

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE - COMMISSION INTERNATIONALE DU PEUPLIER

Comité ad hoc: Production de biomasse de salicacées

Réunion jointe - Casale Monferrato, 3 - 5 Septembre 1986

Giuseppe Frison

Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura-E.N.C.C./S.A.F.

Casale Monferrato (AL), Italie

REPONSE A LA FUMURE DU PEUPLIER CULTIVE A DES DISTANCES CROISSANTES

INTRODUCTION

Dans notre pays la populiculture moderne, de même que l'agriculture, est caractérisée par un considérable dynamisme et elle est orientée vers l'obtention de rendements élevés, dans la perspective de correspondre au principe de profit économique entre prix de revient et revenus.

Puisque sur la production joue un rôle déterminant la fertilité de la station, il est naturel que le populiculteur porte la plus grande attention sur l'analyse des aspects nutritifs, dans le but précis d'acquérir toutes les connaissances nécessaires pour rationaliser l'emploi des engrais.

En populiculture aussi, la technique de la fertilisation doit sortir de l'empirisme pour atteindre un niveau de connaissances suffisant pour évaluer

les exigences réelles en éléments nutritifs de la plante au cours des diverses périodes de la révolution et 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 engrais en relation avec la nature du terrain, avec les conditions du climat, avec la disponibilité d'eau et avec les exigences du clone.

A l'égard de beaucoup de ces sujets les recherches des quinze ans derniers conduites par l'Institut d'Expérimentation pour la Populiculture sur une base expérimentale très vaste, ont fourni des résultats très utiles, au niveau pratique aussi. Ne pouvant pas les résumer tous pour des raisons d'espace, dans cette note on se borne à en rappeler brièvement quelques aspects fondamentaux, tout en renvoyant pour un examen plus complet des résultats obtenus à d'autres travaux (FRISON, 1986a, 1986b).

Avant tout il faut rappeler que la distribution d'éléments fertilisants sur le terrain ne donne pas toujours lieu à une amélioration générale de l'état de nutrition des plantes ou à une augmentation de la production. La diagnostique foliaire a montré que par la fumure assez fréquemment on peut hausser la teneur en azote des feuilles, moins fréquemment la teneur en potassium et rarement la teneur en phosphore. Il ne semble donc pas qu'il puisse en avoir toujours une nette correspondance entre disponibilité d'éléments nutritifs dans le terrain et leur teneur dans les feuilles et entre la teneur dans les feuilles et la production, au moins entre certaines limites.

Une information importante qui ressort de l'ensemble des expériences, c'est que la réponse du peuplier aux apports de fertilisants varie avec les caractéristiques du milieu, à partir de valeurs insignifiantes jusqu'à des valeurs nettement positives, statistiquement probantes.

Par exemple, les essais conduits en Lomellina, sur des terrains sableux avec de bonnes réserves d'eau et avec une réaction subacide, ont mis en évidence soit l'effet positif des fumures azotées, et encore meilleur celui des fumures azoto-phosphatiques, soit l'effet dépressif de doses d'azote qui se sont montrées excessives (3 kg par pied de nitrate d'ammonium 26-27%). Qu'il s'agit d'un effet dépressif dû à des doses trop élevées est prouvé par le fait qu'il a été suffisant de les fractionner en deux temps pour éviter cet inconvénient. Mais le fractionnement n'a pas produit d'amélioration significative par rapport à la dose réduite à la moitié. Très modeste apparaît l'effet du potassium, ce qui du reste a résulté dans beaucoup d'autres essais.

Ces informations, bien que très claires, ne se sont pas montrées généralisables. En effet, des épreuves plus ou moins analogues, répétées dans diverses peupleraies dans les environs de Casale et de Pavie, dans le Delta du Pô et dans d'autres terrains sableux, avec des disponibilités d'eau très variables au cours de la saison végétative, modestement calcaires et avec une réaction entre neutre et subalcaline, assez profonds mais considérés comme pauvres en matière organique et en éléments nutritifs, ont donné des résultats nuls ou très modestes à l'égard de l'accroissement.

