurs. L'arbre absorbe le K qui est présent près des racines et la plupart du K doit se déplacer vers les racines par des mouvements de convection et de diffusion. La diffusion a lieu dans la solution du sol et dépend du taux d'humidité.

L'analyse détermine, par extraction, la fraction de K du sol en équilibre avec la solution, ce qui dépend de l'extrayant utilisé. Le K disponible n'est significatif que si l'on peut établir le temps pendant lequel il est rendu disponible. La disponibilité de K est déterminée du rythme de délivrance dans les solutions du sol, de la rapidité et du temps de déplacement vers les racines. La disponibilité de K dépend donc d'un système très dynamique, lié aux propriétés du sol et

aux caractéristiques des plantes. Dans les analyses ordinaires, d'habitude on ne considère ni la caractéristique du sol (porosité, équilibre hydrique, etc.) ni les propriétés morphologiques et physiologiques des racines.

Le niveau d'humidité du sol influence le développement des racines. Dans un sol ayant de bonnes caractéristiques physiques, un niveau élevé d'humidité favorise la formation de racines plus étendues, capables d'explorer un volume de terrain plus vaste dans un temps donné et donc d'absorber une plus grande partie d'éléments nutritifs, vu que le sol humide a un flux potentiel plus élevé.

L'arbre peut aussi avoir des exigences fort différentes par rapport au rythme de ravitaillement du K des sols, qui dépend de CSC, qui à son tour dépend de l'argile.

Le peuplier est un arbre à accroissement rapide, avec un taux d'absorption élevé pendant une période limitée; à cela une forte rapidité de délivrance par les sources de K du sol devrait correspondre. Le potassium d'un sol peut être adéquat pendant une période, mais loin du niveau optimale pendant une autre.

D'autre part, l'analyse des feuilles n'exprime pas toujours avec précision le degré d'absorption. La teneur en K peut être influencée par l'effet de la dilution ou de la concentration provoquées par la carence ou l'excès d'autres éléments nutritifs. Les teneurs en K varient pendant l'accroissement pour des raisons physiologiques indépendantes du niveau de K du sol. L'analyse des feuilles est un moyen diagnostique additionnel qui doit être appliqué seulement en même temps que les analyses du sol.

Pour le Mg, on n'a observé aucune relation entre l'absorption et l'accroissement. Dans la phase d'accroissement plus intensif, des symptômes de carence en Mg font parfois leur apparition, mais ils disparaissent lorsque l'accroissement ralentit.

Même à la suite d'abondantes fumures potassiques, on peut avoir des manifestations de carence en Mg, vu la corrélation négative entre les concentrations des deux éléments dans les tissus. Dans la plupart de cas, on n'a pas d'effets négatives sur l'accroissement, du moins jusqu'au moment où le niveau de Mg dans les organes assimilants ne va au dessous de la valeur critique pour le processus de photosynthèse.

Les symptômes de carence en Mg atteignent les feuilles les plus vieilles car l'élément se déplace vers les feuilles les plus jeunes, bien plus active du point de vue de la photosynthèse. Sur le plan pratique, dans les conditions italiennes, on n'a jamais observé des carences évidentes pour K et pour Mg.

Au contraire, les carences en fer sont très fréquentes dans les terrains calcaires. Le traitement par les chélatés de fer, distribués par voie radicale, est sans aucune doute efficace, mais il est trop coûteux par rapport au prix du bois produit, qui est plutôt bas. Pour la peupleraie, il faut choisir attentivement le terrain (en écartant ceux qui ont un excès de calcaire actif: au dessus de 7-8%), les méthodes agronomiques de prévention et les clones les plus indiqués aux conditions

édaphiques.

FUMURE DE LA PEUPLERAIE

Bases de l'expérimentation

Les essais de fumure en plein champ, déjà longs et coûteux, sont rendus plus difficiles par les possibles erreurs d'interprétation.

Pour ce qui concerne ce dernier aspect, un rôle important est joué par la variabilité du terrain et par la variabilité biologique qui est liée non seulement à l'irrégularité du sol, mais aussi aux effets imprévus et difficiles à identifier liés aux conditions climatiques saisonnières. Les pluies et la température peuvent modifier le développement des racines et leur bon fonctionnement dans l'absorption des sels. En outre, la quantité d'azote peut diminuer avec le lessivage et augmenter avec l'activité microbologique et dans les deux cas, elle est influencée par les conditions climatiques.

Pour éviter, ou du moins pour limiter, ces risques et pour mettre en évidence les effets véritables des fertilisants, on a cherché à choisir avec attention le terrain et on a adopté pour les essais des schémas expérimentaux susceptibles à l'interprétation statistique, en utilisant des parcelles multi-arbre et mono-arbre.

Dans le choix de l'unité expérimentale, on a préféré la parcelle ayant plus d'arbres, de 25 à 36, répétée 4 à 6 fois et on a commencé l'essai à la première année de la mise en place, quand on avait à la disposition de vastes surfaces de terrain assez uniforme.

Avec cette parcelle, on a réalisé le premier groupe de 10 expériences, divisées en deux sous-groupes respectivement de 8 et de 2 essais: les 8 premiers essais concernent les peupleraies non associées, les autres deux les peupleraies associées à des cultures herbacées. Ces derniers ont été effectués dans le but d'étudier l'influence de la fertilité restante, dérivant de la fumure aux cultures herbacées associées, sur l'accroissement du peuplier dans les années successives à l'association.

Au contraire, on a choisi la parcelle mono-arbre, répétée de 6 à 16 fois, lorsque l'étude visait à mettre en évidence l'effet de chaque élément fertilisant par rapport aussi à leurs diverses formes en vente et à la réactivité de la plante en fonction de son âge au moment des applications. Dans ce cas, on a fait les divers traitements à des arbres comparables entre eux: on a choisi des arbres ayant une surface terrière égale ou avec des différences minimales et dans tout cas non significatives du point de vue statistique. On a écarté les arbres faibles ou anormaux et les arbres superdominants.

Entre une parcelle mono-arbre et l'autre, on a mis du moins deux arbres de bord, souvent 3 ou 4.

Avec des parcelles constituées par un arbre seulement, on a effectué 28 expériences qui peuvent être divisées dans les suivantes quatre classes d'âge des plantes au moment du

premier traitement fertilisant:

- 1ère et 2ème année de végétation: 9 expériences
- 3ème et 4ème année de végétation: 7 expériences
- 5ème et 6ème année de végétation: 6 expériences
- 7ème, 8ème et 9ème année de végétation: 6 expériences.

Dans tout cas, avant le commencement des essais, ou pendant les essais, on a prélevé des échantillons de terrain et on a fait les analyses avec les méthodes ordinaires. Pour les profils ayant des stratifications évidentes, on a prélevé un échantillon pour chaque "horizon" pour évaluer les variations granulométriques et des éléments nutritifs dans le sens de la verticalité.

Les résultats de la fumure ont été vérifiés avec l'analyse des données sur l'accroissement en surface terrière du fût à m 1,30 du sol, mesuré une fois par an. Quand il a été possible, on a examiné la production en bois à l'abattage des arbres et on a évalué l'état de nutrition minérale des feuilles.

Pour l'échantillonnage des feuilles, on a suivi les modalités décrites précédemment.

L'élaboration des données, concernant la surface terrière, a été faite par l'analyse de la variance.

Dans cette note, on se borne à rapporter les conclusions, car un examen détaillé de chaque expérience demanderait trop de temps.

Si l'on considère que dans la Plaine du Pô, la culture du peuplier est répandue surtout à l'intérieur et près des franc-bords du Pô et des autres fleuves importants, dans les terrains agricoles traversés par les grands canaux comme la Lomellina et enfin se localise dans des autres zones ex-agricoles, comme la campagne près de Mantova et en Frioul, souvent riches en ressources hydriques, on comprend que les terrains populicules sont assez différents du point de vue agronomique, même s'ils sont semblables du point de vue géologique.

Même si le climat a des caractéristiques générales assez uniformes dans toute la Plaine du Pô, d'après les données relevées dans presque toutes les stations intéressées et spécifiquement Vercelli, Casale, Cuneo, Pavia, Sarmato, Cremona, Gazzo Bigarello, Palazzolo dello Stella e Pega (Comacchio), on a noté des variations évidentes pour quelques paramètres thermo-pluviométriques de ouest à est.

Par exemple, pour la température, la station de Cuneo se distingue des autres par la moyenne annuelle et la moyenne en juillet plus basse et par la moyenne en janvier plus haute; pour les autres stations, de Vercelli au Delta du Pô, on note une courbe croissante pour la moyenne annuelle et pour celle de janvier.

Pour ce qui concerne les précipitations pendant la saison de végétation, la station de Cuneo, dans la partie occidentale de la Plaine du Pô, et la station de Palazzolo dello Stella, dans la partie orientale, se distinguent nettement des autres, avec des valeurs plus élevées.

De Casale Monferrato à Comacchio, les valeurs moyennes ne varient pas beaucoup, non seulement pendant la saison de végétation, mais aussi pendant les mois les plus pluvieux (mai

et novembre) et pendant les mois les plus secs (février et juillet). Le total annuel présente au contraire une diminution des valeurs pour les stations de Mantova et de Cremona, où les précipitations diminuent surtout pendant la période octobre-mars.

Vu les variations climatiques et surtout pédologiques dans la zone considérée, il est logique de supposer que la réponse du peuplier à la fumure varie selon les conditions. Il est donc très important de faire des études sur la fumure dans des environnements différents dans la tentative d'obtenir des informations de caractère général.

Résultats de l'expérimentation

Les résultats ont confirmé du moins en partie les hypothèses formulées.

La première donnée qui ressort de l'ensemble des expériences est que la réponse du peuplier aux apports des fertilisants varie selon les caractéristiques de l'environnement et passe des valeurs insignifiantes à des valeurs nettement positives, statistiquement probantes.

Par exemple, les essais faits en Lomellina sur des terrains sableux, ayant de bonnes disponibilités hydriques et réaction subacide, ont mis en évidence l'effet positif des fumures azotées et surtout des fumures azoto-phosphatées (fig. 21), aussi bien que l'effet dépressif de doses excessives d'azote (3 kg/arbre de nitrate d'ammonium 26-27%) (tab. 33).

On est sûr que l'effet dépressif était dû à des doses excessives car il a suffi de fractionner les doses pour éviter le problème. Cependant, le fractionnement n'a pas apporté des améliorations significatives par rapport à moitié dose. L'effet du potassium est très modeste, comme on l'avait déjà observé dans des autres essais. L'effet de la fumure azotée semble significatif, celui de la fumure potassique incertaine, celui de la fumure phosphatée nul par rapport respectivement à la teneur en azote, potassium et phosphore dans les feuilles (fig. 22).

Ces informations, même si elles sont très claires, ne sont pas généralisables. En effet, des essais semblables, répétés dans des diverses peupleraies près de Casale, de Pavia, du Delta du Pô et dans d'autres terrains sableux, ayant des disponibilités hydriques très différentes pendant la saison de végétation, plutôt calcaires et ayant une réaction neutre à subalcaline, assez profonds, mais pauvres en substance organique et en éléments nutritifs, ont donné des résultats nuls ou fort modestes sur l'accroissement.

Les différences les plus évidentes entre les zones qui ont donné des réponses différentes à la fumure concernent surtout le terrain et dépendent non seulement de la réaction et des autres caractéristiques déjà mentionnées, mais surtout de la disponibilité en eau. Au contraire, comme on l'a déjà dit, pour le climat, dans l'ensemble, on n'a pas eu des variations très élevées, surtout pour ce qui concerne les quantités et la distribution des pluies. Cependant, les inévitables variations annuelles, d'une localité à l'autre, et même dans la même station, peuvent interagir dans la réponse du peuplier à la

fumure. Plusieurs observations ont mis en évidence une action nette de la fumure azotée (par exemple, un vert plus foncé des feuilles) dans certaines années (par ex. 1980) avec de bons niveaux de précipitations, associées à des températures pas trop élevées, entre la fin du printemps et le début de l'été même dans des stations, comme celle de Casale Monferrato, où on n'a pas noté des accroissements en bois significatifs pour les apports de fertilisants.

Au contraire, avec la fumure azoto-phosphatée, on a obtenu des résultats positifs dans la zone près de Mantova et au Frioul dans des terrains assez légers, plutôt superficiels par rapport aux exigences du peuplier, placés sur des couches calcaire d'accumulation. Il est évident que dans l'interprétation des résultats de la fertilisation, il faut tenir compte non seulement des disponibilités d'éléments assimilables en pour-cent, mais aussi de la profondeur du terrain et du profil hydrique et nutritionnel pour les stimulations qu'ils peuvent donner au développement des racines absorbantes et pour la quantité des réserves.

Une donnée importante ressort de l'ensemble des essais effectués: ce sont toujours les plantes très jeunes qui donnent une réponse positive à l'apport de fertilisants. La fumure de production devrait donc commencer à la première année et se borner à la première moitié du cycle, tandis qu'elle semble être beaucoup moins efficace pendant la seconde moitié du cycle.

Cette donnée démontre que la distribution de la fumure ne doit pas être proportionnée à la production annuelle de bois utilisable (jusqu'au diamètre de cm 10 en pointe) des arbres. L'accroissement courant de bois utilisable en volume de bois est bien plus élevé dans les peupleraies d'âge moyen ou mûres que dans les peupleraies jeunes ou très jeunes, qui semblent être plus sensibles à la fumure. L'accroissement courant ne peut donc être considéré comme un paramètre valable pour établir la quantité d'engrais nécessaire aux arbres.

Dans ce sens, l'accroissement annuel de la biomasse totale et le rythme d'absorption sont sans aucune doute plus significatifs: ils sont plus difficiles à déterminer, mais ils correspondent mieux aux exigences réelles des arbres. Il est bien connu que le teneur en éléments plastiques (azote et phosphore) est beaucoup plus élevée dans les tissus jeunes que dans les tissus âgés et que la proportion de ces derniers augmente avec l'âge des arbres.

Une contribution valable dans l'interprétation du phénomène pourrait dériver des études sur le développement des racines par rapport aux caractéristiques des différentes couches du profil du terrain et sur les relations entre intensité d'absorption des éléments nutritifs dans un volume de terrain donné et quantité de volume exploré par les racines. Il est fort probable que le degré d'extension et d'exploration des racines est en étroite relation avec l'âge et la dimension des arbres et que la colonisation des racines par les mycorhizes peut augmenter ultérieurement la superficie absorbante du système radicale, même si le peuplier n'est pas considéré comme un arbre qui dépend fortement de ces champignons du sol.

Il ne faut pas oublier que la peupleraie occupe le même terrain pour dix ans, en moyenne, et que pendant cette période le sol n'est travaillé que dans les 10-15 premiers cm. Etant donné que les couches superficielles ne se mêlent pas avec les couches plus profondes, les horizons du profil tendent à se différencier.

La couche superficielle, biologiquement plus active, s'enrichit sans cesse soit pour l'apport direct des fertilisants, soit pour l'enfouissement des résidus organiques; par contre, progressivement, la couche profonde s'appauvrit en éléments nutritifs qui sont absorbés par les racines, retournent au terrain à travers les feuilles et s'accumulent sur la surface.

D'ici la conviction que la fumure de fond doit enrichir en éléments nutritifs toutes les couches explorées par les racines, y compris les plus profondes. Il va sans dire que cette fumure doit être effectuée en même temps que les labourages profonds avant la mise en place; elle concernera surtout les engrais phosphatés et potassiques, vu que leur mobilité dans le terrain est inversement proportionnelle au pouvoir absorbant du sol. Par contre, les composés azotés inorganiques réduits peuvent être distribués plus efficacement en surface parce qu'ils donnent origine, par oxydation, au ion nitrate qui, ayant une charge négative, se meut librement à travers le terrain et est donc emporté plus rapidement vers le bas, dans la zone des racines.

Dans les peupleraies associées pendant les premières années à des cultures herbacées, presque toujours fumées, les essais de fumure ont donné des résultats peu intéressants. Cela n'étonne pas si l'on considère que d'habitude les associations sont faites dans des terrains fertiles, que les jeunes peupliers montrent une sensibilité à la fumure plus élevée que les arbres âgés et qu'ils peuvent profiter de la fertilité restante.

Sur les effets des différents éléments on peut résumer ce qui suit.

Potassium - Sur la base des études faites jusqu'à maintenant sur la fumure du peuplier, on peut noter que la plupart des terrains occupés par cette culture sont bien fournis de potassium, à l'état assimilable aussi bien que comme réserve potentielle. Plutôt que sur la donnée analytique observée au laboratoire - qui n'est pas toujours un indice sûr de carence ou de richesse -, cette affirmation se base sur les résultats expérimentaux de presque la totalité des essais (26 sur 28) de fumure effectués en plein champ.

Cela est confirmé par le fait que la distribution de potassium dans le terrain non seulement n'influence pas la teneur de cet élément dans les feuilles, mais au contraire elle provoque une diminution de la teneur en magnésium jusqu'à la manifestation de symptômes de carence sur les feuilles les plus âgées, comme on l'a observé dans des terrains sableux-limoneux de bonne fertilité. L'apparition de ce phénomène est typique des terrains riche en potassium. Dans certains cas, on a noté des effets dépressifs sur l'accroissement après la distribution

d'engrais contenant le potassium sous forme de chlorure.

Phosphore - Parmi les terrains utilisés dans les essais, les terrains assez riches en phosphore totale sont assez nombreux, surtout dans les couches superficielles, mais souvent ces mêmes terrains sont pauvres en phosphore assimilable.

Toutefois, même quand on a utilisé des terrains pauvres, l'analyse a mis en évidence que la teneur en P_2O_5 des feuilles n'est pas favorisée par la distribution d'engrais phosphatés, tandis qu'elle peut être influencée négativement par la fumure azotée (Pomposa) ou par la fumure potassique (Belgioioso).

A Pomposa et à Belgioioso, malgré les fortes carences en P_2O_5 assimilable mises en évidence par les analyses, la fumure phosphatée n'a eu aucun effet sur l'accroissement, surtout dans la seconde localité où la quantité de phosphore totale était très basse.

Dans cette station, l'accroissement totale des plantes a été très bas et cela peut être dû avant tout à des carences au niveau des caractéristiques physiques du terrain plutôt qu'au manque d'éléments nutritifs, car dans ce cas, les arbres auraient réagi de façon positive à la fumure.

La non-réponse à la fumure phosphatée est plus compréhensible dans l'essai de Mortara, où les analyses ont montré des teneurs en P_2O_5 assimilable oscillant de 80 à 100 ppm dans la couche superficielle. Malgré cela, il ne semble possible d'établir un seuil de la teneur en phosphore assimilable au dessous duquel les distributions d'engrais phosphatés sont évidemment ou du moins fondamentalement efficaces pour la production. Dans tout cas, on pense que ce seuil - pour le P_2O_5 assimilable, déterminé par la méthode Ferrari - pour le peuplier est nettement inférieure au seuil de 100 ppm, indiqué pour les plantes herbacées (Piolanti, 1974) et même au seuil de 80 ppm, indiqué pour les arbres à fruit (Lalatta, 1980).

Sur la base de nos expériences, les peupliers ont réagi positivement à la fumure phosphatée dans les terrains plutôt pauvres en P_2O_5 et caractérisés par une réaction subacide, bonne disponibilité en eau et texture sableuse, ou bien caractérisées par une réaction neutre ou subalcaline, texture sableuse-limoneuse mais ayant un profil de puissance limitée. Au contraire, ils n'ont pas réagi dans les terrains très pauvres en P_2O_5 , mais profonds et dans des conditions hydriques très variables. Il est probable que la valeur-seuil change avec les caractéristiques physico-chimiques du terrain.

Azote - La teneur en azote dans le terrain est fort variable, mais les valeurs ont presque toujours mis en évidence un état plus ou moins grave de carence, si l'on fait référence à l'échelle des niveaux proposés pour les déterminations effectuées selon la méthode Kjeldahl.

Cependant, on n'arrive pas à mettre en évidence une corrélation nette entre les teneurs du terrain et la réponse du peuplier aux apports des engrais azotés. C'est dans quelques uns des terrains les plus pauvres en azote que la distribution de fertilisants azotés n'a pas donné de résultats positifs

(Belgioioso, Pomposa). Mais il faut dire que dans ces stations l'accroissement total a été plutôt modeste: cela démontre que les facteurs limitant l'accroissement ne doivent pas être recherché seulement dans la carence en éléments nutritifs, mais aussi dans la texture et les caractéristiques physiques du sol, parmi lesquelles il faut rappeler la capacité hydrique et les possibilités d'approvisionnement en eau. Il faut aussi ajouter que l'azote ammoniacal, ou l'azote sous formes comme l'uréique qui passent par la forme ammoniacale, distribué en couverture sur les terrains alcalins a toujours des pertes car l'exposition superficielle et le pH élevé favorisent la volatilisation de l'ammoniaque. Cet élément doit donc être enterré immédiatement après la distribution, pour contenir ce phénomène dans des limites acceptables.

En général, par la fumure azotée on a obtenu des résultats plus marqués que par les autres éléments, considérés un par un, surtout dans les terrains sableux à réaction subacide et ayant de bonnes disponibilités hydriques et aussi dans les terrains sableux-limoneux, avec réaction subalcaline et profil de puissance limitée. Il est bon de répéter que la fumure azoto-phosphatée est bien souvent plus avantageuse que la fumure azoté (fig. 21).

D'autre part, il est utile de rappeler que la fumure azotée a provoqué un développement considérable des mauvaises herbes. Dans ce sens, les fumures phosphatées et potassiques n'ont aucune influence.

On a noté que un excès d'azote a des conséquences négatives sur l'accroissement et il est probable que ce phénomène est plus intense et plus fréquent dans les terrains ayant une carence en phosphore. Evidemment, aussi pour le peuplier, l'azote est l'élément qui a l'écart mineur entre les niveaux correspondant à la carence et ceux correspondant à l'excès; d'où la nécessité de choisir avec un soin particulier les doses et les modalités d'épandage.

Pour ce qui concerne les fertilisants azotés sous forme nitrrique, ammoniacale et uréique, il faut préciser que sur la base des résultats obtenus on n'a mis en évidence aucune qualité particulière qui puisse distinguer les différentes formes d'engrais chimiques et surtout qui puisse justifier les bien connues différences de prix. Exception faite pour quelques considérations d'ordre agronomique, la préférence dans leur emploi devra se baser seulement sur le prix plus bas de l'unité de azote contenue.

A la différence de ce qu'on a noté pour le phosphore et le potassium, l'analyse des feuilles a mis en évidence l'efficacité de la fumure azotée sur la teneur en azote des feuilles dans bien des stations étudiées; on peut donc affirmer que, en général, il existe une corrélation positive entre la distribution de l'azote dans le terrain et la teneur de cet élément dans les feuilles. Par contre, il est plus difficile de trouver une corrélation entre la concentration d'azote dans les feuilles et le rythme d'accroissement des arbres dans les différentes stations, une corrélation qui serait très utile pour l'application de la diagnostique foliaire pour le choix de la fumure azotée.

Substance organique - La présence de substance organique est très variable dans les terrains populicoles examinés: elle va des niveaux de grande pauvreté de la plupart des terrains sableux à des valeurs qui dépassent tout juste 1,5% dans certains terrains ex-agricoles pour arriver à un maximum de 3% dans la couche superficielle de terrains précédemment boisés. La fumure avec fumier, effectuée entre autres à Palazzolo dello Stella, dans le terrain ayant les niveaux les plus élevés de substance organique, précédemment occupé par une peupleraie pendant une révolution de 11 ans, à son tour mise en place après déboisement, n'a pas eu d'effets significatifs sur l'accroissement.

La dose de 50 tonnes/ha de fumier, dans un terrain ayant environ 3% de humus dans les 50 premiers cm de la surface ne pouvait pas déterminer des augmentations importantes en substance organique ou en éléments nutritifs dans le terrain ou, du moins, capables à exercer une action favorable sur la production pendant une révolution de 12 ans. Le coefficient isounique (K_1) peut être au maximum égal à 0,1 de la matière sèche correspondant à la fumure organique. L'apport en éléments nutritifs est lui-aussi modeste.