Par contre, des réponses positives ont été obtenues, encore avec des fumures azoto-phosphatiques, dans la région de Mantoue et au Frioul dans des terrains de consistance moyenne, plutôt superficiels par rapport aux exigences du peuplier et reposant sur des couches calcaires d'accumulation. Il est évident que dans l'interprétation des résultats de la fertilisation, à part les pourcentages d'éléments assimilables, il faut aussi tenir compte de la profondeur du terrain et du profil hydrique et nutritif, pour les stimulations qu'ils peuvent exercer sur le développement de la masse de racines absorbante et pour la quantité des réserves.

Une autre donnée très importante qui ressort de la généralité des essais effectués jusqu'ici c'est que la réponse positive à l'apport d'engrais provient toujours d'arbres très jeunes. La fumure de production devrait donc commencer dès la première année et se limiter aux premiers quatre ans, alors qu'elle semblerait à déconseiller pendant la seconde moitié du cycle.

Cette donnée met en évidence que l'apport d'engrais ne doit pas être nécessairement proportionné à la production annuelle en bois des arbres. L'accroissement courant de bois en volume est beaucoup plus élevé dans les peupliers d'âge moyen et adultes que chez les très jeunes et jeunes, qui cependant montrent une plus grande sensibilité à la fumure. Il ne semble pas, par conséquent, que l'accroissement courant puisse être considéré comme un bon paramètre pour calculer la quantité d'engrais à donner aux arbres.

Certainement plus indicateurs dans ce sens pourraient être l'accroissement annuel de la biomasse totale et le rythme d'absorption, qui sont plus difficiles à déterminer mais mieux proportionnés aux besoins réels des arbres. En effet, il est bien connu que dans les tissus jeunes la teneur en éléments plastiques (azote et phosphore) est beaucoup plus haute que dans les tissus âgés et que la proportion des derniers augmente avec l'âge des plantes.

Une contribution valable à l'interprétation du phénomène pourra parvenir des recherches en cours visant à un approfondissement des connaissances autour du développement de l'appareil radical en relation avec les diverses couches du profil du terrain, et des rapports entre l'intensité d'absorption des éléments nutritifs dans un volume de terrain donné et la quantité de ce volume explorée par les racines.

Le modèle de culture adopté aussi a un rôle important dans la fumure. Il suffit de penser aux combinaisons avec des plantes herbacées ayant les exigences les plus variées - ce qui est une pratique assez répandue, surtout au Piémont -, à l'enterrement des branches provenant des élagages, à l'incorporation dans le terrain de la végétation spontanée qui dans les jeunes

peupleraies peut représenter des volumes de biomasse considérables.

Il ne faut pas oublier que le peuplier occupe le même terrain en moyenne pendant une dizaine d'années et que pendant cette période le sol est façonné seulement dans les premiers 10-15 cm. Le manque de mélange des couches superficielles avec les plus profondes tend à favoriser la différenciation des horizons dans le profil.

La couche la plus superficielle, biologiquement la plus active, s'enrichit continuellement, soit par l'apport direct de fertilisants, soit par l'enterrement des résidus organiques; vice-versa la couche au dessous tend progressivement à s'appauvrir en éléments nutritifs qui sont absorbés par les racines et retournent au terrain à travers les feuilles en s'accumulant en surface.

D'ici la conviction que la fumure de fond doit servir à enrichir en éléments nutritifs toutes les couches explorées par les racines, y compris les plus profondes. Ca va sans dire qu'il est opportun d'effectuer ce type de fumure en même temps que les façons profondes de mise en place et qu'il concernera principalement, à part la matière organique, les engrais phosphatiques et potassiques, étant donné que leur mobilité dans le terrain est d'autant plus petite que le pouvoir d'absorption est plus grand. Vice-versa, 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 pour cela est emporté plus rapidement vers le bas, dans la zone des racines.

Un sujet qui n'avait pas encore été examiné, mais qui a une importance particulière pour les implications qu'il comporte avec la compétition entre les arbres, c'est celui de l'influence de la fumure sur l'accroissement des arbres en fonction de l'espacement. Pour examiner cet aspect aussi, en adoptant le schéma de Nelder, on a conduit une recherche spéciale dans la ferme "Mezzi" de l'Institut d'Expérimentation pour la Populiculture de Casale

Monferrato, qui a fourni des résultats intéressants et qui représente l'objet de cet ouvrage.

MATERIAUX ET METHODES

Pour la réalisation de l'expérience on s'est servi de plants de peuplier de pépinière d'un an (F_1R_1) appartenant au clone 'Boccalari', inscrit au Registre National des Clones Forestiers, qui ont été mis en place en février 1980.

La disposition des plants dans le champ a été effectuée selon le schéma de Nelder avec les caractéristiques suivantes (Fig. 1):

$r = 7,423$; $a =$ environ $1,126$; arcs n. 15; aires (m^2 /arbres): 0,81; 1,02; 1,28; 1,60; 2,00; 2,56; 3,22; 4,00; 5,12; 6,45; 8,13; 10,24; 12,51; 16,27; 20,05.

Le schéma, formé par 15 arcs de 12 plantes chacun, a été répété 12 fois. Les 12 étoiles, orientées en couples orthogonaux, ont été rangées par 2 groupes de 6, dans chacun desquels ont été distribuées au hasard les variantes de fumure mises en comparaison.

Les variables étaient les suivantes:

- 1) témoin non fertilisé;
- 2) témoin non fertilisé sur du terrain appauvri par une combinaison avec du sorgho pendant la première année en place;
- 3) fumure azotée;
- 4) fumure azoto-phosphatique;
- 5) fumure azoto-phospho-potassique;
- 6) fumure organique-minérale avec Agrobios K 558 (*) contenant aussi des microéléments.

Les dates, les doses et les modalités de distribution des engrais ont été les suivantes:

- 1980 - Epandage autour du pied de l'arbre dans un rayon de 50-70 cm
- . 15.3 distribué le nitrate d'ammonium 25-26% à la dose de 0,600 kg/pied
 - . 16.3 distribué le superphosphate minéral 19-21% à la dose de 0,750 kg/pied
 - . 19.3 distribué le sulphate de potassium magnésique (28-30% K_2O et 8% MgO) en raison de 0,500 kg/pied
 - . 15.5 distribué l'Agrobios K 558 en raison de 3 kg/pied.
- 1981 - Epandage autour du pied de l'arbre dans un rayon de 1,70-1,80 m (sur toute la surface pour les espacements les plus serrés)
- . 15-17.4 distribué les engrais aux mêmes doses que l'année précédente.
- 1982 - Epandage autour du pied de l'arbre dans un rayon de 2 m (sur toute la surface pour les espacements les plus serrés)
- . 18.5 distribué les engrais avec les modalités et les doses indiquées pour les années précédentes.

(*) Composition du Compost K 558 (matière organique 50-60%):

K_2O	8% du poids sec	Cu	0,032%
P_2O_5	5%	Mn	0,15%
N_2	5%	Bore	0,3%
MgO	0,8-1%	Mo	0,018%
Fe	1,7-2%	Zn	0,36%
SiO_2	2-3%		

Le terrain où a été effectuée la plantation présente dans la couche superficielle une texture sableuse (sable gros 6,80%, sable fin 70,44%, limon 17%, argile 5,76%) et une réaction subalcaline; il est moyennement doué en calcaire (5-6%), pauvre en matière organique et en azote et suffisamment fourni de phosphore assimilable et de potassium échangeable.

En profondeur tend à augmenter le pourcentage de sable et diminuent la matière organique et les teneurs en minéraux. La nappe d'eau est influencée par le régime hydrique du Pô, mais normalement pendant la période végétative elle reste à une profondeur inaccessible aux racines des peupliers.

Pendant les quatre ans en question, les températures moyennes annuelles sont résultées de 11,4°C en 1980, 12,8 en 1981, 12,8 en 1982 et 11,3 en 1983 et les précipitations respectivement de 724, 746, 748 et 635,1 mm.