Comme on l'a déjà dit pour la pépinière, la fumure avec fumier doit être considérée attentivement comme une intervention qui peut modifier la structure du sol. Même si la distribution de fumier ne représente pas un moyen irremplaçable pour l'amélioration de la fertilité chimique, étant donné que les fertilisants minéraux peuvent être utilisés efficacement dans ce but, elle est un moyen naturel très important pour améliorer les caractéristiques structurales des terrains argileux et des terrains sableux. Malheureusement, la distribution de fumier avant la mise en place de la peupleraie est de nos jours de plus en plus rare par rapport au passé car il est de plus en plus difficile de trouver ce produit. Compte tenu de cela, on a fait un essai en utilisant au lieu du fumier de la feinte de volaille, dans un terrain sableux, pauvre en substance organique. Les résultats ont été décevants car la feinte n'a pas eu une action favorable sur l'accroissement des arbres, même si elle a une teneur de 70% de substance organique.

L'essai a été commencé dans une peupleraie à la sixième saison de végétation après la mise en place et le résultat doit donc être considéré sur la base de deux données importantes: la sensibilité du peuplier à la fertilisation, qui varie en fonction de l'âge des arbres, et le fait que la feinte n'a un effet que sur les couches les plus superficielles, ce qui est confirmé par l'augmentation de la substance organique seulement dans les 30 premiers cm du sol après l'application de cet engrais.

Indications pratiques

Les indications suivantes sur la fumure se basent sur les résultats expérimentaux. Avant tout, il faut préciser que l'efficacité des engrais est conditionnée par les limites que d'autres éléments imposent, la connaissance desquels est

indispensable pour agir rationnellement.

On considère utile la fumure de fond, avant le défonçage, pour maintenir la fertilité en remplaçant les exportations, pour prévenir des possibles carences ou rapports déséquilibrés dans les terrains qui n'ont pas été analysés récemment et pour assurer une quantité extra de phosphore et de potassium dans le but de stimuler le développement des racines et l'augmentation de la densité du bois.

A titre indicatif, on estime que pour une révolution de dix ans en tant que fumure de maintien, c'est-à-dire suffisante à ne pas entamer les ressources nutritives du sol, il suffit de distribuer les quantités d'engrais suivantes:

- sulfate d'ammonium 26% (ou l'équivalent en urée): 7-10 q/ha, égal à 180-260 kg/ha d'azote (N);
- perphosphate minérale 19-21%: 6-8 q/ha, égal à 120-160 kg/ha de phosphore (P_2O_5);
- sulfate potassique 50-52%: 5-7 q/ha, égal à 250-350 kg/ha de potassium (K_2O).

Des doses plus précises pourront être décidées par rapport à la richesse effective du terrain, vu que le but de la fertilisation est aussi celui d'améliorer les conditions d'équilibre entre les différents facteurs nutritifs.

On conseille donc d'enterrer les engrais phosphatés et potassiques avec le labourage profond, avant la mise en place, de façon à enrichir en éléments nutritifs tout le profil le plus exploré par les racines. L'azote, élément plus mobile que les autres dans le terrain, doit être distribué plusieurs fois, de façon localisée pendant la première et éventuellement la deuxième année et sur toute la surface pendant les années suivantes. L'effet de l'azote sur les mauvaises herbes est considérable.

Il est profitable de n'effectuer la fumure de production que dans les terrains pauvres, ayant une réaction subacide ou de puissance réduite, et de la borner à la première moitié de la révolution; les effets les plus importantes sont obtenus par les apports d'azote, ou mieux d'azote et phosphore.

Lorsqu'on a des productions basses, avant de décider si et comment fumer le terrain, il faudrait déterminer les facteurs responsables de cette réduction de l'accroissement. Il est évident que s'il y a des carences au niveau de la structure du sol ou de sa disponibilité en eau, on ne peut pas prétendre améliorer l'accroissement des arbres par la fumure elle-même. La nutrition minérale ne peut jamais être dissociée de l'alimentation en eau. Par contre, l'excès en eau, en réduisant la couche de terrain disponible, limite l'accroissement. Ce n'est pas par l'apport d'engrais que l'on peut résoudre des situations de ce genre.

Si au contraire les terrains n'ont pas de carences au niveau des caractéristiques agronomiques et ont des véritables carences chimiques, qui peuvent être corrigées par l'apport de fertilisants, des perspectives intéressantes s'ouvrent pour la pratique de la fertilisation.

Il faut rappeler que la fumure doit toujours répondre soit à des critères de rationalité, soit à des exigences d'ordre économique.

Par exemple, dans des terrains peracides, on a effectué des essais de fumure avec et sans chaulage pour corriger l'acidité. Les résultats ont démontré que la réduction de l'acidité par le chaulage a une efficacité limitée dans le temps et que la simple augmentation du pH ne suffit pas à augmenter la production de façon significative. Le chaulage doit toujours être associé à la fumure minérale, mais le coût total de ces deux opérations dépasse le bénéfice dû à l'augmentation en production. En effet, l'augmentation de production de bois liée à la fumure est plutôt modeste (fig. 23).

Le but fondamentale de la fumure est celui d'obtenir une augmentation de la production, il est évident que si l'on n'a pas de réponse positive dans ce sens, le problème n'existe même pas.

Si la réponse à l'apport de fertilisants est positive, il faut considérer la valeur de l'augmentation du produit obtenue par la fumure ou par les différentes doses de fumure utilisées aussi bien que le coût de la fumure ou des différentes doses des fertilisants distribués, y compris les coûts de transport, de distribution et d'enfouissement.

Il va de soi que dans certains cas, l'opération est économiquement avantageuse.

Pour mesurer la fertilité chimique du terrain les analyses de laboratoire sont utiles, mais pour mesurer la fertilité agronomique il est indispensable de tenir compte de l'accroissement des arbres et de leur production en bois dans des conditions édaphiques très différentes. La réponse des plantes à des conditions environnementales données offre des éléments importants pour choisir les opérations culturelles à effectuer pour mieux exploiter les potentialités du terrain et de la plante.

Influence des caractéristiques du terrain sur l'accroissement du peuplier

Parmi les facteurs qui influence la rapidité d'accroissement du peuplier, à côté des facteurs génétiques, il faut rappeler les facteurs écologiques (climat et terrain) et les facteurs cultureux (irrigation, fumure, matériel pour la mise en place, préparation du terrain, méthodes de mise en place). La production est la résultante de l'action exercée sur la plante par chaque facteur et par leur interaction.

Il est sûrement difficile d'établir le pourcentage d'accroissement attribuable à chacun des facteurs, mais il est très simple de constater que la production varie d'un clone à l'autre, d'un environnement à l'autre, et selon les techniques de culture adoptées.

La fertilité du sol a été définie comme "l'admirable disposition à produire"; la production obtenue exprime donc la fertilité du terrain qui l'a donnée.

La production d'un certain environnement peut changer avec le clone car les potentialités d'accroissement et les exigences des divers clones sont différentes. Avant de lancer un nouveau clone, il faut le cultiver dans des environnements différents pour étudier ses capacités d'adaptation aux diverses

conditions et la stabilité d'accroissement qui s'expriment à travers l'interaction entre génotype et environnement. Ces expériences permettent d'identifier les clones les plus plastiques, potentiellement indiqués à des conditions différentes, dits clones universels (I-214) et les clones qui interagissent avec l'environnement (ex. ERIDANO, BOCCALARI) qui doivent être utilisés comme clones locaux.

Vu qu'il existe une interaction entre génotype et environnement, pour évaluer la fertilité d'une station, au lieu d'utiliser la production d'un clone seulement, même s'il est le plus cultivé, il vaut mieux de considérer la production moyenne de tous les clones présents dans les plantations expérimentales polyclonales.

On a appliqué cette méthode dans l'examen des données de 25 peupleraies polyclonales dans la tentative d'évaluer l'influence des caractéristiques du terrain sur la production du bois.

Les 25 peupleraies ont été constitués dans 25 stations dans la Plaine du Pô. Une plantation a été constituée em Val de Chiana, en province de Arezzo.

Les productions moyennes exprimées en $m^3/ha/an$ de bois utilisable de chaque station varient d'environ $8 m^3$ (Palazzolo dello Stella) à environ $27 m^3$ (San Cipriano).

Dans la tentative de corréler la production aux caractéristiques du sol, on a divisé les peupleraies dans les trois classes de production suivantes:

$m^3 /ha/an$

< 15

15 à 20

> 20 (20-25)

et on a comparé entre eux les caractéristiques des terrains qui appartiennent à la même classe.

Dans la classe à plus basse fertilité, il y a 7 peupleraies ayant des productions moyennes d'environ 8 à environ $14 m^3/ha/an$.

Il s'agit de terrains ayant des textures très différentes: argileuse (Cona et Frassineto), franche (Palazzolo, Valmadonna, Camino) ou franche-sableuse (Valenza) et sableuse (Mantova).

Pendant les périodes pluvieuses, les terrain argileux (Cona et Frassineto) ont un drainage lent, comme les terrains francs (Palazzolo, Valmadonna), mais ils sont tous non arrosables et sujets à de longues périodes de sécheresse en été. L'alternance entre des conditions d'asphyxie (pendant les périodes plus pluvieuses du printemps et de l'automne) et des conditions de sécheresse crée des conditions très difficiles pour tous les clones. C'est une exception la station de Palazzolo où les précipitations sont bien distribuées et l'humidité du terrain probablement reste au-dessus du point de fanure même en été.

Dans ces conditions la différence entre les clones ressort et les clones qui supportent le mieux les conditions d'asphyxie se distinguent, surtout LUISA AVANZO et les autres de la série 'Pittori Veneti'.

Les clones se différencient entre eux aussi dans les stations

de Valmadonna (terrain typiquement agraire) et de Camino (terrain de fond de vallée), toutes les deux ayant de bonnes capacités de retenue de l'eau.

Dans les terrains avec des conditions d'asphyxie et de sécheresse ou de sécheresse seulement, la production est limitée pour tous les clones, y compris les clones ayant les potentialités de développement les plus élevées.

Dans les terrains qui ont des problèmes d'autre nature, par exemple excès de calcaire actif, les clones ayant des tolérances relativement plus élevées se distinguent.

La deuxième classe, de 15 à 20 m³/ha/an, comprend 7 peupleraies dont les productions effectives oscillent d'environ 17 à 20 m³/ha/an.

Les terrains des peupleraies ont une texture franche (Rosignano), franche-sableuse (Castellaro de Giorgi, Gambolo, Castellazzo Bormida et Revello) et sableuse (Cernago, Pomposa).

Ils n'ont pas de problème de drainage et la nappe est accessible pendant la saison de végétation, ayant une profondeur de m 1 (Castellaro de Giorgi, Gambolo) ou de m 1-1,50 (Cernago et Pomposa). Ces deux derniers terrains sont arrosables (régulation de la nappe à Pomposa).

Les terrains de Castellazzo Bormida et Revello (CN), dans des zones agricoles, sont arrosables et ont une bonne capacité de retenue de l'eau. Le terrain de Rosignano n'est pas arrosable, mais il est dans le fond de la vallée et reçoit l'eau d'écoulement des zones environnantes et a une bonne capacité hydrique.

Dans ces terrains assez profonds et qui ne sont pas sujets à de longues périodes de sécheresse, la production moyenne (de 17 à 20 m³/ha/an) est au limite de l'avantage économique. La production de chaque clone est significative à l'intérieur de chaque station et donc le choix du clone devient important. Par exemple, à Gambolo LUISA AVANZO et DVINA se distinguent, tandis que I-214 et BL COSTANZO sont au même niveau. A Cernago, c'est encore LUISA AVANZO et I-214 qui se distinguent, tandis que BL COSTANZO et PAN sont au même niveau.

A Pomposa (Valle Giralda) c'est SAN MARTINO qui se distingue, il n'est pas significativement différent de I-214, mais il est supérieur à 302-SAN-GIACOMO.

A Castellaro de Giorgi, c'est encore LUISA AVANZO qui se distingue de I-214, GATTONI et BL COSTANZO au même niveau.

La classe des terrains plus productifs comprend 10 peupleraies dont les terrains ont une texture limoneuse-argileuse (Castagnaro), sableuse-limoneuse (Torricella del Pizzo, San Cipriano), sableuse (Ariano, Valeggio, Abbiategrasso, Casale, Volania).

Il s'agit de terrains très profonds ayant de bonnes capacités de retenue de l'eau (Castagnaro, Tabellano), ayant nappe accessible et réglée par sub-irrigation (Ariano, Volania) ou ayant nappe naturellement assez constante (San Cipriano) ou bien arrosé par 2-3 irrigations par saison (Casale, Torricella) ou plus fréquemment, c'est-à-dire chaque semaine (Abbiategrasso).

La production moyenne de tous les clones présents oscille d'un minimum d'environ 22 m³/ha/an, dans les terrains sableux de Casale Monferrato arrosés avec des interventions de secours ou de toute façon non régulièrement, à un maximum de 27 à San Cipriano, terrain non irrigué, mais ayant une nappe disponible pendant toute la période végétative.

Dans ces conditions pédologiques, où il n'y a pas de facteurs limitants particuliers, les clones traditionnels (I-214, BL COSTANZO, PAN, BOCCALARI ADIGE) sont plus ou moins équivalents, tandis que quelques clones en puissance à accroissement plus rapide - comme LUISA AVANZO et SAN MARTINO, parmi les clones commerciales, et le DVINA, parmi les clones en étude - s'écartent nettement.

Cependant il faut remarquer que tandis que LUISA AVANZO est particulièrement sensible aux stress hydriques, SAN MARTINO et DVINA sont très résistants.

En bref, sur la bases des résultats obtenus, on peut affirmer qu'il est possible de mesurer à grands traits la fertilité potentielle des terrains, en considérant les caractéristiques physiques fondamentales, la profondeur du profil, la disponibilité en eau et les limites plus importantes (difficulté de drainage, excès de calcaire actif, etc.). La richesse en éléments nutritifs semble être moins importante. Sur le plan pratique, il vaut mieux d'éviter les terrains superficiels, argileux ayant des difficultés de drainage et sujets à sécheresse ou bien sableux mais ayant des disponibilités en eau insuffisantes. Il n'est pas profitable de cultiver le peuplier avec des méthodes intensives dans les terrains qui donnent des productions inférieures à 15 m³/ha/an.

Dans les terrains profonds, perméables, ayant des bonnes disponibilités en eau et sans aucune limitation particulière, ayant des productions potentielles supérieures à 17-18 m³/ha/an, on peut faire les considérations suivantes.

Pour ce qui concerne l'accroissement, en tant que rapidité et en tant que stabilité, les clones cultivés, commerciales (tab. 34) ou pas encore inclus dans le RNCF, peuvent être classifiés de la façon suivante:

- Rapidité:

- . très élevée: LUISA AVANZO, SAN MARTINO, et dans la phase juvénile aussi BL COSTANZO, PAN, CAPPÀ BIGLIONE;
- . élevée: I-214, LUX, BOCCALARI, GATTONI, ADIGE, STELLA OSTIGLIESE, 302-SAN GIACOMO, ERIDANO;
- . moyenne: TRIPLO, CAROLINA DI SANTENA, VILLAFRANCA;

- Stabilité:

- . très élevée: I-214, SAN MARTINO, LUISA AVANZO;
- . élevée: LUX, PAN, BL COSTANZO;
- . moyenne: BOCCALARI, GATTONI. 302-SAN GIACOMO, ADIGE, STELLA OSTIGLIESE;
- . basse: ERIDANO, 45/51.

Pour ce qui concerne la tolérance aux facteurs édaphiques négatifs, spécifiquement excès de calcaire actif, difficulté de drainage et basse capacité de retenue de l'eau, les mêmes clones peuvent être classifiés de la façon suivante:

- Excès de calcaire actif:

- . tolérance très élevée: SAN MARTINO, LUX, TRIPLO;
- . tolérance élevée: I-214, BOCCALARI, GATTONI, BRANAGESI, 302-SAN GAICOMO, ADIGE;
- . tolérance moyenne: LUISA AVANZO, CIMA;
- . tolérance basse: BL COSTANZO, PAN, CAPPÀ BIGLIONA;
- . tolérance très basse: ERIDANO, BELLINI.
- **Difficulté de drainage (excès d'eau):**
 - . tolérance élevée: LUISA AVANZO, CIMA;
 - . tolérance moyenne: I-214, BL COSTANZO, PAN, CAPPÀ BIGLIONA;
 - . tolérance basse: BOCCALARI, GATTONI, BRANAGESI, ERIDANO, VILLAFRANCA.
- **Basse capacité de retenue de l'eau (pénurie d'eau):**
 - . tolérance très élevée: LUX;
 - . tolérance élevée: SAN MARTINO, TRIPLO, VILLAFRANCA;
 - . tolérance moyenne: I-214, BL COSTANZO, PAN, BOCCALARI, ADIGE, GATTONI, STELLA OSTIGLIESE;
 - . tolérance basse: LUISA AVANZO, BELLINI.

CONCLUSIONS

Vu que la fertilité de la station joue un rôle déterminant dans la production, il est naturel qu'une très grande attention doit être donnée à l'étude des aspects nutritionnels dans le but d'acquérir toutes les connaissances nécessaires pour rationaliser l'emploi des engrais.

En populiculture aussi, la technique de la fumure doit sortir de l'empirisme pour atteindre un niveau de connaissances suffisant à évaluer soit les exigences réelles en éléments nutritifs de la plante pendant les différentes périodes de la révolution, soit les disponibilités du terrain.

Tout cela dans le but d'établir, sur la base de précises considérations économiques, les périodes et les modalités d'intervention, les quantités et les rapports entre les fertilisants, par rapport à la nature du terrain, aux conditions du climat, à la disponibilité en eau et aux exigences du clone.

Sur beaucoup de ces sujets, pendant les quinze derniers ans, on a fait des études importantes, sur des bases expérimentales très vastes, qui ont donné des résultats très utiles, au niveau pratique aussi; dans cette note, on s'est borné à illustrer brièvement quelques aspects de ces recherches. Avant tout, il faut rappeler que la distribution des éléments fertilisants dans le terrain ne comporte pas toujours une amélioration générale de l'état de nutrition des arbres ou une augmentation de la production. La diagnostique foliaire a démontré que par la fumure on peut augmenter assez fréquemment la teneur en azote des feuilles, moins fréquemment la teneur en potassium et très rarement la teneur en phosphore. Cette technique a montré aussi qu'il existe parfois une correspondance entre disponibilité en éléments nutritifs dans le sol et teneur de ces éléments dans les feuilles, mais il est bien plus difficile de trouver une corrélation nette entre teneur en éléments nutritifs dans les feuilles et production,

du moins, dans une certaine mesure et pour certains éléments (par ex. le phosphore).

Une donnée importante qui ressort de l'ensemble des expériences de fumure est que la réponse du peuplier aux apports des fertilisants varie selon les caractéristiques de l'environnement et passe des valeurs insignifiantes à des valeurs nettement positives, statistiquement probantes.

Par exemple, les essais faits en Lomellina sur des terrains sableux, ayant de bonnes disponibilités hydriques et réaction subacide, ont mis en évidence l'effet positif des fumures azotées et surtout des fumures azoto-phosphatées, aussi bien que l'effet dépressif de doses excessives d'azote (3 kg/ arbre de nitrate d'ammonium 26-27%). On est sûr que l'effet dépressif était dû à des doses excessives car il a suffi de fractionner les doses pour éviter le problème. Cependant, le fractionnement n'a pas apporté des améliorations significatives par rapport à moitié dose. L'effet du potassium est très modeste.

Ces informations, même si elles sont très claires, ne sont pas généralisables. En effet, des essais semblables, répétés dans des diverses peupleraies près de Casale, de Pavia, du Delta du Pô et dans d'autres terrains sableux, ayant des disponibilités hydriques très différentes pendant la saison de végétation, plutôt calcaires et ayant une réaction neutre à subalcaline, assez profonds, mais pauvres en substance organique et en éléments nutritifs, ont donné des résultats nuls ou fort modestes sur l'accroissement.

Par contre, avec la fumure azoto-phosphatée, on a obtenu des résultats positifs dans la zone près de Mantova et au Frioul dans des terrains assez légers, plutôt superficiels par rapport aux exigences du peuplier, placés sur des couches calcaires d'accumulation. Il est évident que dans l'interprétation des résultats de la fertilisation, il faut tenir compte non seulement des disponibilités d'éléments assimilables en pour-cent, mais aussi de la profondeur du terrain et du profil hydrique et nutritionnel pour les stimulations qu'ils peuvent donner au développement des racines absorbantes et pour la quantité des réserves.

Une donnée importante ressort de l'ensemble des essais effectués: ce sont toujours les plantes très jeunes qui donnent une réponse positive à l'apport de fertilisants. La fumure de production devrait donc commencer à la première année et se borner à la première moitié de la révolution, tandis qu'elle semble être beaucoup moins efficace pendant la seconde moitié de la révolution.

Cette donnée démontre que la distribution de la fumure ne doit pas être proportionnée à la production annuel de bois utilisable des arbres. L'accroissement courant en volume de bois utilisable est bien plus élevé dans les peupleraies d'âge moyen ou mûres que dans les peupleraies jeunes ou très jeunes, qui semblent être plus sensibles à la fumure. L'accroissement courant ne peut donc être considéré comme un paramètre valable pour établir la quantité d'engrais nécessaire correspondant aux besoins en éléments nutritifs des arbres.

Dans ce sens, l'accroissement annuel de la biomasse totale et

le rythme d'absorption sont sans aucune doute plus significatifs: ils sont plus difficiles à déterminer, mais ils correspondent mieux aux exigences réelles des arbres. Il est bien connu que la teneur en éléments plastiques (azote et phosphore) est beaucoup plus élevée dans les tissus jeunes que dans les tissus âgés et que la proportion de ces derniers augmente avec l'âge des arbres. Il est fort probable que l'absorption des éléments nutritifs, par rapport à la production de matière sèche, a un rythme bien plus élevé pendant la première moitié de la révolution que pendant la seconde.

Une contribution valable dans l'interprétation du phénomène pourrait dériver des études sur le développement des racines par rapport aux caractéristiques des différentes couches du profil du terrain et sur les relations entre intensité d'absorption des éléments nutritifs dans un volume de terrain donné et quantité de volume exploré par les racines. Le modèle de culture aussi joue un rôle important pour la fumure. Il suffit de penser aux associations avec des plantes herbacées aux exigences les plus diverses - une pratique assez répandue, surtout en Piémont -, à l'enfouissement des rameaux suite à la taille, à l'incorporation de la végétation spontanée qui dans le jeunes peupleraies peut représenter des volumes de biomasse remarquables.

Il ne faut pas oublier que la peupleraie occupe le même terrain pour dix ans, en moyenne, et que pendant cette période le sol n'est travaillé que dans les 10-15 premiers cm. Etant donné que les couches superficielles ne se mêlent pas avec les couches plus profondes, les horizons du profil tendent à se différencier.

D'ici la conviction que la fumure de fond doit enrichir en éléments nutritifs toutes les couches explorées par les racines, y compris les plus profondes. Il va sans dire que cette fumure doit être effectuée en même temps que les labourages profonds avant la mise en place; elle concernera surtout les engrais phosphatés et potassiques, vu que leur mobilité dans le terrain est inversement proportionnelle au pouvoir absorbant. Par contre, les composés azotés inorganiques réduits peuvent être distribués plus efficacement en surface parce qu'ils donnent origine, par oxydation, au ion nitrate qui, ayant une charge négative, se meut librement à travers le terrain et il est donc emporté plus rapidement vers le bas, dans la zone des racines.

Toutefois, on ne peut pas prétendre à exalter la fertilité du terrain dans toutes les conditions simplement par l'addition de fertilisants. Sur ce sujet, l'agronomie nous a appris bien des choses et il ne faut pas les oublier.