Les températures moyennes mensuelles minima se sont manifestées en janvier (0,3°C en 1980 et 1,1 dans les deux ans successifs) et en février (1,07°C en 1983), et les maxima en juillet (24,7°C en 1982 et 26,19 en 1983) et en août (22,5°C en 1980 et 23,3 en 1981). Les précipitations pendant la période avril-septembre furent: en 1980 de 308 mm avec des maxima de 112,8 en mai et des minima de 3,6 mm en avril et 7,6 mm en septembre (Fig. 2); en 1981 de 481,6 mm avec des maxima de 104,6 mm en juillet et 99 en mai et des minima de 47,8 mm en juin (Fig. 3); en 1982 de 308,8 mm avec des maxima de 122,8 mm en août et des minima de 5,2 mm en juin (Fig. 4); en 1983 de 315 mm avec des maxima de 104 mm en mai et des minima de 16,8 mm en juillet, 28 mm en août et 6,4 mm en septembre. Il faut souligner la sécheresse exceptionnelle pendant la période été-automne 1983 (Fig. 5).

Etant donné la texture sableuse du terrain et les conditions du climat typiques de la Vallée du Pô, il fut nécessaire d'intervenir avec l'irrigation pour garantir une suffisante disponibilité d'eau même pendant les périodes de sécheresse. Les arrosages, pratiqués par la méthode de la pluie, ont été effectués aux dates suivantes:

1980: 5-6 mai, 19 juillet

1981: 16-17 juin, 21 août

1982: 26 juin, 15 août

1983: 17 juin, 15 juillet, 21 août.

Pour l'enterrement des engrais et pour la destruction de la végétation spontanée, on a effectué des façons en employant un motoculteur aux espacements les plus serrés et une herse à disques aux plus larges, en cherchant dans tous les deux cas de remuer la couche superficielle jusqu'à une profondeur d'une dizaine de cm.

L'élagage des arbres fut limité à une opération de correction à la fin de la première végétation et d'émondage du fût à la fin de la seconde.

Les comparaisons entre les variantes ont été faites sur la base de l'accroissement et des teneurs en minéraux des feuilles et du terrain.

L'accroissement fut évalué sur la base de la surface terrière calculée par rapport à la circonférence mesurée à 1,30 m du sol, après la mise en place et à la fin de chaque saison de végétation (de 1980 à 1983).

La détermination des teneurs en minéraux fut effectuée sur des échantillons de feuilles et de terrain prélevés le 5.8.1982 dans toutes les 12 placettes (étoiles) et pour les 4 espacements suivants (m^2 /pied): 1,28; 2,56; 6,45; 16,27.

Les feuilles furent prélevées de la partie médiane des pousses turionales de l'année sur 6 arbres pour chaque espacement choisi. Les déterminations analytiques furent exécutées sur du matériel séché à 70°C:

- | | |
|-------------|---|
| - cendres | calcination en moufle à 600°C jusqu'à poids constant |
| - azote | méthode de Kjeldahl |
| - phosphore | oxydation par voie humide avec de l'acide sulfurique et superchlorique et successif dosage colorimétrique |

- potassium, calcium, magnésium, cuivre, zinc manganèse et molybdène spectrophotométrie en absorption atomique
- bore colorimétrie par la méthode à la curcumine.

Le terrain a été prélevé dans la couche des premiers 30 cm à partir de la surface, dans la zone fertilisée, en correspondance des 6 arbres dont on avait pris les feuilles. Les déterminations analytiques ont été faites avec les méthodes suivantes:

- granulométrie lévigation à la pipette après dispersion dans du carbonate de lithium et évaluation en appliquant l'échelle d'Atterberg
- pH potentiométrique de suspension aqueuse avec un rapport eau/terrain de 2,5:1
- carbone organique méthode Walkey-Black
- azote méthode Kjeldahl
- phosphore méthode Ferrari
- calcium, magnésium, potassium d'échange extraction avec $BaCl_2$ -triéthanolamine et détermination en absorption atomique
- calcaire total calcimètre
- fer, cuivre, zinc assimilables extraction avec de l'acétate d'ammonium à pH 4,8 et détermination en absorption atomique
- manganèse ass. extraction avec de l'acétate d'ammonium à pH 7 et détermination en absorption atomique.

Les données dendrométriques ont été élaborées par l'étude de la corrélation entre accroissement et espacement et les données analytiques concernant le terrain et les feuilles, par l'analyse de la variance et de la corrélation multiple.

RESULTATS

Les comparaisons entre les variantes mettent en évidence in primis l'effet de l'espacement sur l'accroissement et, en sous-ordre, l'effet, sur les plantes cultivées à des espacements croissants, de la fumure sur l'accroissement et sur les teneurs en minéraux des feuilles et du terrain.

L'accroissement est évalué sur la base de la surface terrière mesurée à la fin de chaque saison végétative et de l'incrément annuel.

L'effet de l'espacement sur l'accroissement

La relation entre espacement et accroissement du peuplier a formé l'objet d'une récente note qui concernait les résultats de deux séries d'essais d'espacement, conduits, en adoptant toujours le schéma de Nelder, sur quatre clones pendant les 15 dernières années. Dans cette note on avait effectué une étude pour trouver la formule mathématique la plus apte à représenter la relation entre accroissement et espacement. Parmi les formules proposées, après diverses tentatives et comparaisons, on a adopté celle du japonais Kira et de ses collaborateurs, qui se prête le mieux à notre cas.

La formule est la suivante: $\frac{1}{W} = ad + b$

où W = mesure de l'accroissement (surface terrière); d = densité (n° d'arbres par are); a et b = constantes (paramètres).

Le même type d'élaboration est appliqué dans cet ouvrage aussi, tout en le limitant cependant, pour plus de brièveté, aux seules plantes du témoin non fertilisé. Les données moyennes relatives, relevées au cours de la première saison de végétation et à la fin de chaque année, sont illustrés dans la Fig. 6 et les résultats de l'élaboration, concernant les données relevées à la fin de chaque année, sont exposés dans la Fig. 7.

Dans l'examen du premier graphique on note que l'accroissement individuel

des arbres est fortement influencé par l'espacement et que l'intensité de cet effet augmente avec l'âge. Déjà au mois de juin de la première saison végétative après la mise en place, aux espacements les plus serrés on note les conséquences de la concurrence. Les arbres du premier arc, qui sont stimulés par le bord, dominent ceux du second. Du second arc ($1,01 \text{ m}^2/\text{piéd}$) au cinquième ($2 \text{ m}^2/\text{piéd}$) le diamètre moyen tend à augmenter, mais on n'observe pas encore de résultats statistiquement significatifs.

L'examen des courbes se rapportant à la seconde saison végétative met en évidence un décours rapidement augmentant de $5,12 \text{ m}^2/\text{piéd}$ à $10,24 \text{ m}^2/\text{piéd}$ et à peu près parallèle aux abscisses pour les espacements plus larges.

Les courbes construites avec les données relevées à la fin de la troisième saison végétative présentent un décours de l'accroissement plus rapidement croissant de l'espacement de $1,01 \text{ m}^2/\text{piéd}$ à l'espacement de $10,24 \text{ m}^2/\text{piéd}$ et plus lentement aux espacements plus larges, et il commence à se manifester l'effet du bord sur les arbres du dernier arc. Enfin, après la quatrième saison de végétation, les données montrent que les accroissements continuent à augmenter avec l'espacement, et l'effet du bord se rend encore plus évident.

En résumé, on peut dire que la densité déprime l'accroissement sur le diamètre individuel des arbres, de façon d'autant plus précoce et intense que l'espace à disposition est plus petit.

De l'étude du rapport entre accroissement et espacement des arbres, exprimé par la formule de Kira (Fig. 7) il résulte que pour le peuplier il existe une corrélation linéaire entre le nombre d'arbres par unité de superficie et l'inverse de la surface terrière moyenne par piéd.