Il existe un autre moyen pour mieux exploiter les potentialités du terrain: c'est le choix du clone le plus indiqué aux conditions édaphiques données.

Et selon moi, le choix du clone juste est aussi important dans les terrains fertiles que dans les terrains ayant des limites de production. Les différences en production en sens absolu peuvent être bien plus importantes dans les premiers que dans les seconds.

BIBLIOGRAPHIE

- AIRD P.L., 1962 - Fertilization, weed control and the growth of poplar. For. Sci. VIII (4) 413-28.
- BARNEOUD C., BONDUELLE P., 1970 - Résultats d'essais de fertilisation du peuplier I-214 en France. AFOCEL. Comptendu d'activité 1969, 135-185.
- BARNEOUD C., BONDUELLE P., 1979 - La culture du peuplier. AFOCEL, Paris.
- BERNIER B., 1984 - Nutrient cycling in *Populus*: a literature review with implications in intensively-managed plantations. IEA/ENFOR, Canada.
- DURANTI G., GIULIMONDI G., 1980 - Ricerche sulla produttività di un pioppeto artificiale. III. Apporto al suolo di azoto e di elementi minerali con la lettiera ed il sottobosco erbaceo. Pubbl. Centro Sperim. Agric. Forest. XIII, 229-238.
- FRISON G., 1967 - Asportazioni minerali nel barbatellaio di pioppo. Cellulosa e Carta, XVIII (12) 10-24.
- FRISON G., 1968 - Asportazioni minerali nel vivaio di pioppo euramericani. Cellulosa e Carta, XIX (4) 27-36.
- FRISON G., 1969 - Asportazioni minerali nel pioppeto. Cellulosa e Carta, XX (6) 5-12.
- FRISON G., 1973 - Mineral fertilizing of poplar on deep, alluvial, sandy soil. Int. Symp. Forest Fertiliz. Paris, FAO/IUFRO/F/73/14, 8 pp.
- FRISON G., 1974 - Ricerche sulla concimazione del pioppo euramericano I-214 in vivaio. Cellulosa e Carta, XXV (7/8) 3-20.
- FRISON G., 1975 - Ritmo di assorbimento di elementi minerali nutritivi del pioppo in barbatellaio. Cellulosa e Carta XXVI (7/8) 25-43.
- FRISON G., 1975 - La concimazione del pioppeto. Terra e Vita (16) 22-23.
- FRISON G., 1976 - Influenza dei concimi minerali sull'accrescimento del pioppo. Cellulosa e Carta, XXVII (3) 3-20.
- FRISON G., 1976 - Dosi crescenti di pollina e sviluppo del pioppo in vaso. Cellulosa e Carta, XXVII (7/8) 37-44.
- FRISON G., 1976 - Results of poplar fertilization trials on sandy soils. Proc. IV Int. Colloquium on the Control of Plant Nutrition, Gent (Belgium) II, 377-390.
- FRISON G., 1978 - Risultati di cinque esperienze sulla concimazione minerale del pioppo. Cellulosa e Carta (29) 9-26.
- FRISON G., 1979 - Ricerche sulla nutrizione minerale del pioppo per mezzo della diagnostica fogliare (tecnica di campionamento). Cellulosa e Carta, (30) 5-32.
- FRISON G., ANSELMINI N., BOCCONE A., 1982 - Research on iron chlorosis of poplars. FAO Int. Poplar Commission, Casale Monferrato, Italy, 54 pp.
- FRISON G., 1984 - Sperimentazione pioppiccola attuata nel Delta padano (1964-1984). E.R.S.A., Bologna.

- FRISON G., 1984 - Scelta del clone e tecniche colturali in pioppicoltura. Quaderni C.I.P.A. n. 9, 1-57.
- FRISON G., 1986 - Prove di cura della clorosi ferrica del pioppo. Inftore agr., XLII (48) 65-72.
- FRISON G., 1992 - Possibilities of poplar cultivation in acid, saline and calcareous soil. C.I.P., Zaragoza, spt.
- FRISON G., 1987 - Recenti orientamenti sulla concimazione del pioppo nella Valle Padana. Riv. Econ. e Attual. C.C.I.A.A. Mantova (148) 41-58.
- GARBAYE J., 1972 - Influence de la date et de la hauteur du prélèvement sur les résultats de l'analyse foliaire chez deux clones de peuplier. Ann. Sci. For. XXIX (4) 451-463.
- GARBAYE J., LEROY Ph., 1974 - Fertilisation, desherbage chimique et travail du sol dans une plantation de I-214. Rev. Forest. Fr. XXVI (2) 139-145.
- GARBAYE J., 1979 - Sol et productivité des peupliers I-214 et ROBUSTA en populiculture traditionnelle dans le nord du bassin parisien. Ann. Sci. For. XXXVI (1) 39-58.
- GARBAYE J., 1980 - Nutrition minérale et production des peupliers ROBUSTA et I-214 en populiculture traditionnelle dans le nord du bassin parisien. Ann. Sci. For. XXXVII (2) 159-172.
- GIARDINI L., 1977 - Agronomia generale. Patron Editore, Bologna.
- GIULIMONDI G., 1966a - Contenuti minerali dei pioppi euramericani. Pubbl. Centro Sper. Agric. Forest. VIII, 194-214.
- GIULIMONDI G., 1966b - Ricerche sulla nutrizione minerale del pioppo a mezzo dell'analisi fogliare: variazioni dei contenuti minerali in prove di concimazione. Pubbl. Centro Sper. Agric. Forest. VIII, 39-54.
- GIULIMONDI G., 1968 - Effetti della lettiera di pioppo sul terreno. I. Ricerche in vaso sull'evoluzione del materiale di defogliazione. Pubbl. Centro Sper. Agric. Forest. X, 55-71.
- GIULIMONDI G., 1970 - Contenuti minerali delle pioppelle in vivaio. Pubbl. Centro Sper. Agric. Forest. XI, 63-74.
- GIULIMONDI G., DURANTI G., 1974 - Ritmo d'incremento in sostanza secca e di utilizzazione in elementi nutritivi del pioppo in vivaio durante il secondo anno. Cellulosa e Carta XXV (11) 3-20.
- LALATTA F., 1980 - La fertilizzazione nell'arboricoltura da frutto. Edagricole, Bologna.
- LEROY Ph., 1969a - La fertilisation du peuplier: connaissances acquises et difficultés d'application. Rev. Forest Fr. XXI (3) 163-182.
- LEROY Ph., 1969b - Résultats précoces d'essais de fertilisation du peuplier sur sols à gley dans la Neuse. Ann. Sci. forest. XXVI (3) 301-319.
- PIOLANTI G., 1974 - La concimazione chimica. Tecnica ed esperienze. Edagricole, Bologna.
- ROSSI MARCELLI A., DURANTI G., GIULIMONDI G., 1980 - Ricerche sulla produttività di un pioppeto artificiale. II. Produttività primaria netta del pioppeto. Pubbl. Centro Sper. Agric. For. XIII, 203-227.
- TOUZET G., HEINRICH J.C., 1970 - Concentrations foliaires en

- azote, phosphore, potassium et calcium du peuplier cv. I-214. AFOCEL, Rapport annuel 103-134.
- WHITE E.H., CARTER M.C., 1968 - Relationships between foliage nutrient levels and growth of young natural stands of *Populus deltoides* Bartr. p. 275-294. In: C.T. Youngberg and C.B. Dovey (eds.). Tree Growth and Forest Soils. Oregon State Univ. Press, Corvallis, OR.

Tab. 1 - Variations saisonnières des teneurs en N, P₂O₅ et K₂O (% de matière sèche) dans le bois et l'écorce des plants de peuplier

Dates des relevés	N (%)		P ₂ O ₅ (%)		K ₂ O (%)	
	Bois	Ecorce	Bois	Ecorce	Bois	Ecorce
3-5	3,287		1,470		1,875	
28-5	1,328	1,924	0,394	0,645	1,919	2,312
10-6	0,981	1,706	0,352	0,555	1,698	2,101
5-7	0,599	1,387	0,250	0,475	1,450	2,034
6-8	0,463	1,241	0,194	0,401	1,247	1,920
5-9	0,335	1,188	0,165	0,407	0,761	1,606
8-10	0,265	0,983	0,155	0,360	0,410	1,320
11-11	0,417	1,790	0,217	0,460	0,333	1,090
6-12	0,430	1,879	0,219	0,465	0,280	1,112

Tab. 5 - Variations de la teneur en N dans des différentes parties du plant pendant la première année de végétation en pépinière (% de matière sèche)

Partie du plant	Dates des relevés						
	4.5	28.5	13.7	6.8	4.9	9.10	13.11
Fût							
a) bois		1,003	0,593	0,523	0,370	0,286	0,541
b) écorce	2,460	1,896	1,219	1,431	1,324	1,213	1,908
Branches latérales	-	-	-	0,947	0,632	0,728	1,127
Feuilles							
I) présentes:							
a) du fût	4,802	3,587	3,350	3,547	3,136	3,293	2,055
b) des branches	-	-	-	3,154	3,310	3,070	1,836
II) tombées	-	1,870	1,339	1,650	1,714	2,046	2,027

Tab. 6 - Variations de la teneur en P_2O_5 dans des différentes parties du plant pendant la première année de végétation en pépinière (% de matière sèche)

Partie du plant	Dates des relevés						
	4.5	28.5	13.7	6.8	4.9	9.10	13.11
Fût							
a) bois		0,387	0,262	0,252	0,203	0,165	0,280
b) écorce	1,380	0,658	0,436	0,451	0,446	0,350	0,526
Branches latérales	-	-	-	0,456	0,339	0,293	0,394
Feuilles							
I) présentes:							
a) du fût	1,286	0,756	0,691	0,711	0,680	0,660	0,439
b) des branches	-	-	-	0,849	0,735	0,618	0,375
II) tombées	-	-	0,191	0,260	0,263	0,354	0,425

Tab. 7 - Variations de la teneur en K_2O dans des différentes parties du plant pendant la première année de végétation en pépinière (% de matière sèche)

Partie du plant	Dates des relevés						
	4.5	28.5	13.7	6.8	4.9	9.10	13.11
Fût							
a) bois		1,856	1,102	1,120	0,769	0,315	0,286
b) écorce	1,876	2,298	2,023	1,788	1,769	1,103	1,232
Branches latérales	-	-	-	1,783	1,299	0,793	0,836
Feuilles							
I) présentes:							
a) du fût	2,683	2,658	2,533	2,903	2,705	2,990	2,420
b) des branches	-	-	-	3,279	3,168	3,160	2,436
II) tombées	-	-	2,713	1,406	1,802	2,141	2,620

Tab. 8 - Variations de la teneur en N dans des différentes parties du plant pendant la deuxième année de végétation en pépinière (% de matière sèche)

Partie du plant	Dates des relevés									
	1.2	4.5	29.5	28.6	8.8	10.9	3.10	16.10	30.11	
Fût:										
Bois	2b (*)	0,400	0,331	0,256	0,197	0,154	0,152	0,258	0,199	0,240
	2a	0,654	0,493	0,417	0,329	0,184	0,182	0,220	0,229	0,235
	1a	-	-	-	0,508	0,213	0,220	0,253	0,291	0,288
	1b	-	-	-	-	0,314	0,514	0,402	0,427	0,490
Ecorce	2b	2,004	1,036	1,133	0,944	0,760	0,771	0,941	1,064	1,141
	2a	2,113	1,340	1,609	1,608	1,174	1,110	1,130	1,315	1,468
	1b	-	-	-	1,872	1,518	1,308	1,155	1,323	1,918
	1a	-	-	-	-	1,992	1,353	1,185	1,403	2,275
Branches latérales										
	2	-	0,578	0,866	-	-	0,502	-	-	0,974
	1	-	2,091	1,625	-	-	0,877	-	-	
Feuilles										
	a) présentes	-	4,261	3,730	3,651	-	-	2,718	2,721	-
	b) tombées	-	-	-	2,098	1,751	-	2,046	2,969	-

(*): 2 = partie de fût âgé de deux ans

1 = partie de fût âgé d'un an

a = partie basale

b = partie apicale

Tab. 9 - Variations de la teneur en P_2O_5 dans des différentes parties du plant pendant la deuxième année de végétation en pépinière (% de matière sèche)

Partie du plant	Dates des relevés								
	1.2	4.5	29.5	28.6	8.8	10.9	3.10	16.10	30.11
Fût:									
Bois 2b	0,215	0,175	0,146	0,141	0,095	0,072	0,152	0,130	0,139
2a	0,294	0,265	0,193	0,184	0,083	0,069	0,122	0,125	0,122
1b	-	-	-	0,304	0,098	0,096	0,126	0,147	0,149
1b	-	-	-	-	0,223	0,212	0,215	0,218	0,235
Ecorce 2b	0,423	0,262	0,359	0,316	0,234	0,275	0,317	0,287	0,318
2a	0,515	0,368	0,500	0,486	0,307	0,348	0,335	0,332	0,389
1b	-	-	-	0,546	0,336	0,369	0,336	0,336	0,490
1a	-	-	-	-	0,439	0,424	0,361	0,366	0,543
Branches latérales									
2	-	0,221	0,389	-	0,166	-	-	-	-
1	-	0,757	0,608	-	0,412	-	-	-	0,287
Feuilles									
a) présentes	-	1,089	0,775	0,741	-	-	0,637	0,521	-
b) tombées	-	-	-	0,320	0,207	-	0,422	0,296	-

Tab. 10 - Variations de la teneur en K_2O dans des différentes parties du plant pendant la deuxième année de végétation en pépinière (% de matière sèche)

Partie du plant	Dates des relevés								
	1.2	4.5	29.5	28.6	8.8	10.9	3.10	16.10	30.11
Fût:									
Bois 2b	0,172	0,671	0,473	0,502	0,419	0,297	0,401	0,260	0,183
2a	0,263	0,942	0,735	0,686	0,464	0,317	0,302	0,247	0,159
1b	-	-	-	0,686	0,486	0,374	0,369	0,321	0,177
1a	-	-	-	-	0,957	0,806	0,549	0,436	0,240
Ecorce 2b	1,104	1,044	1,394	1,491	1,235	1,468	1,406	1,421	1,162
2a	1,164	1,483	1,702	2,020	1,385	1,504	1,258	1,366	1,382
1b	-	-	-	2,120	1,441	1,204	1,030	1,132	1,391
1a	-	-	-	-	2,114	1,295	1,045	1,200	1,073
Branches latérales									
2	-	0,903	1,323	-	-	0,903	-	-	-
1	-	0,802	1,143	-	-	1,524	-	-	0,705
Feuilles									
a) présentes	-	3,311	3,050	2,850	-	-	2,978	3,117	-
b) tombées	-	-	-	2,607	2,400	-	0,802	2,500	-

Tab. 11 - Absorption et exportation de substances nutritives dans la pépinière de barbatelles et la pépinière de peuplier (clone I-214)

Paramètres	Pépinière de barbatelle		Pépinière (pendant les deux ans)
	normale (pendant un an)	coupée (pendant les deux ans)	
Matière sèche (q/ha)	196,70	435,83	318,63
Quantité absorbée (kg/ha)			
N	253,25	495,66	306,44
P ₂ O ₅	72,56	159,32	89,65
K ₂ O	188,62	402,47	268,97
CaO	260,61	599,87	442,61
Quantité exportée (kg/ha)*			
N	126,83	245,94	138,71
P ₂ O ₅	42,61	99,72	50,80
K ₂ O	82,33	179,31	108,01
CaO	120,17	285,53	183,45

(*) On considère que toutes les feuilles et une partie des racines restent dans le terrain.

Tab. 12 - Analyse physico-chimique des terrains prélevés le 10.8.1983 dans les pépinières des fermes Volpares (Palazzolo dello Stella, UD), Carpaneta (Gazzo Bigarello, MN), Fante (Migliaro, FE) e Scottine (Sarmato, PC)

Caractéristiques	Gazzo Bigarello	Palazzolo d. Stella	Migliaro	Sarmato
Granulométrie				
- sable grossier (2-0,2 mm) %	3,06	1,74	0,63	0,60
- sable fin (0,2-0,02 mm) %	53,38	23,99	8,79	44,78
Limon (0,02-0,002 mm) %	24,54	36,81	30,73	30,24
Argile (\leq 0,002 mm) %	19,01	37,48	59,86	24,39
Réaction en pH	7,92	8,05	8,05	8,11
Cap. Sc. Cat. meq/100 g	11,86	24,74	24,10	14,75
Carbone organique %	0,80	1,04	1,11	0,64
Humus (C x 1,723) %	1,38	1,87	1,91	1,10
N Kjeldhal %	0,10	0,15	0,16	0,10
C/N	7,83	7,40	6,88	6,25
P ₂ O ₅ ass. ppm	74,21	55,17	50,63	42,88
K ₂ O échang. ppm	667,54	228,54	402,50	1182,00
CaO échang. ppm	2271,38	5540,21	5185,50	2162,50
MgO échang. ppm	453,54	878,71	925,35	853,88
Na ₂ O échang. ppm	27,83	46,13	47,63	92,00
Manganèse ass. ppm	9,25	8,42	9,25	34,50
Fe 203 ppm	408,67	668,88	814,50	591,75
Sels solubles %	0,08	0,10	0,08	0,07
Calcaire total %	10,13	15,72	11,06	11,14
Calcaire actif %	1,92	6,39	6,79	2,76

Tab. 13 - Influence de la fumure minérale (NPK) sur le diamètre et sur la hauteur des plants de peuplier en pépinières dans quatre différentes localités de la Plaine du Pô (Sarmato-PC, Gazzo-MN, Palazzolo dello Stella-UD, Migliaro-FE)

Localité	Traitement	Diamètre en mm		Hauteur en mm fin 1ère année
		fin 1ère année	fin 2ème année	
Sarmato	Temoin	22,71	41,86	3,10
	Fumé	23,65	41,67	3,16
Gazzo	Temoin	23,56	39,63	3,31
	Fumé	24,50	40,74	3,41
Palazzolo dello Stella	Temoin	25,20	42,37	3,00
	Fumé	24,15	42,33	2,92
Migliaro	Temoin	23,15	43,16	3,09
	Fumè	22,98	42,20	2,98

Tab. 14 - Analyse chimique des feuilles prélevées le 10.8.1983 dans les pépinières des fermes Volpares (Palazzolo dello Stella, UD), Carpaneta (Gazzo Bigarello, MN), Fante (Migliaro, FE) e Scottine (Sarmato, PC)

Caractéristiques	Gazzo Bigarello		Palazzolo d. Stella		Sarmato		Migliaro	
	Temoin	Fumé	Temoin	Fumé	Temoin	Fumé	Temoin	Fumè
Teneur en eau								
Poids frais %	66,50	67,53	68,81	69,51	68,69	68,40	69,51	69,49
Poids sec %	198,59	208,13	221,52	228,02	219,45	216,46	228,07	228,05
Cendres %	6,94	6,64	6,62	6,67	7,05	7,07	6,91	6,92
Azote %	3,34	3,76	3,68	3,73	3,55	3,50	3,61	3,73
Phosphore %	0,25	0,25	0,26	0,29	0,29	0,28	0,27	0,24
Potassium %	1,67	1,51	1,05	1,28	1,76	1,79	1,54	1,36
Calcium %	1,57	1,54	1,58	1,76	1,46	1,52	1,45	1,33
Magnésium %	0,43	0,42	0,50	0,61	0,26	0,26	0,41	0,36
Sodium ppm	60,00	68,25	167,75	197,75	39,00	42,50	145,00	128,75
Fer ppm	88,25	90,50	94,25	117,25	85,00	85,00	111,25	101,50
Mn ppm	40,75	35,75	68,50	75,75	55,50	49,50	65,75	75,50
Zinc ppm	49,00	51,25	50,50	64,50	51,75	45,00	56,25	50,00
Cuivre ppm	7,00	7,50	5,50	7,70	8,00	7,50	8,00	7,50
Sr ppm	121,25	117,50	63,25	98,25	213,50	239,25	283,50	249,50
Cloro ppm	748,25	840,25	840,50	935,25	794,00	802,25	826,25	835,75

Tab. 15 - Analyse physico-chimique du terrain prélevé le 2.8.1982 dans la pépinière de Sarmato après traitement avec Sequestrene Fe (EDDHA NaFe) par voie radicale ou sans traitement

Caractéristiques	Placettes arrosées		Rangée non arrosée dans des placettes arrosées		Valeur de F
	sans Seques.	avec Seques.	sans Seques.	avec Seques.	
Squelette %	abs.	abs.	abs.	abs.	-
Granulométrie					
sable grossier (2-0,2 mm) %	2,10	1,98	2,15	1,78	1,60n.s.
sable fin (0,2-0,02 mm) %	18,80	19,02	18,00	19,22	1,43n.s.
limon (0,02-0,002 mm) %	37,15	36,80	38,50	37,25	0,97n.s.
argile (<0,002 mm) %	41,95	42,20	41,35	41,75	1,05n.s.
Reaction en pH	7,60	7,57	7,58	7,65	2,50n.s.
Carbone organique %	1,63	1,66	1,69	1,78	2,10n.s.
Humus (C x 1,724) %	3,35	3,38	3,41	3,51	2,10n.s.
Azote (N ₂) %	0,14	0,15	0,16	0,16	2,83n.s.
Phosphore ass. (P ₂ O ₅) p.p.m.	117,37	114,00	98,50	149,75	1,67n.s.
Potassium échang. (K ₂ O) p.p.m.	110,00	112,50	103,50	122,75	0,72n.s.
Calcium échang. (CaO) p.p.m.	6665	6630	6689	6546	0,79n.s.
Magnesium échang. (MgO) p.p.m.	568	565	554	543	0,54n.s.
Calcaire total %	10,41	10,11	9,15	9,88	1,77n.s.
Calcaire actif %	7,24	6,29	6,53	6,88	0,58n.s.
Fer ass. p.p.m.	63,06	63,06	61,25	59,13	0,46n.s.
Manganèse ass. p.p.m.	4,56	4,25	3,75	4,38	0,99n.s.
Cuivre ass. p.p.m.	1,46	1,35	1,35	1,35	1,61n.s.
Zinc ass. p.p.m.	1,10	1,12	1,10	1,25	0,71n.s.
Bore ass. p.p.m.	0,62	0,64	0,64	0,75	1,27n.s.
Molibdène ass. p.p.m.	0,14	0,23	0,18	0,16	1,16n.s.

n.s. = non significiant

Tab. 16 - Teneur en minéraux (% de la matière sèche) des feuilles prélevées le 2.8.1982 dans la pépinière de Sarmato après traitement avec Sequestrene Fe (EDDHA NaFe) par voie radicale ou sans traitement

Caractéristiques	Placettes arrosées		Rangée non arrosée dans des placettes arrosées		Valeur de F
	sans Seques.	avec Seques.	sans Seques.	avec Seques.	
Teneur en eau					
% poids frais	77,87	73,83	68,36	69,20	30,86**
% poids sec	357,31	283,90	216,16	224,88	19,65**
Cendres (% m.s.)	10,56	7,31	8,62	7,59	17,13**
Azote %	3,59	3,52	2,61	3,10	8,85**
Phosphore %	0,38	0,31	0,19	0,23	27,55**
Potassium %	2,03	1,42	1,72	1,45	6,06**
Calcium %	1,82	1,22	1,76	1,57	4,12*
Magnesium %	0,51	0,35	0,51	0,46	4,64*
Fer p.p.m.	96,87	142,62	84,25	106,00	22,22**
Manganèse p.p.m.	21,75	13,13	13,50	14,50	7,41**
Cuivre p.p.m.	6,30	6,03	6,58	4,15	3,44n.s.
Zinc p.p.m.	45,38	24,00	37,00	27,50	12,72**
Bore p.p.m.	39,25	32,25	35,50	25,00	1,70n.s.
Molibdène p.p.m.	0,19	0,29	0,16	0,38	1,05n.s.

n.s. = non significiant; * = significiant pour P=0,05; ** = significiant pour P=0,01

Tab. 17 - Influence du composé (fumier + sulfate ferreux) et des chélatés de fer sur l'accroissement en diamètre et en hauteur des plants de peuplier en pépinière

Traitement	1982		1983	
	Ø à m 0,50 (mm)	Hauteur totale (m)	Ø à m 1 (mm)	Hauteur totale (m)
1) Témoin	20,4 a	2,98 a	34,5 a	6,38 a
Fumier avec sulfate ferreux:				
2) a) avant mise en place	21,0 a	3,09 a	36,7 b	6,58 b
3) b) en juin	20,9 a	3,05 a	36,8 b	6,60 b
4) Chélatés pour voie radicale	19,2 a	2,93 a	33,7 a	6,28 a
5) Chélatés pour voie foliaire	19,0 a	2,95 a	33,6 a	6,27 a
Moyenne	20,1	3,00	35,07	6,42

Les différences entre les moyennes de la même colonne marquées par des lettres différentes sont significatives du point de vue statistique.

Tab. 18 - Analyse physicochimique des terrains qui ont fait l'objet des essais de fumure en pépinière

Caractéristiques	Station			
	Zibello	Grosseto	Palazzolo dello Stella	Campulongu
Squelette	abs.	-	abs.	abs.
Granulométrie				
Sable grossier (2-0,2 mm) %	1,47	{ 53,10	3,06	{ 63,46
Sable fin (0,2-0,02 mm) %	58,00		53,38	
Limon (0,02-0,002 mm) %	23,62	18,37	24,54	11,27
Argile (<0,002 mm) %	16,91	28,53	19,01	25,27
Réaction en pH	7,80	7,40	7,92	7,37
Calcaire total %	5,40	abs.	10,13	abs.
Calcaire actif %	1,28	-	1,92	abs.
Carbone organique %	0,59	0,59	0,80	0,69
Humus(C x 1,724) %	1,02	1,01	1,38	1,19
Azote (Kjeldahl) %	0,093	0,12	0,10	0,085
Rapport C/N	6,34	5,00	7,83	8,12
P ₂ O ₅ assimilable p.p.m.	42,00	41,00	74,21	88,00
C.S.C. m ² /100 g	15,12	14,12	11,86	24,28
K ₂ O échangeable p.p.m.	192	193	667	545
CaO échangeable p.p.m.	-	-	2271	2478
MgO échangeable p.p.m.	-	-	453	429
Conductibilité uS	-	-	196	70
Sels solubles %	-	-	0,07	0,04
Clorures %	-	-	abs.	abs.
Sulfates %	-	-	0,020	abs.

Tab. 19 - Zibello - Influence de la fumure organique, minérale et organico-minérale sur l'accroissement des plants de peuplier en pépinière (clone LUISA_AVANZO, espac. m 2,30 x (1 x 0,60))

Traitement	Données dendrométriques			
	Fin Ière saison vég. 1984 (F ₁ R ₁)		Fin IIème saison vég. 1985 (F ₂ R ₂)	
	Ø m 0,50 (mm)	h tot. (cm)	Ø m 1,00 (mm)	h tot. (cm)
1) Témoin	21,42	283,69	38,21	618,06
2) 4 q/ha de 11.22.16 + 1 q/ha d'urée (Ière et IIème année)	21,81	290,08	39,57	560,13
3) 550 q/ha fumier + 4 q/ha de 11.22.16 (Ière année)	21,82	308,15	39,23	629,04
4) 34 q/ha Italtollina + 4 q/ha de 11.22.16 (Ière année)	20,61	300,96	38,23	660,13
5) 34 q/ha Italtollina (Ière année)	22,21	304,06	40,39	645,43
6) 17 q/ha Italtollina + 2 q/ha de 11.12.16 (Ière et IIème année)	21,89	312,14	38,04	616,32
Moyenne générale	21,63	299,85	38,94	621,52
Valeur de F	0,45n.s.	1,45n.s.	0,52n.s.	0,26n.s.

n.s. = non significiant

Tab. 20 - Grosseto (Ferme Il Terzo) - Influence de la fumure organique, minérale et organico-minérale sur l'accroissement des plants de peuplier en pépinière (clone LUISA_AVANZO, espac. m 2,20 x (1 x 0,60))

Traitement	Données dendrométriques				
	8/7/1985 Hauteur totale (cm)	Fin Ière saison vég. 1985 (F ₁ R ₁)		Fin IIème saison vég. 1986 (F ₂ R ₂)	
		Ø m 0,50 (mm)	h tot. (cm)	Ø m 1.0 (mm)	h tot. (cm)
1) Témoin	93,85	22,25	265,25	40,10	624,59
2) 4 q/ha de 11.22.16 + 1 q/ha d'urée (Ière et IIème année)	95,83	23,58	282,81	40,83	619,02
3) 550 q/ha fumier + 4 q/ha de 11.12.16 (Ière année)	100,48	22,11	263,13	40,72	623,87
4) 34 q/ha Italpollina + 4 q/ha de 11.22.16 (Ière année)	104,45	23,38	272,50	41,18	620,90
5) 34 q/ha Italpollina (Ière année)	103,45	22,81	270,34	40,36	627,99
6) 17 q/ha Italpollina + 2 q/ha de 11.22.16 (Ière et IIème année)	96,93	21,95	259,26	39,85	605,30
Moyenne générale	99,17	22,68	268,88	40,51	620,28
Valeur de F	1,20n.s.	0,84n.s.	1,15n.s.	0,53n.s.	0,77n.s.

n.s. = non significiant

Tab. 21 - Palazzolo dello Stella (Ferme Volpares) - Influence de la fumure organique, minérale et organico-minérale sur l'accroissement des plants de peuplier en pépinière (clone LUISA_AVANZO, espac. m 2,20 x 0,60)

Traitement	Données dendrométriques					
	Fin Ière saison vég. 1985 (F ₁ R ₁)		Fin IIème saison vég. 1986 (F ₁ R ₂)		Fin IIIème saison vég. 1987 (F ₂ R ₃)	
	Ø m 0,50 (mm)	h tot. (cm)	Ø m 0,50 (mm)	h tot. (cm)	Ø m 1 (mm)	h tot. (cm)
1) Témoin	16,69	225,25	34,98	430,35	51,37	788,69
2) 4 q/ha de 11.22.16 + 1 q/ha d'urée (Ière et IIème année)	16,40	219,72	33,94	420,68	51,08	759,95
3) 550 q/ha fumier + 4 q/ha de 11.22.16 (Ière année)	16,22	208,58	34,96	419,50	50,99	774,12
4) 34 q/ha Itapollina + 4 q/ha de 11.22.16 (Ière année)	16,02	222,67	34,16	413,72	52,89	767,08
5) 34 q/ha Itapollina (Ière année)	15,61	215,00	31,91	389,22	48,69	737,71
6) 17 q/ha de Itapollina + 2 q/ha de 11.22.16 (Ière et IIème année)	16,80	230,63	35,49	427,22	51,02	781,68
Moyenne générale	16,29	220,31	34,24	416,78	51,01	768,21
Valeur de F	0,78n.s.	2,02n.s.	1,81n.s.	1,43n.s.	2,55n.s.	3,28+

n.s. = non significiant; + = significiant pour P=0,05

Tab. 22 - Oristano (Ferme Campulongu) - Influence de la fumure organique, minérale et organico-minérale sur l'accroissement des plants de peuplier en pépinière (clone LUISA_AVANZO, espac. m 2,20 (1 x 0,70))

Traitement	Données dendrométriques			
	Ière saison vég. Ø m 0,50 (mm)	h tot. (cm)	Fin IIème saison vég. Ø m 0,50 (mm)	h tot. (cm)
1) Témoin	24,94	313,11	40,72	552,04
2) 4 q/ha de 11.22.16 + 1 q/ha d'urée (Ière et IIème année)	24,06	315,85	40,40	545,35
3) 550 q/ha fumier + 4 q/ha de 11.22.16 (Ière année)	26,95	341,50	43,69	584,68
4) 34 q/ha Itaipollina + 4 q/ha de 11.22.16 (Ière année)	26,16	344,76	41,46	541,32
5) 34 q/ha Itaipollina (Ière année)	24,75	318,59	40,40	527,08
6) 17 q/ha Itaipollina + 2 q/ha de 11.22.16 (Ière et IIème année)	26,17	345,66	42,83	584,67
Moyenne générale	25,51	329,91	41,58	555,86
Valeur de F	1,06n.s.	1,05n.s.	1,37n.s.	0,80n.s.

n.s. = non significatif

Tab. 23 - Zibello - Influence de la fumure organique, minérale
et organico-minérale sur la teneur en minéraux des
feuilles prélevées le 23.7.1985

Traitement	Teneur en minéraux (% de la matière sèche)		
	N ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O
1) Témoin	3,44	0,458	1,97
2) 4 q/ha de 11.22.16 + 1 q/ha d'urée (Ière et IIème année)	3,68	0,477	2,04
3) 550 q/ha fumier + 4 q/ha de 11.22.16 (Ière année)	3,36	0,444	1,98
4) 34 q/ha Italpollina + 4 q/ha de 11.22.16 (Ière année)	3,57	0,471	2,04
5) 34 q/ha Italpollina (Ière année)	3,54	0,442	1,89
6) 17 q/ha Italpollina + 2 q/ha de 11.22.16 (Ière et IIème année)	3,26	0,432	1,96
Moyenne générale	3,47	0,454	1,98
Valeur de F	1,68n.s.	0,77n.s.	0,12n.s.

n.s. = non significiant

Tab. 24 - Grosseto (Ferme Il Terzo) - Influence de la fumure organique, minérale et organico-minérale sur la teneur en minéraux des feuilles prélevées le 27 juillet 1986

Traitement	Teneur en minéraux (% de la matière sèche)					
	Cendres	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1) Témoin	7,40	3,05	0,607	1,57	2,10	0,635
2) 4 q/ha de 11.22.16 + 1 q/ha d'urée (Ière et IIème année)	7,50	3,20	0,554	1,70	2,21	0,683
3) 550 q/ha fumier + 4 q/ha de 11.12.16 (Ière année)	7,82	3,05	0,600	1,71	2,27	0,608
4) 34 q/ha Italtollina + 4 q/ha de 11.22.16 (Ière année)	7,75	3,31	0,573	1,64	2,27	0,638
5) 34 q/ha Italtollina (Ière année)	7,42	3,09	0,543	1,59	2,28	0,630
6) 17 q/ha Italtollina + 2 q/ha de 11.22.16 (Ière et IIème année)	7,58	3,21	0,568	1,72	2,28	0,626
Moyenne générale	7,58	3,15	0,575	1,65	2,24	0,637
Valeur de F	1,35n.s.	1,49n.s.	2,02n.s.	1,11n.s.	1,16n.s.	0,267n.s.

n.s. = non significiant

Tab. 25 - Casale Monferrato (AL) - Influence de la micro-irrigation et de la micro-irrigation fertilisante sur la croissance des plants en pépinière: données observées au début du mois d'août de la première année et à la fin des deux saisons de végétation

Thèse	4.8.86		1 9 8 6		1 9 8 7	
	Hauteur totale (cm)	Diamètre à m 0,5 (mm)	Hauteur totale (cm)	Diamètre à m 1,0 (mm)	Hauteur totale (cm)	
Témoin	226,83	33,20	361,67	54,62	862,55	
Témoin fumé	227,61	32,73	363,00	54,21	870,75	
Irrigation goutte à goutte	239,89	34,26	357,64	55,58	868,14	
Irr. goutte à goutte+fumure	243,39	34,64	356,43	56,11	867,32	
Irrigation "Viaflo"	245,88	34,92	365,88	56,83	875,28	
Irr. "Viaflo"+fumure	242,29	35,61	365,49	57,43	883,17	
Moyenne générale	237,64	34,23	361,68	55,79	871,20	
Moyennes irrigation:						
témoin	227,22	32,96	362,33	54,41	866,65	
irr. goutte à goutte	241,64	34,45	357,04	55,84	867,73	
irr. "Viaflo"	244,08	35,26	365,68	57,13	879,22	
Moyennes fumure:						
non fumé	237,53	34,13	361,73	55,67	868,66	
fumé	237,76	34,33	361,64	55,91	883,17	
Valeurs de F:						
Irrigation (I)	10,25+	5,91+	1,08n.s.	2,70n.s.	0,21n.s.	
Fumure (C)	0,01n.s.	0,66n.s.	0,00n.s.	0,45n.s.	0,70n.s.	
Interaction (I x C)	0,66n.s.	0,20n.s.	0,02n.s.	0,88n.s.	0,24n.s.	

+ : signifiant pour P = 0,05

++: signifiant pour P = 0,01

n.s.: non signifiant

Tab. 26 - Casale Monferrato (AL) - Influence de la micro-irrigation et de la micro-irrigation fertilisante sur les teneurs en minéraux des feuilles en pépinière (% de la matière sèche)

Thèse	Echantillons prélevés le 15.9.1986				Echantillons prélevés le 5.8.1987		
	Cendres	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Témoin							
sans fumure	7,13	4,37	0,424	2,50	3,67	0,625	2,57
avec fumure	7,05	4,42	0,440	2,38	3,95	0,665	2,69
Irrigation goutte à goutte							
sans fumure	7,28	4,44	0,467	2,55	3,83	0,734	2,96
avec fumure	7,35	4,49	0,486	2,40	3,99	0,692	2,91
Irrigation "Viaflo"							
sans fumure	7,18	4,40	0,497	2,43	4,00	0,699	2,80
avec fumure	7,28	4,52	0,500	2,53	4,14	0,717	2,81
Moyenne générale							
	7,21	4,42	0,468	2,46	3,93	0,689	2,79
Moyenne irrigation							
Témoin	7,09	4,39	0,437	2,44	3,81	0,645	2,63
Irr. goutte à goutte	7,31	4,46	0,477	2,48	3,91	0,713	2,93
Irr. "Viaflo"	7,23	4,46	0,497	2,48	4,07	0,708	2,80
Moyenne fumure							
sans fumure	7,19	4,40	0,479	2,49	3,83	0,686	2,77
avec fumure	7,23	4,47	0,474	2,43	4,03	0,691	2,80
Valeurs de F:							
Irrigation (I)	2,10n.s.	1,23n.s.	5,82+	0,18n.s.	1,65n.s.	0,81n.s.	7,26+
Fumure (C)	0,46n.s.	2,14n.s.	0,27n.s.	2,67n.s.	25,70++	0,10n.s.	0,11n.s.
Interaction (I x C)	0,42n.s.	0,21n.s.	0,04n.s.	4,96+	1,22n.s.	1,99n.s.	0,43n.s.

n.s. = non significiant; + = significiant pour P=0,05; ++ = significiant pour P=0,01

Tab. 27 - Passo di Treia (MC) - Influence de la micro-irrigation et de la micro-irrigation fertilisante sur la croissance des plants en pépinière: données observées à la fin des deux saisons de végétation

Thèse	1 9 8 6		1 9 8 7	
	Diamètre à m 0,5 (mm)	Hauteur totale (cm)	Diamètre à m 1,0 (mm)	Hauteur totale (cm)
Témoin	26,85	344,75	42,60	561,45
Témoin fumé	26,75	339,56	43,24	562,23
Irrigation goutte à goutte	27,48	377,02	48,44	652,15
Irr. goutte à goutte+fumure	27,47	366,68	47,89	643,07
Irrigation "Viaflo"	24,27	335,07	47,15	678,28
Irrigation "Viaflo"+fumure	28,07	366,51	48,44	610,58
Moyenne générale	26,81	354,93	46,29	617,99
Moyennes irrigation:				
témoin	26,80	342,16	42,92	561,84
irr. goutte à goutte	27,47	371,85	48,17	647,61
irr. "Viaflo"	26,17	350,79	47,80	644,53
Moyennes fumure:				
non fumé	26,20	352,28	46,06	630,69
fumé	27,43	357,58	46,52	605,29
Valeurs de F:				
Irrigation (I)	1,54n.s.	6,00+	47,72++	15,13++
Fumure (C)	1,63n.s.	0,19n.s.	0,25n.s.	2,20n.s.
Interaction (I x C)	1,78n.s.	1,17n.s.	0,34n.s.	1,56n.s.

+ : significiant pour P = 0,05

++: significiant pour P = 0,01

n.s.: non significiant

Tab. 28 - Passo di Treia (MC) - Influence de la micro-irrigation et de la micro-irrigation fertilisante sur les teneurs en minéraux des feuilles (% de la matière sèche)

Thèse	Echantillons prélevés le 14.9.1986			
	Cendres	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Témoin				
sans fumure	7,70	4,06	0,59	2,10
avec fumure	8,10	3,95	0,55	2,08
Irrigation goutte à goutte				
sans fumure	7,75	4,17	0,65	2,08
avec fumure	7,73	4,21	0,63	2,13
Irrigation "Viaflo"				
sans fumure	7,45	3,94	0,60	2,05
avec fumure	7,90	4,11	0,73	2,10
Moyenne générale				
	7,77	4,05	0,62	2,09
Moyenne irrigation				
Témoin	7,90	4,00	0,57	2,09
Irrigation goutte à goutte	7,74	4,19	0,64	2,10
Irrigation "Viaflo"	7,68	4,02	0,66	2,08
Moyenne fumure				
sans fumure	7,63	4,05	0,61	2,08
avec fumure	7,91	4,09	0,64	2,10
Valeurs de F:				
Irrigation (I)	1,37n.s.	0,24n.s.	8,52+	0,15n.s.
Fumure (C)	4,30n.s.	0,07n.s.	0,52n.s.	0,25n.s.
Interaction (I x C)	1,29n.s.	0,39n.s.	3,22n.s.	0,25n.s.

n.s. = non significiant; + = significiant pour P=0,05

Tab. 29 - Variations de la teneur en éléments nutritifs des feuilles de peuplier par rapport au clone dans la peupleraie de Casale Monferrato (AL)

Clone	Eléments nutritifs (% de la matière sèche)				
	N ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
I-214	2,860	5,028	1,772	1,635	0,195
Eridano	2,528	4,667	2,105	1,525	0,162
Pan	2,990	4,277	2,007	1,467	0,233
L. Avanzo	2,907	4,448	1,660	1,293	0,210
BL Costanzo	3,030	4,352	1,877	1,498	0,220
Boccalari	2,967	4,150	1,852	1,463	0,133
Moyenne	2,880	4,487	1,879	1,480	0,192
Valeur de F	6,04**	2,54*	9,15**	9,39**	11,58**

* = signifiant pour P=0,05; ** = signifiant pour P=0,01

Tab. 30 - Variation de la teneur en éléments nutritifs des feuilles de peuplier par rapport au clone dans la peupleraie de Torricella del Pizzo (CR)

Clone	Eléments nutritifs (% de la matière sèche)				
	N ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
I-214	2,903	0,450	1,587	2,188	0,265
Eridano	2,137	0,388	2,040	1,632	0,189
Pan	2,628	0,409	1,783	1,817	0,257
L. Avanzo	2,750	0,465	1,353	1,578	0,254
BL-Costanzo	2,650	0,400	1,577	1,768	0,287
Boccalari	2,707	0,404	1,572	1,951	0,184
Moyenne	2,629	0,419	1,652	1,822	0,239
Valeur de F	23,64**	10,30**	62,92**	40,16**	6,61**

** = significatif pour P=0,01

Tab. 31 - Analyse physico-chimique des terrains dans les plantations de Casale Monferrato et de Torricella del Pizzo où on a prélevé les échantillons de feuilles (voir tab. 29 et tab. 30)

Caractéristiques	Station			Valeur de F
	Casale Monf.	Torricella del Pizzo	Moyenne	
Granulométrie				
Squelette %	0	0	0	-
Texture				
Sable grossier (2-0,2 mm) %	22,70	7,37	15,04	11,48*
Sable fin (0,2-0,02 mm) %	61,72	59,53	60,62	0,56n.s.
Limon (0,02-0,002 mm) %	10,75	21,17	15,96	36,81**
Argile (<0,002 mm) %	4,83	11,93	8,37	76,96**
Réaction en pH	8,07	8,10	8,09	1,00n.s.
Calcaire total %	5,37	11,17	8,27	35,72**
Calcaire actif %	1,16	2,36	1,74	7,85n.s.
Carbone organique %	0,55	0,66	0,61	2,73n.s.
Humus (Cx1,724) %	0,94	1,15	1,04	2,58n.s.
Azote %	0,062	0,075	0,069	0,90n.s.
C/N	9	9	9	0 n.s.
Conductibilité uS	121,75	138,75	130,25	6,40n.s.
Sels solubles %	0,035	0,040	0,037	3,0 n.s.
P ₂ O ₅ assimilable (p.p.m.)	21,25	15,25	18,25	9,82*
C ²⁵ S ¹³ C maq/100 g	9,27	13,82	11,55	62,20**
K ₂ O échangeable (p.p.m.)	66,75	146,75	106,75	9,58*
Na ₂ O " (p.p.m.)	26,5	27,2	26,9	0,13n.s.
CaO " (p.p.m.)	2319,25	3410,50	2864,87	36,83**
MgO " (p.p.m.)	156,00	254,00	205,00	5,18n.s.
Oxydes de fer libres	3370,0	4246,25	3808,12	6,87n.s.
Mn assimilable (p.p.m.)	25,5	22,2	23,9	3,27n.s.

n.s. = non significiant; * = significiant pour P=0,05; ** = significiant pour P=0,01

Tab. 32 - Teneur en N, P₂O₅ et K₂O (% de matière sèche) dans le fût et les branches des peupliers cultivés en taillis à haute densité (m 1,30 x 0,20) sur du terrain fumé et sur du terrain appauvri et pas fumé (voir fig. 24)

Elément nutritif	Champ	An				
		1969	1970	1971	1972	1973
N	Fumé	0,731	0,706	0,686	0,728	0,709
	Appauvrie	0,696	0,666	0,679	0,669	0,654
	Valeur de F	1,82 n.s.	3,33 n.s.	0,08 n.s.	8,78 +	10,71 +
P ₂ O ₅	Fumé	0,249	0,246	0,246	0,246	0,250
	Appauvrie	0,259	0,261	0,268	0,262	0,292
	Valeur de F	3,66 n.s.	2,95 n.s.	12,09 ++	5,83 +	22,50 ++
K ₂ O	Fumé	0,664	0,634	0,664	0,728	0,711
	Appauvrie	0,638	0,633	0,705	0,709	0,659
	Valeur de F	1,55 n.s.	0,18 n.s.	3,36 n.s.	0,33 n.s.	0,93 n.s.

n.s. = non significatif

+ = significatif pour P = 0,05

++ = significatif pour P = 0,01

Tab. 33 - Dates de distribution, types de fumure et doses appliquées (Kg/arbre)

	Nitrate d'ammonium 26-27%		Perphosphate minérale 19-21%	Superphosphate triple 46-48%	Sulfate potassique 50-52%
	dose 1+1	dose 2			
10.5.1979	1,000	2,000	1,000	-	0,500
18.6.1979	1,000	-	-	-	-
15.4.1980	1,000	2,000	-	1,000	0,500
18.6.1980	1,000	-	-	-	-
12.5.1981	1,500	3,000	-	1,000	0,750
09.6.1981	1,500	-	-	-	-
11.5.1982	1,500	3,000	-	1,000	0,750
25.6.1982	1,500	-	-	-	-

Pour la dose 1 de N, les valeurs indiquées pour la première date de chaque année de la dose 1+1 restent valables

La distribution des engrais a été faite par épandage manuel autour de l'arbre dans un rayon de m 1,50 à la première année, de 2 m à la deuxième et sur toute la superficie à la troisième et à la quatrième

CLONES DE PEUPLIER INCLUS DANS LE REGISTRE NATIONAL DES CLONES FORESTIERS

		Décret ministériel
1. I-214 (*)	<i>P.x euramericana</i>	17.11.75 J.O.324 - 09.12.75
2. I-262 (*)	<i>P.x euramericana</i>	" " "
3. I-455 (*)	<i>P.x euramericana</i>	" " "
4. I-154 (*)	<i>P.x euramericana</i>	" " "
5. I-45/51 (*)	<i>P.x euramericana</i>	" " "
6. HARVARD (*)	<i>P.deltoides</i>	" " "
7. LUX (*)	<i>P.deltoides</i>	" " "
8. SAN MARTINO (*)	<i>P.x euramericana</i>	" " "
9. ONDA (*)	<i>P.deltoides</i>	" " "
10. TRIPLO (*)	<i>P.x euramericana</i>	" " "
11. BOCCALARI	<i>P.x euramericana</i>	" " "
12. BL Costanzo	<i>P.x euramericana</i>	" " "
13. GATTONI	<i>P.x euramericana</i>	" " "
14. CAPPÀ BIGLIONA	<i>P.x euramericana</i>	" " "
15. BRANAGESI	<i>P.x euramericana</i>	" " "
16. PAN	<i>P.x euramericana</i>	24.07.78 J.O.218 - 05.08.78
17. 302 SAN GIACOMO	<i>P.x euramericana</i>	07.10.80 J.O.297 - 29.10.80
18. LUISA AVANZO (**)	<i>P.x euramericana</i>	30.09.80 J.O.299 - 30.10.80
19. CIMA (**)	<i>P.x euramericana</i>	" " "
20. GUARDI (**)	<i>P.x euramericana</i>	" " "
21. CARPACCIO (**)	<i>P.x euramericana</i>	" " "
22. BELLINI (**)	<i>P.x euramericana</i>	" " "
23. JEAN POURTET (**)	<i>P.nigra</i>	" " "
24. ADIGE	<i>P.x euramericana</i>	05.06.86 J.O.136 - 14.06.86
25. STELLA OSTIGLIESE	<i>P.x euramericana</i>	" " "
26. VILAFRANCA (*)	<i>P.alba</i>	08.02.91 J.O. 44 - 21.02.91
27. ERIDANO (*)	<i>P.deltoides x P.maximowiczii</i>	" " "

(*) clones sélectionnés par ISP

(**) clones sélectionnés par CSAF et brevetés

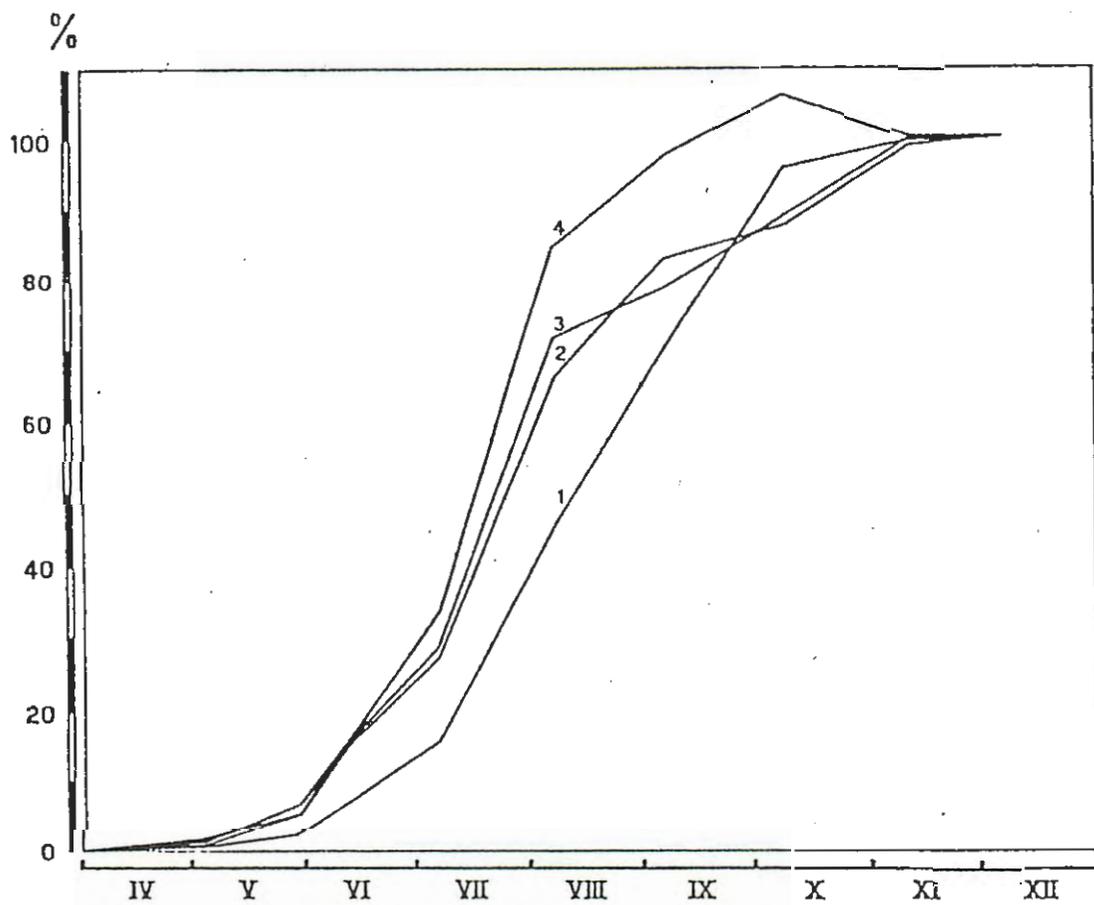


Fig. 1

Accumulation de matière sèche, de N, de P₂O₅ et de K₂O, en pour-cent du total, dans des barbatelles de peuplier²⁵ (racines exceptées) pendant la période de végétation 1968: courbe 1: matière sèche; courbe 2: P₂O₅; courbe 3: N; courbe 4: K₂O.

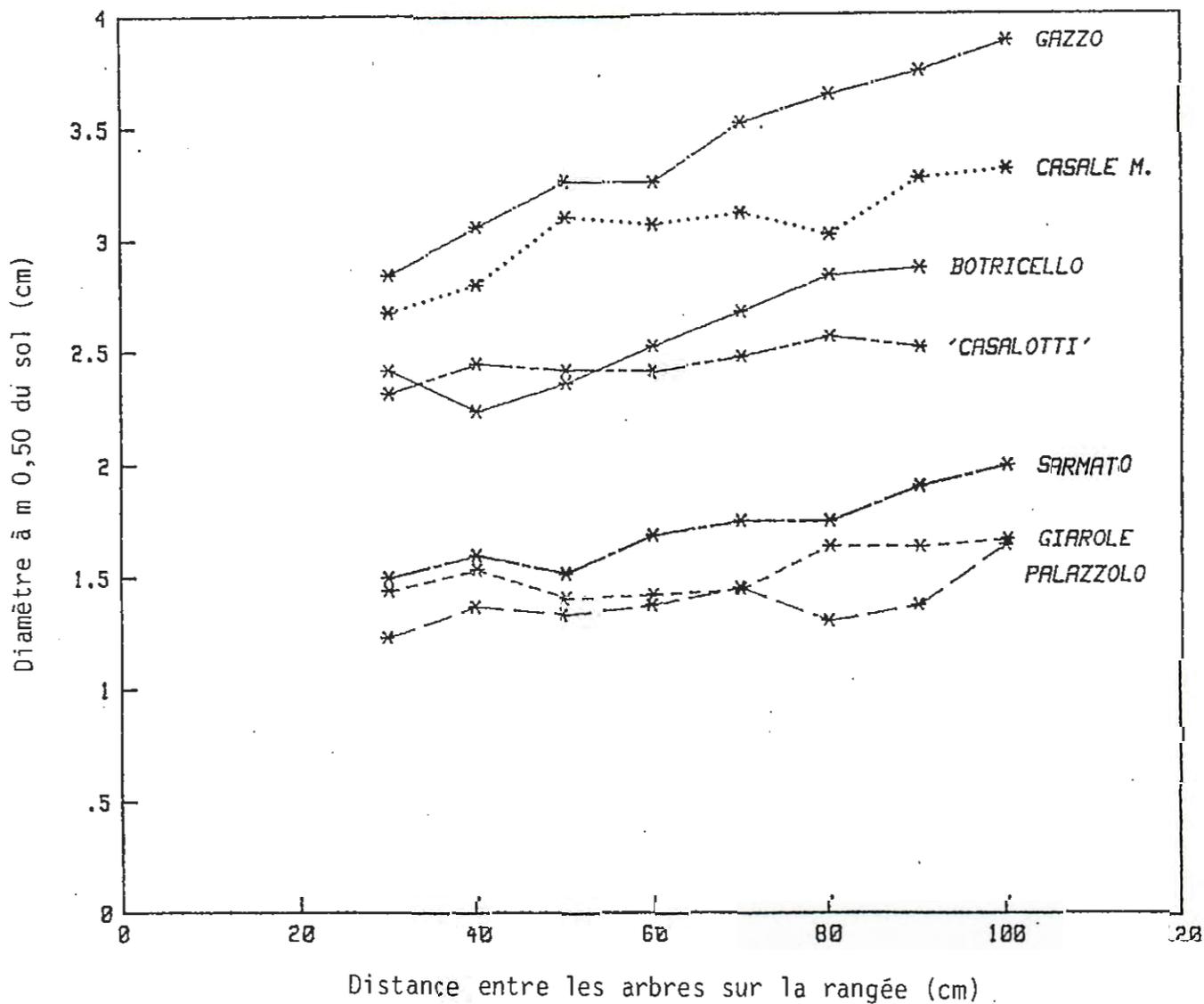


Fig. 2

Variations de l'accroissement en diamètre (à m 0,50 du sol) des plants de peuplier âgés d'un an (F_1R_1) du clone LUISA AVANZO par rapport à la distance sur la rangée (distance entre les rangées m 2,20) et à la fertilité de la station.

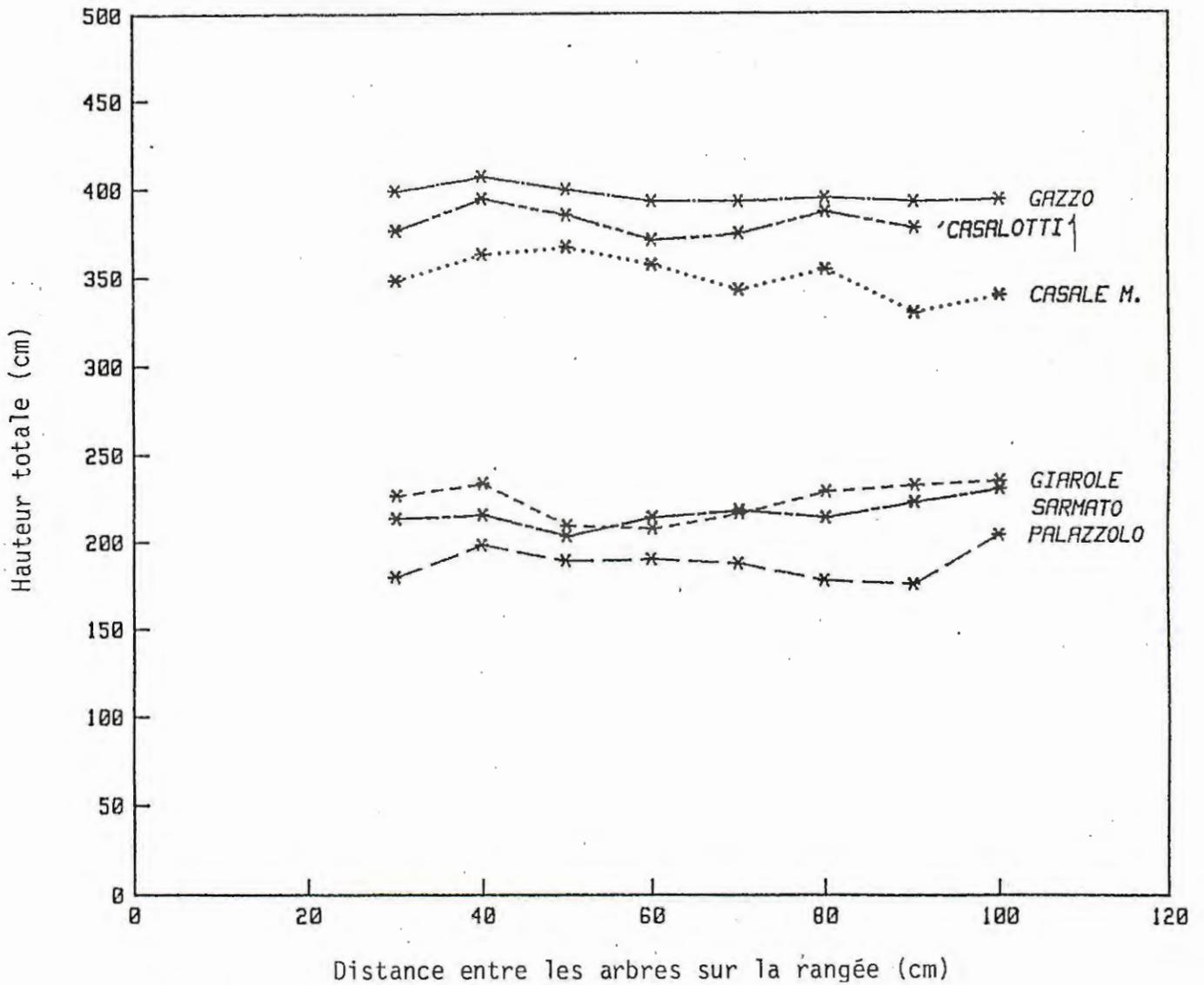


Fig. 3
 Variations de l'accroissement en hauteur des plants de peuplier âgés d'un an (F_1R_1) du clone LUISA_AVANZO par rapport à la distance sur la rangée (distance entre les rangées m 2,20) et à la fertilité de la station

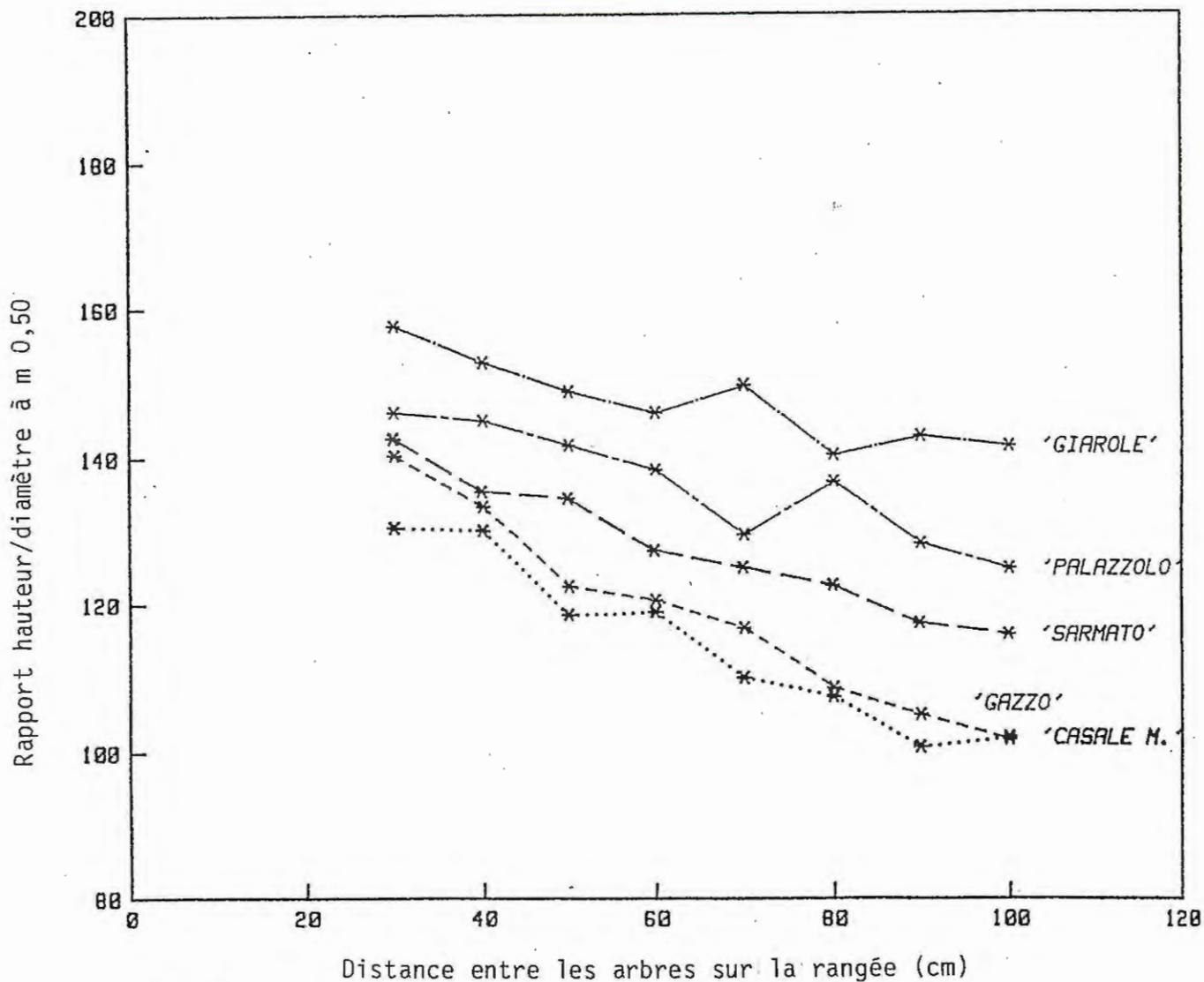


Fig. 4
 Variations du rapport h/d des plants de peuplier âgés d'un an (F_1R_1) du clone LUISA AVANZO par rapport à la distance sur la rangée (distance entre les rangées m 2,20) et à la fertilité de la station.

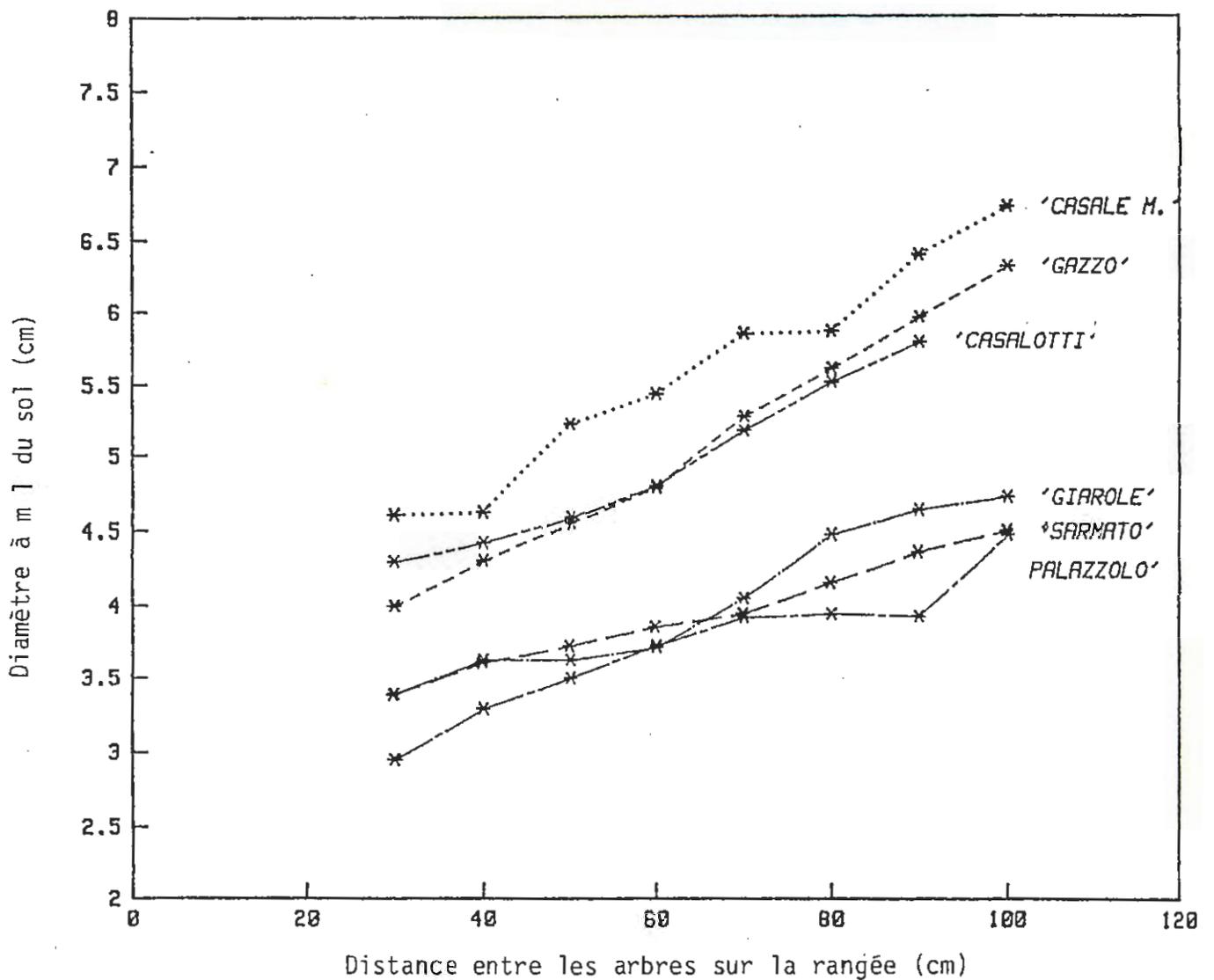


Fig. 5
 Variations de l'accroissement en diamètre (à m 1 du sol) des plants de peuplier âgés de deux ans ($F_{2,2}$) du clone LUISA AVANZO par rapport à la distance sur la rangée (distance entre les rangées m 2,20) et à la fertilité de la station.

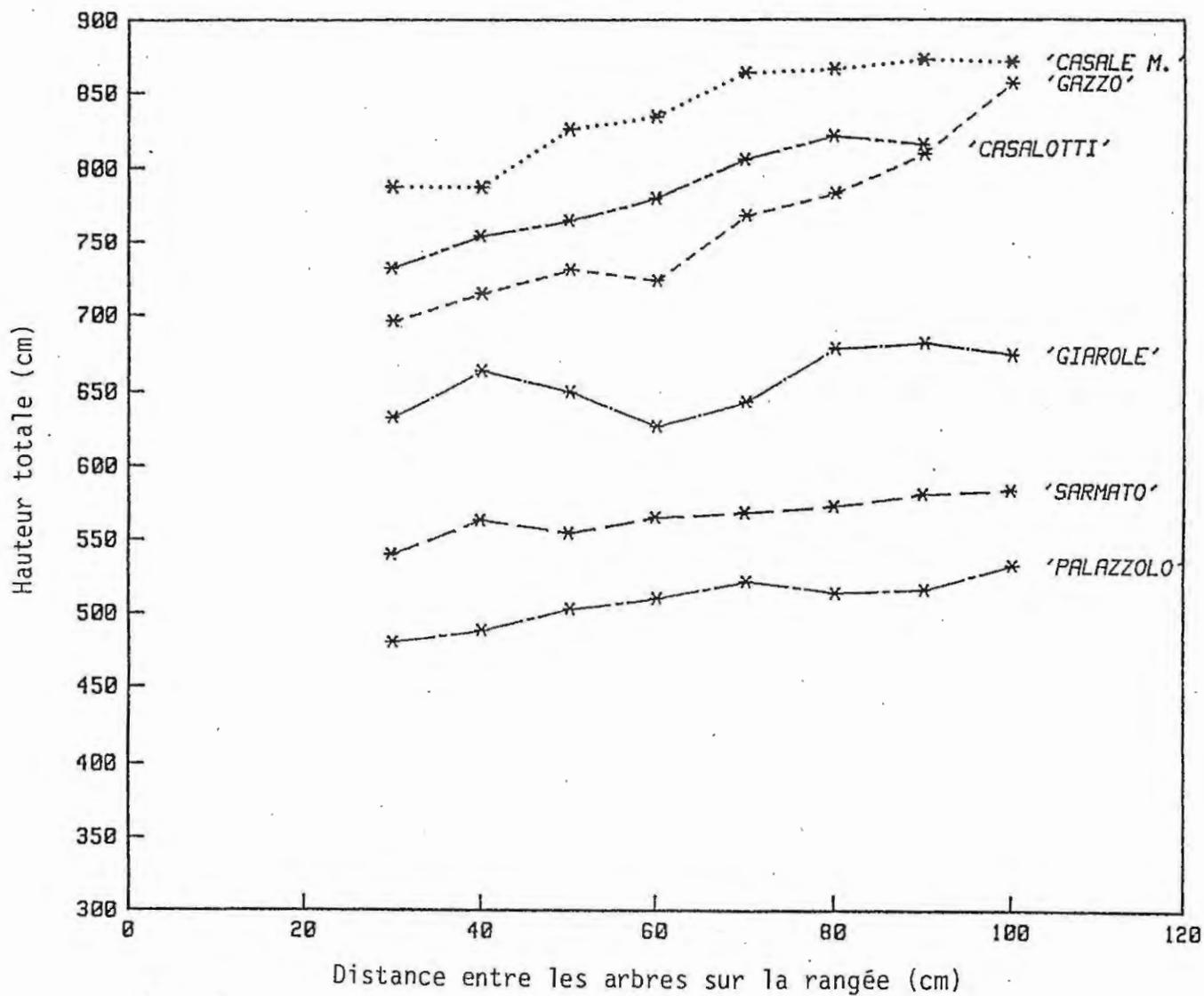


Fig. 6
 Variations de l'accroissement en hauteur des plants de peuplier âgés de deux ans (F_1, R_2) du clone LUISA AVANZO par rapport à la distance sur la rangée (distance entre les rangées m 2,20) et à la fertilité de la station.

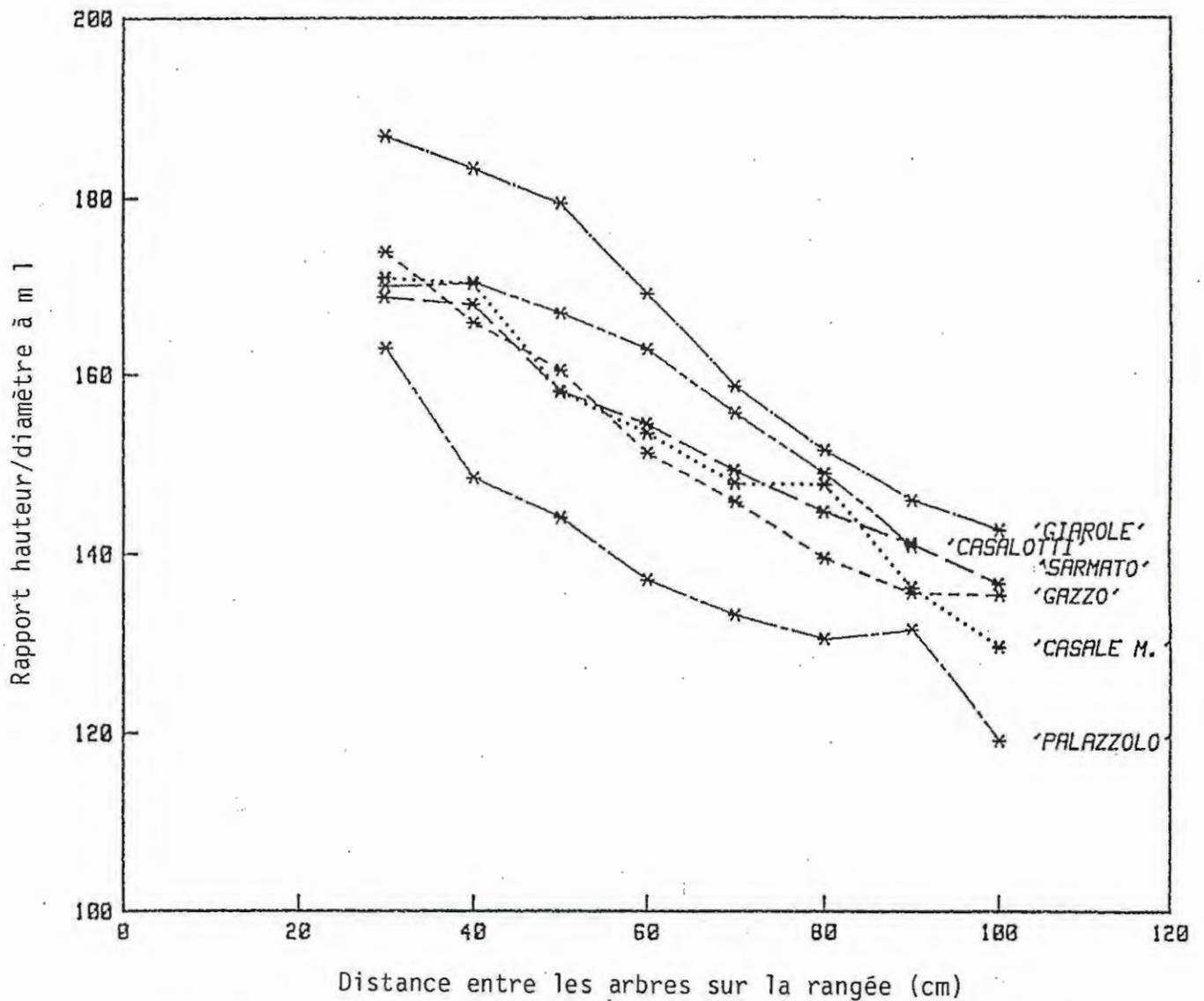


Fig. 7
 Variations du rapport h/d des plants de peuplier âgés de deux ans (F₂R₂) du clone LUISA_AVANZO par rapport à la distance sur la rangée (distance entre les rangées m 2,20) et à la fertilité de la station.

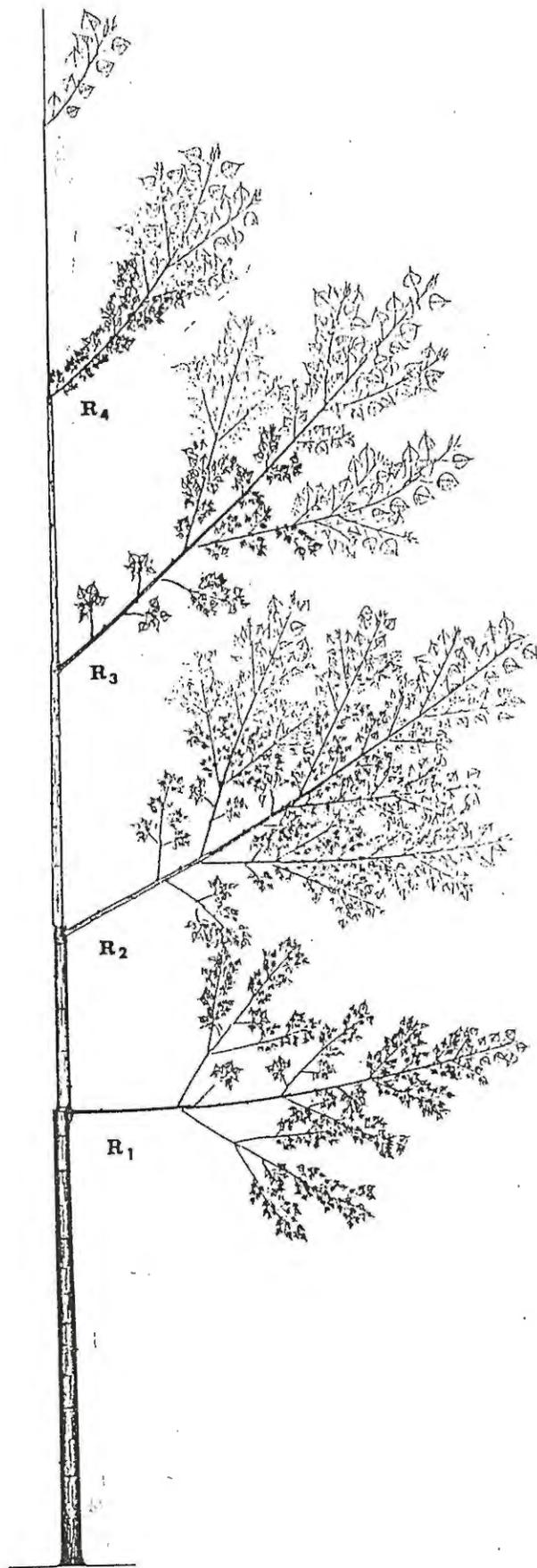


Fig. 8

Modèle de ramification du peuplier (clone I-214) au début de la cinquième saison de végétation après la mise en place, effectuée en utilisant des plants âgés de deux ans. En gris clair, les feuilles sur les macroblastes; en gris foncé, les feuilles sur les brachyblastes. Notez l'abondance de brachyblastes sur les branches R_1 et R_2 et de macroblastes sur les branches R_3 et R_4 .

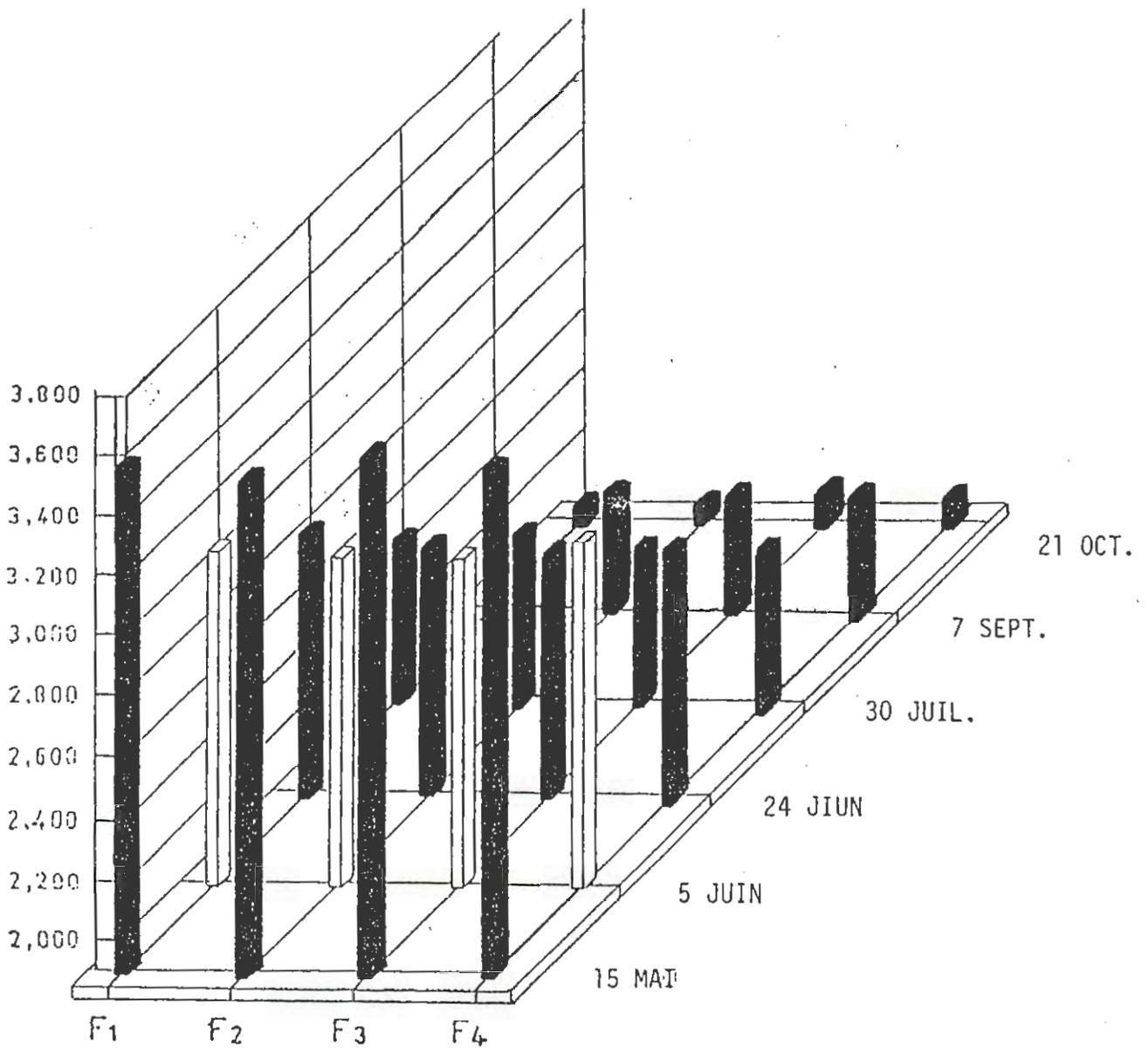


Fig. 9
 Variation de la teneur en azote (% de la matière sèche) des feuilles par rapport à leur position dans les macroblastes (F_1 , F_2) et dans les brachyblastes (F_3 , F_4) de la branche R_4 et à l'époque de prélèvement des échantillons.

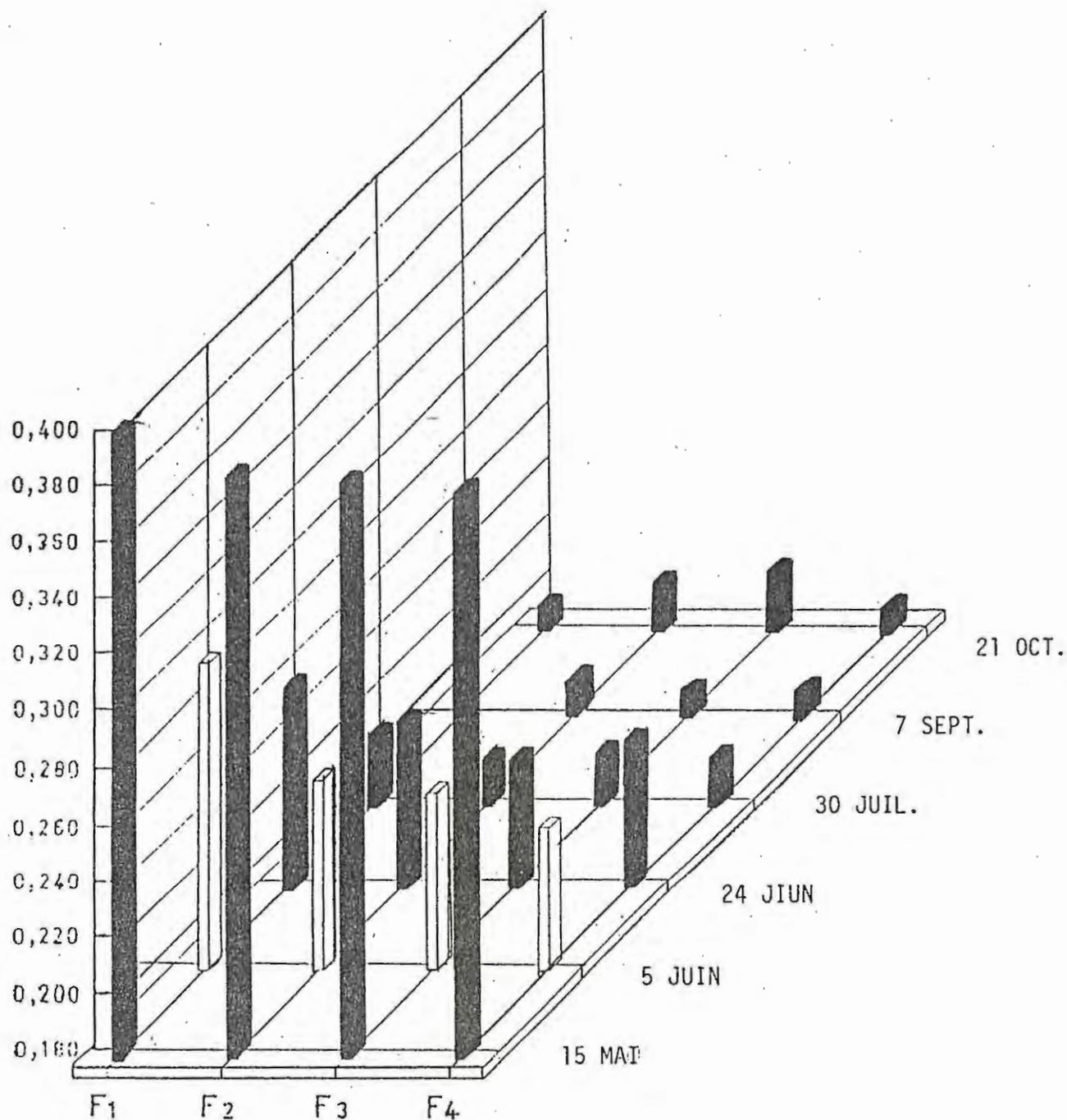


Fig. 10
 Variation de la teneur en phosphore (% de la matière sèche) des feuilles par rapport à leur position dans les macroblastes (F_1 , F_2) et dans les brachyblastes (F_3 , F_4) de la branche R_4 et à l'époque de prélèvement des échantillons.

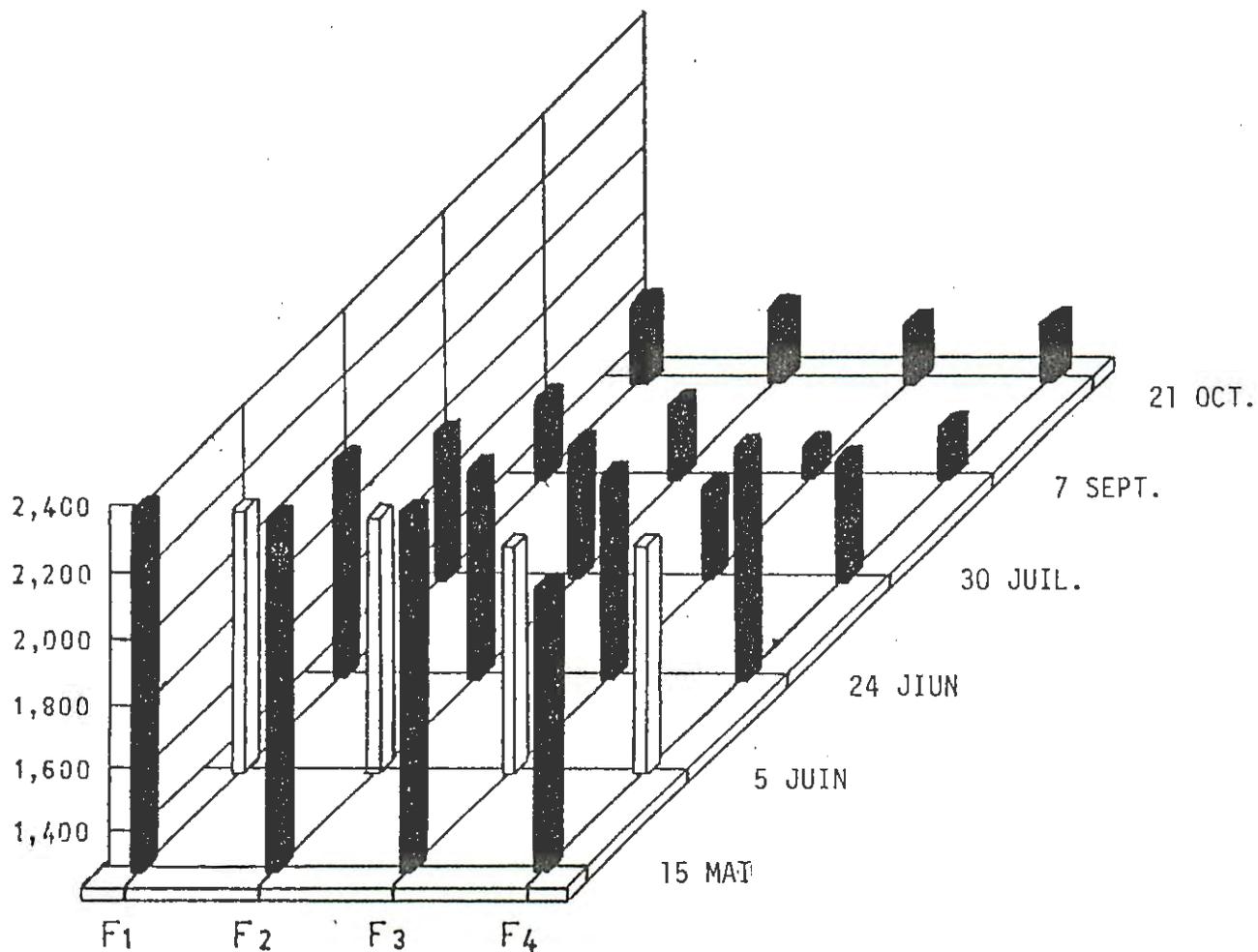


Fig. 11
 Variation de la teneur en potassium (% de la matière sèche) des feuilles par rapport à leur position dans les macroblastes (F_1 , F_2) et dans les brachyblastes (F_3 , F_4) de la branche R_4 et à l'époque de prélèvement des échantillons.

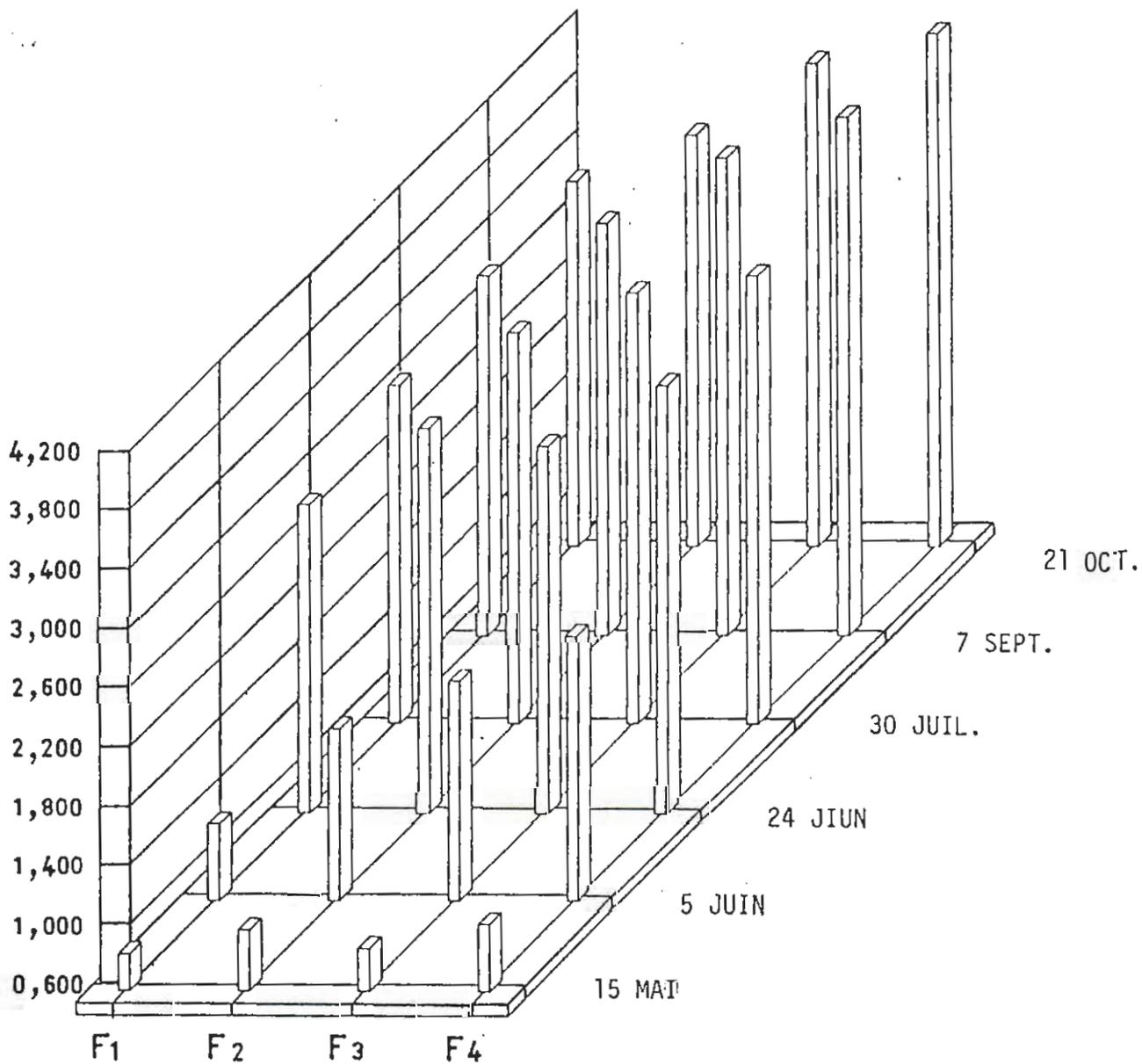


Fig. 12

Variation de la teneur en calcium (% de la matière sèche) des feuilles par rapport à leur position dans les macroblastes (F_1 , F_2) et dans les brachyblastes (F_3 , F_4) de la branche R_4 et à l'époque de prélèvement des échantillons.

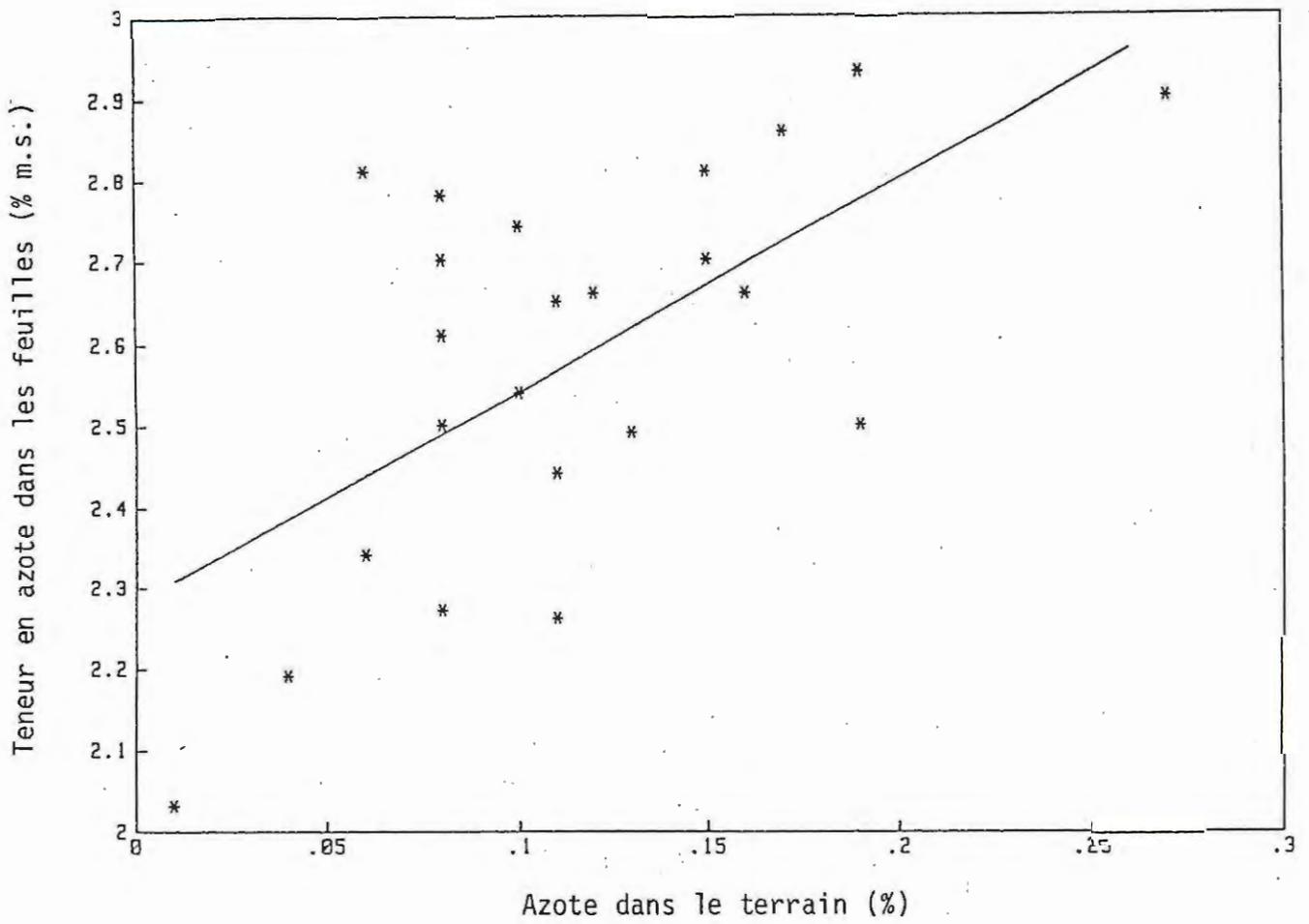


Fig. 13

Rapport entre la teneur en azote dans les feuilles et la teneur de N dans le terrain (Kjeldahl)

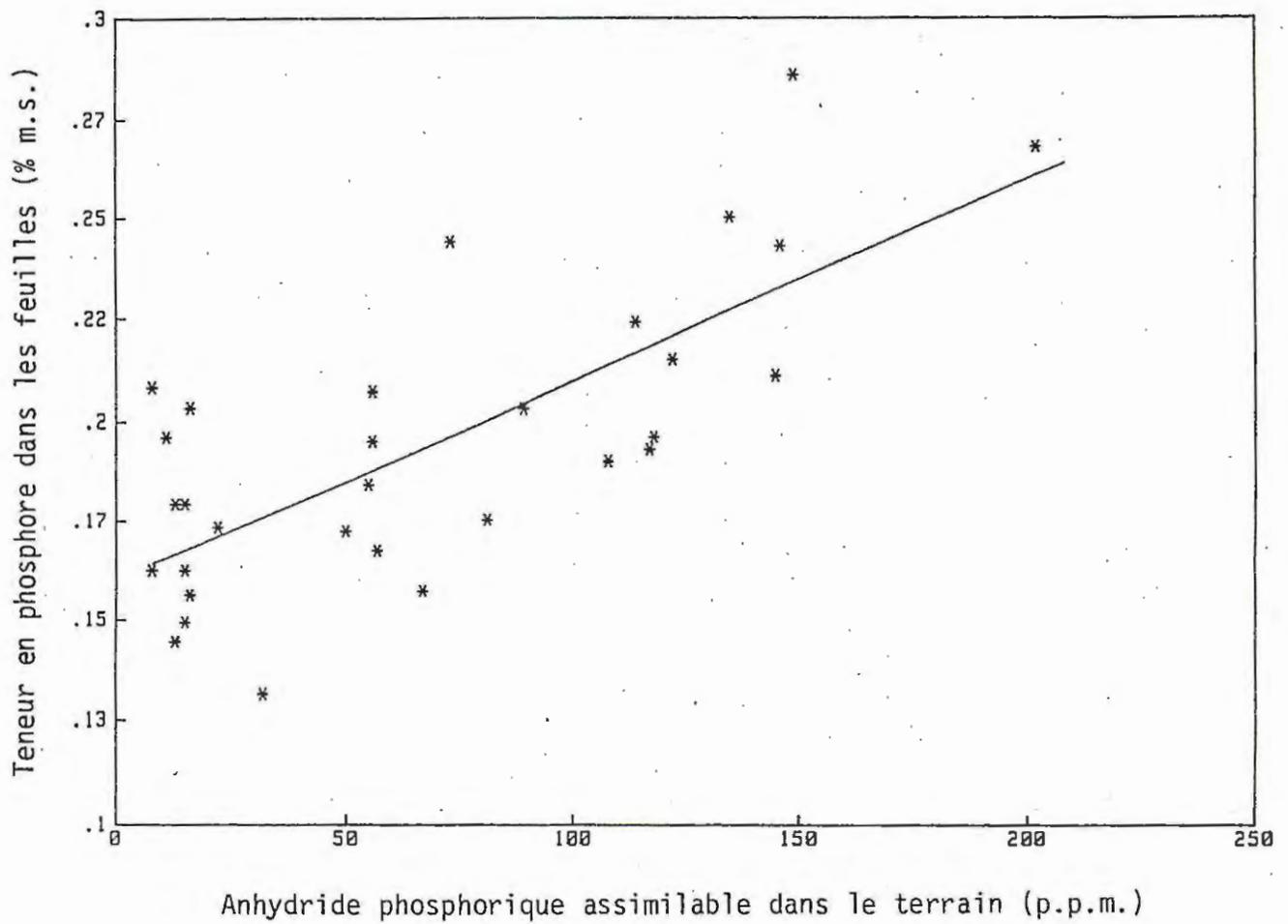


Fig. 14

Rapport entre la teneur en P_2O_5 dans les feuilles et la teneur de P_2O_5 assimilable dans le terrain.

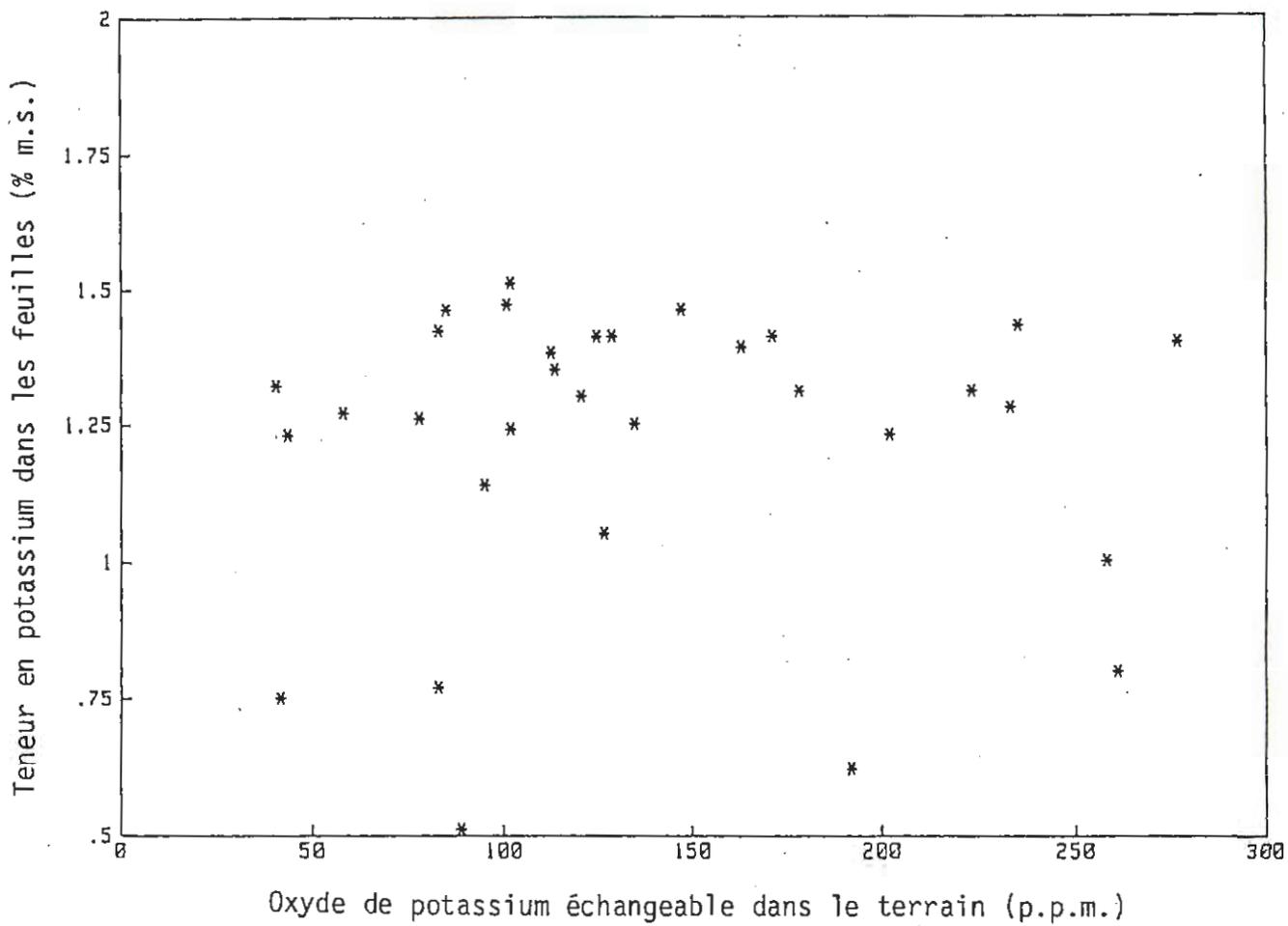


Fig. 15
 Rapport entre la teneur en K_2O dans les feuilles et la teneur de K_2O échangeable dans le terrain.

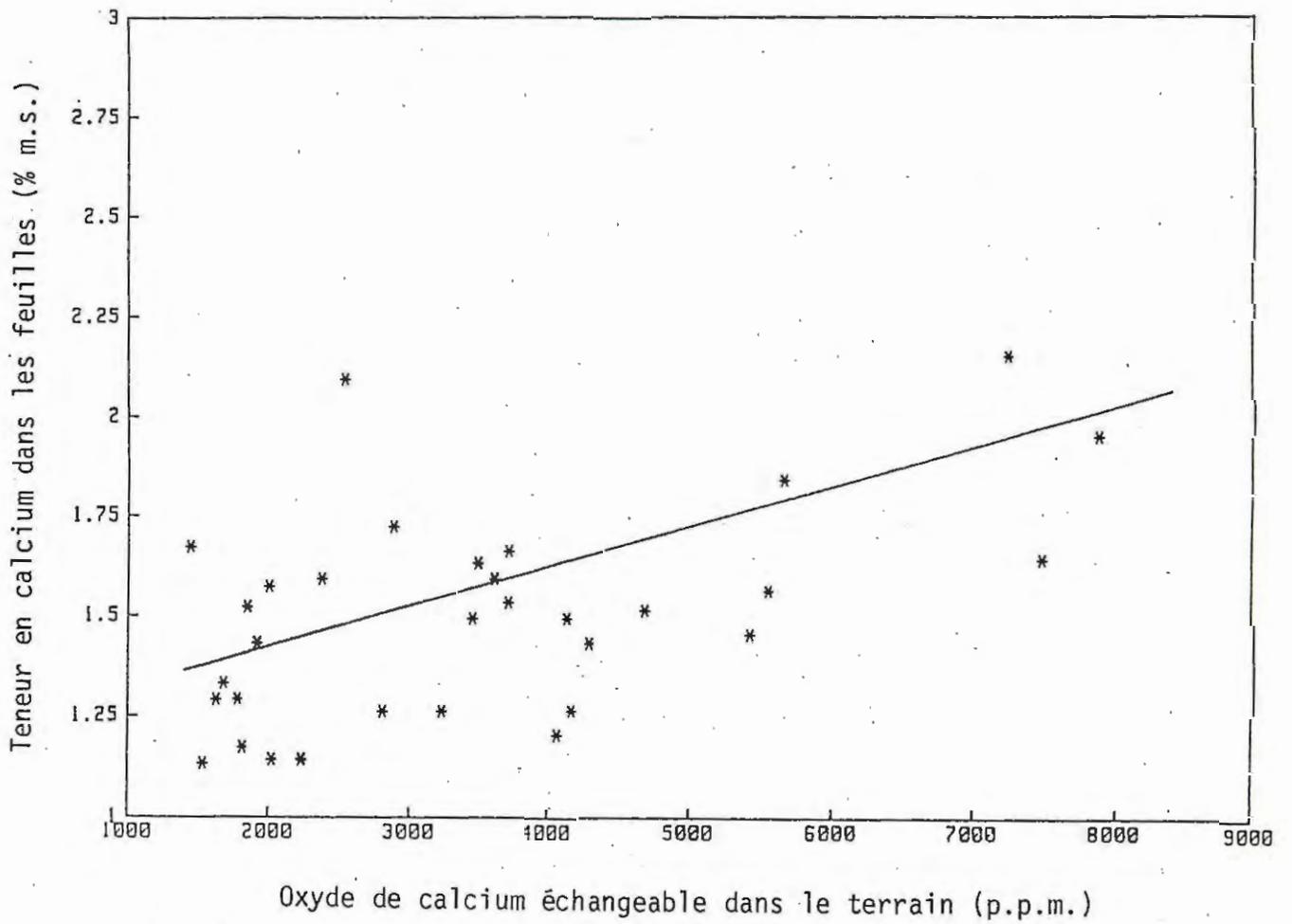


Fig. 16

Rapport entre la teneur en CaO dans les feuilles et la teneur de CaO échangeable dans le terrain.

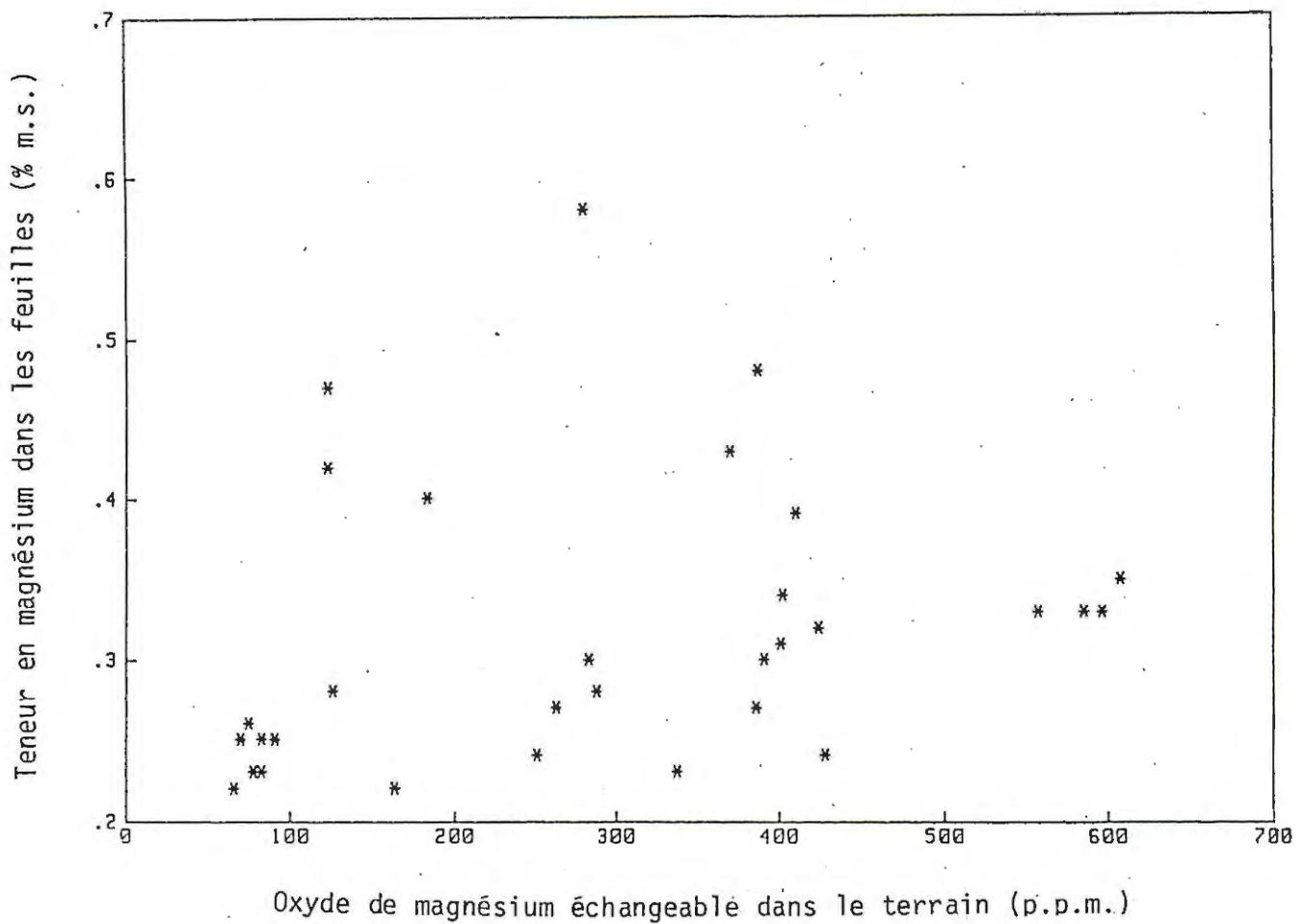


Fig. 17

Rapport entre la teneur en MgO dans les feuilles et la teneur de MgO échangeable dans le terrain.

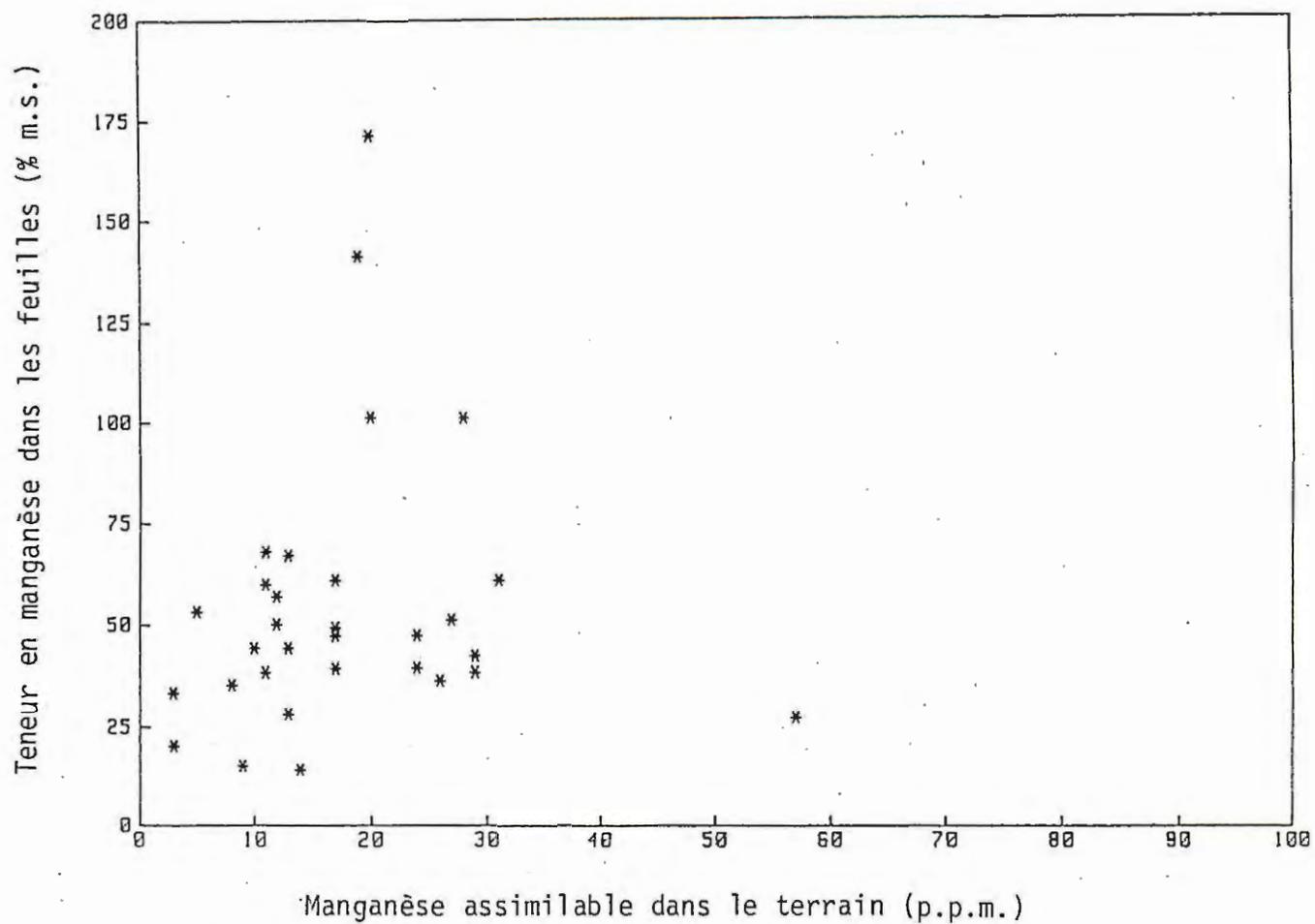


Fig. 18

Rapport entre la teneur en Mn dans les feuilles et la teneur de Mn assimilable dans le terrain.

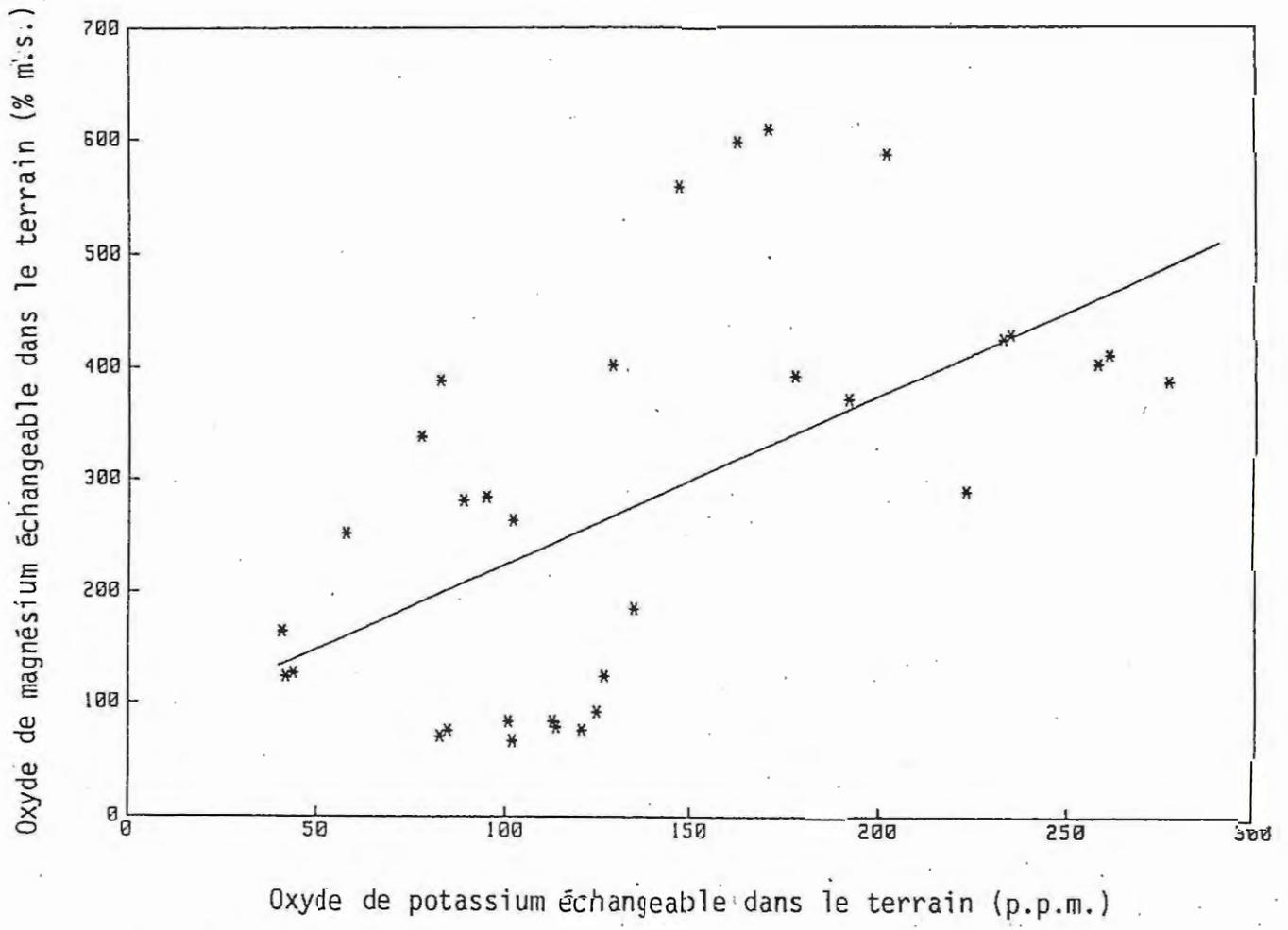
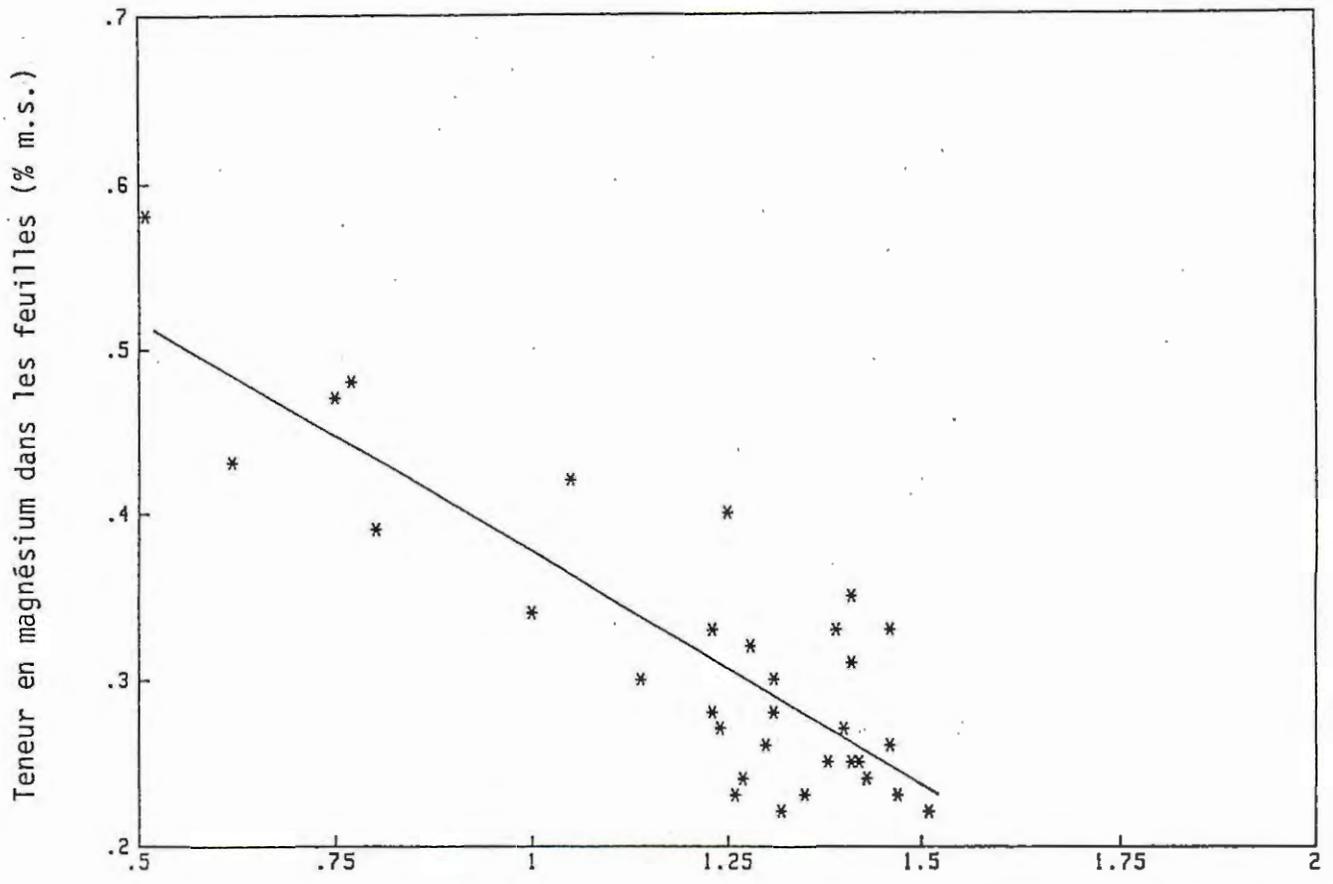


Fig. 19
 Rapport entre la teneur en MgO échangeable et la teneur de K₂O échangeable dans le terrain.



Teneur en potassium dans les feuilles (p.p.m.)

Fig. 20
 Rapport entre la teneur en MgO et la teneur de K₂O dans les feuilles.

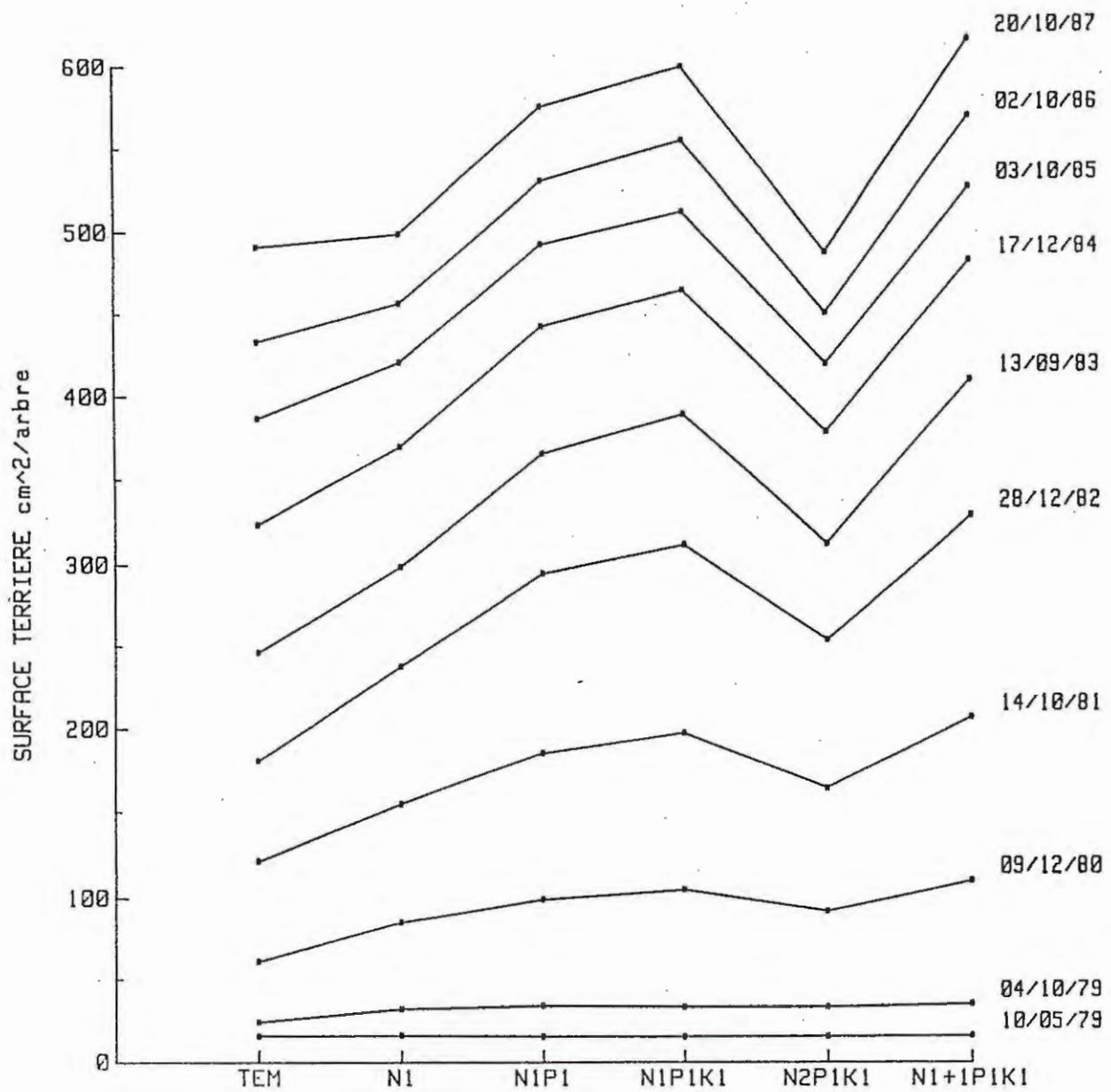


Fig. 21

Influence de la fumure minérale sur l'accroissement du fût en surface terrière moyenne à m 1,30 du sol.

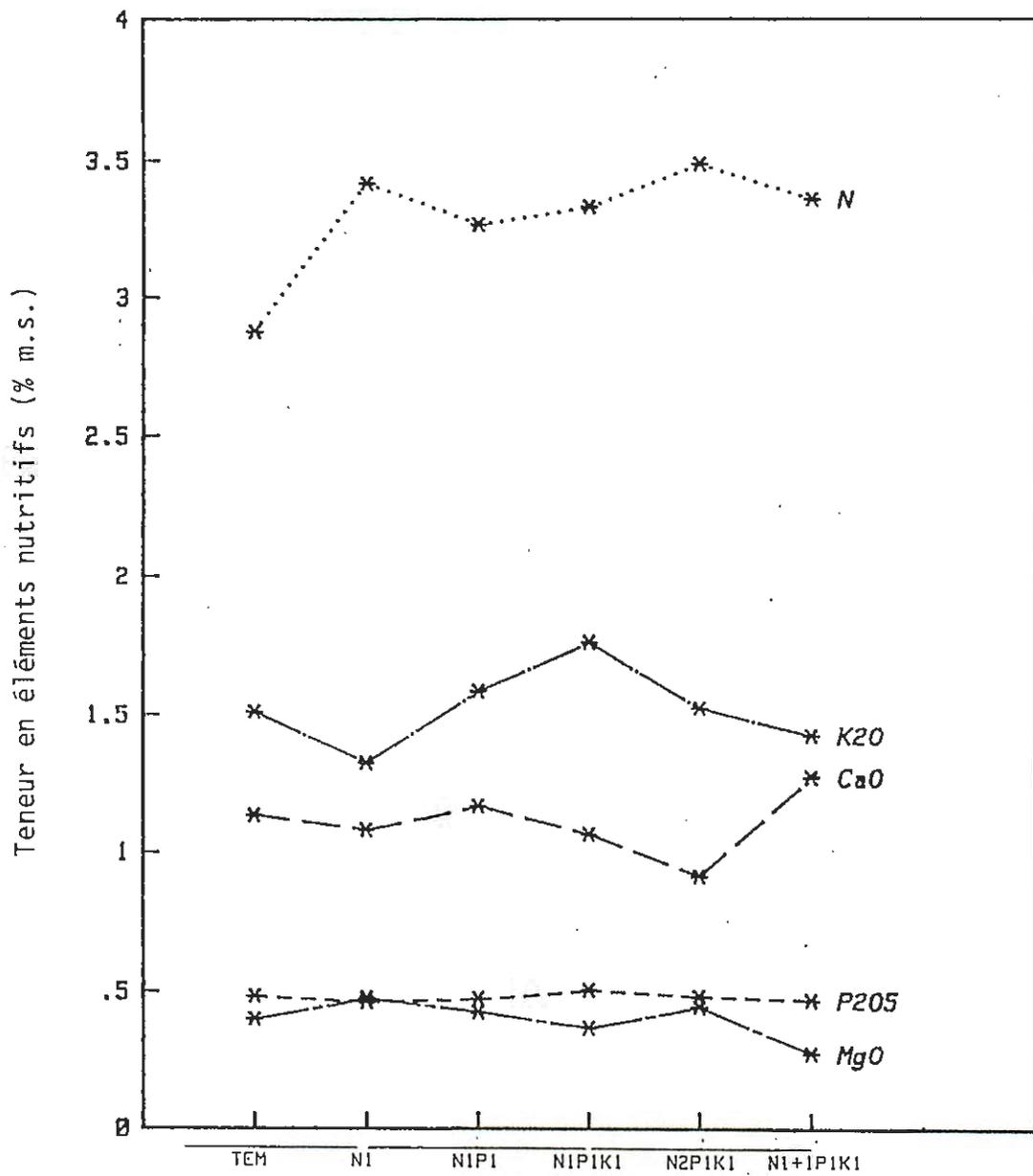


Fig. 22
Influence de la fumure minérale sur la teneur en substances nutritives des feuilles.

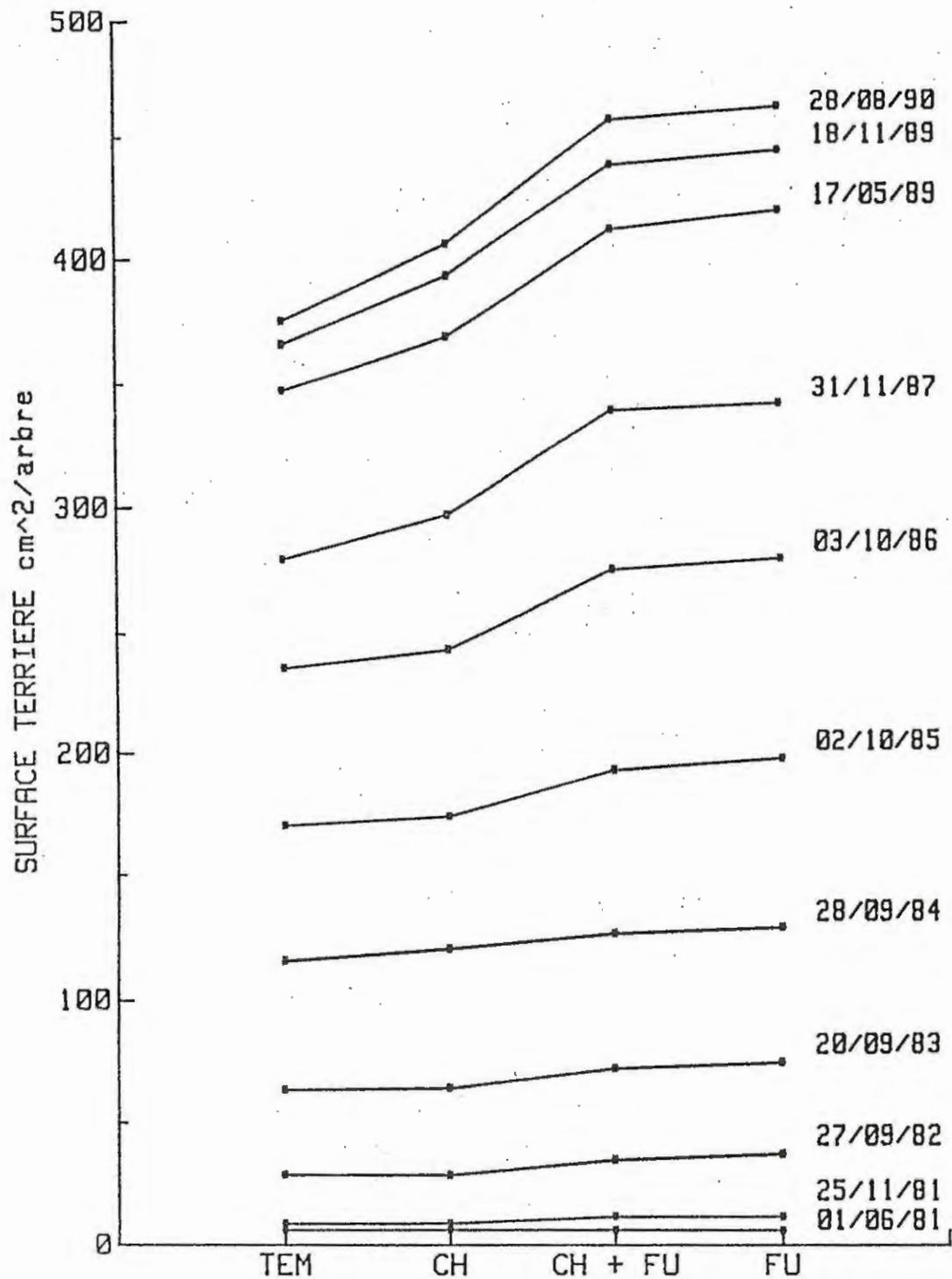


Fig. 23

Influence de la fumure minérale et du chaulage, appliqués singulièrement ou associés, dans des terrains acides, sur l'accroissement du fût en surface terrière moyenne à m 1,30 du sol.

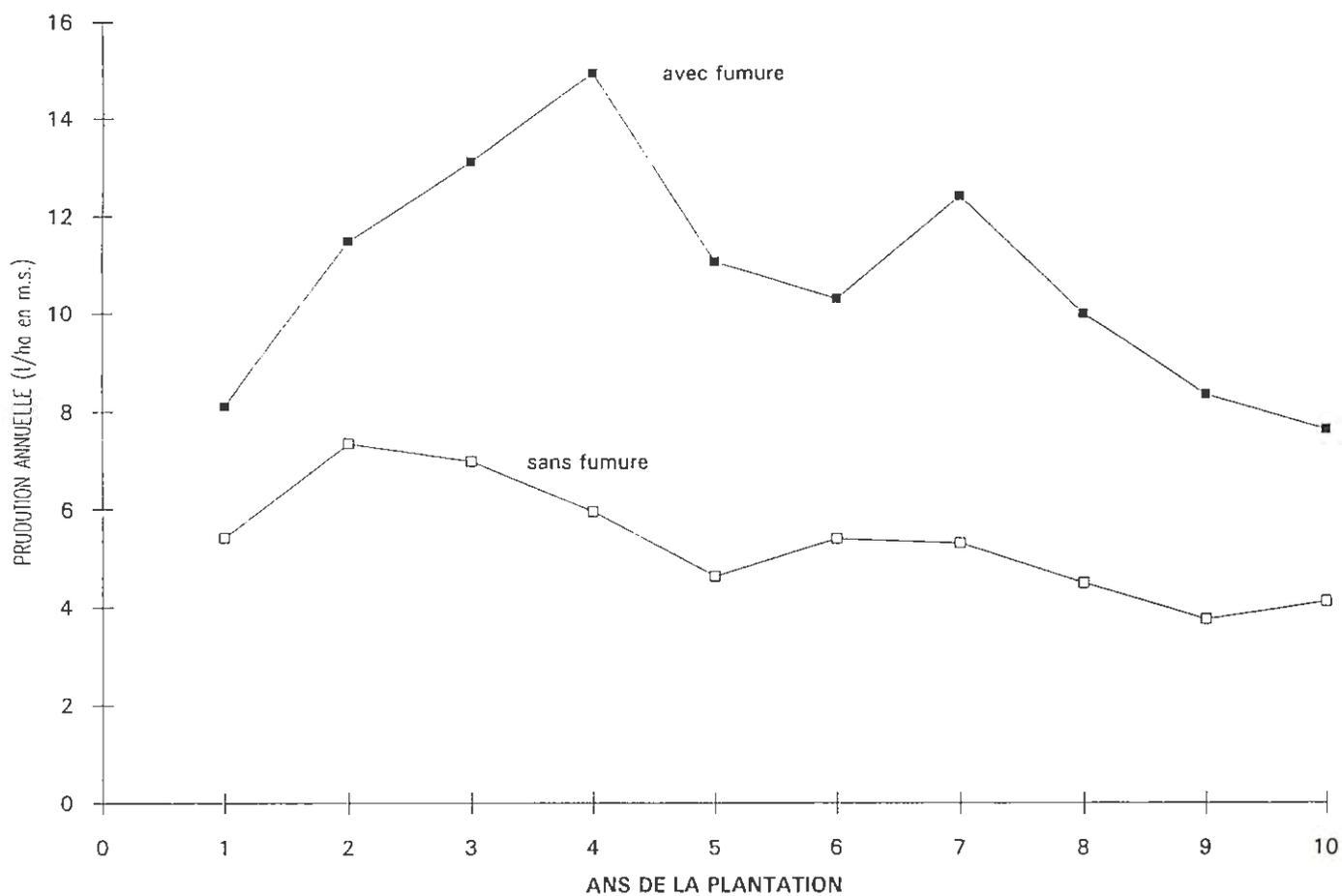


Fig. 24 - Influence de la fumure sur la production annuelle de biomasse ligneuse dans le taillis de peuplier à haute densité (m 1,30 x 0,20)