Effet de la fumure sur l'accroissement

Dans ce but l'évaluation de l'accroissement est faite sur la base de la surface terrière et de l'accroissement en surface terrière. Les données se rapportant à la surface terrière, relevées après la mise en place et à la fin du débourrement (11.6.1980), sont présentées dans le graphique n. 8, et celles qui se rapportent à la fin de chaque saison de végétation dans les graphiques 9 pour 1980, 10 pour 1981, 11 pour 1982 et 12 pour 1983. Les incréments de surface terrière concernant les quatre années sont rapportés respectivement dans les graphiques n. 13, 14, 15 et 16.

Au relevé du 11.6.1980, c'est à dire quelques mois après la mise en place, évidemment on ne note pas de différences significatives, ni entre les diverses densités de plantation, ni entre les diverses formules de fumure (Fig. 8).

A la fin de la première année depuis la mise en place, les arbres des placettes sous-plantées avec du sorgho, à tous les espacements considérés, ont eu un accroissement décidément inférieur à ceux des placettes fumées et même au témoin sans engrais (Fig. 9). Evidemment, la présence du sorgho, qui est une graminée fortement appauvrissante, a exercé une sensible concurrence, avec un résultat nettement négatif sur l'accroissement des arbres. Les arbres des placettes-témoin aussi ont eu un accroissement inférieur à celui des placettes fumées, parmi lesquelles ne sont ressorties point de différences dignes d'attention. L'action positive de la fumure semble cependant limitée aux espacements qui vont de $2,56 \text{ m}^2/\text{pied}$ à $8,13 \text{ m}^2/\text{pied}$. Par contre, elle n'a pas agi aux espacements inférieurs, où a été plus fort l'effet de la concurrence, et aux supérieurs, où la plus grande disponibilité d'espace peut avoir favorisé une plus ample expansion des racines.

A la fin de la seconde année de végétation, parmi les variantes de fumure c'est encore la courbe se rapportant à la combinaison avec du sorgho qui si

maintient nettement au dessous de toutes les autres, y compris celle du témoin, qui se trouve dans une position intermédiaire entre les courbes des diverses formules de fumure (Fig. 10).

Après la troisième végétation la courbe se rapportant aux arbres sous-plantés avec du sorgho se maintient encore nettement plus basse que toutes les autres, entre lesquelles (y compris le témoin) il ne ressort aucune différence digne d'attention (Fig. 11).

Enfin, les diagrammes des accroissements de la quatrième saison de végétation montrent des différences entre les variantes de fumure moins évidentes que dans les années précédentes, parce que les arbres sous-plantés avec du sorgho ont récupéré en réduisant les différences de manière consistante (Fig. 12).

L'examen des données concernant les incréments annuels de surface terrière (Figg. 13, 14, 15 et 16) confirment l'effet positif de la fumure aux espacements moyens (de 2,56 m²/pied à 8,13) et l'effet déprimant de la combinaison avec du sorgho, très évident pendant la première et la seconde saison de végétation, à tous les espacements et au cours de la troisième seulement avec les espacements les plus larges. Vice-versa, au cours de la quatrième végétation l'accroissement des arbres sous-plantés la première année avec du sorgho a résulté égal à celui de toutes les autres variantes, ou même supérieur aux espacements moyens.

Effet de la fumure sur les teneurs en minéraux du terrain

La fumure azotée (Tab. 1) n'a pas influé sur la teneur en azote du terrain, bien qu'elle ait été répétée pendant trois années de suite. La perméabilité du terrain est très favorable au lessivage, et sa réaction subalcaline peut avoir exalté les pertes d'azote gazeux par volatilisation. La fumure phosphatique a provoqué une augmentation significative de la disponibilité de cet élément dans le terrain. Bien sûr, la teneur en a résulté plus

élevée aux espacements les plus serrés, où ont été distribuées des quantités plus grandes, puisque l'engrais a été distribué par doses fixes à chaque arbre et non pas par unité de surface.

Analoguement au phosphore, pour le potassium aussi la disponibilité dans le terrain a été augmentée par la fumure potassique, qui a aussi influé sur la teneur en magnésium, de manière limitée à la variante qui a reçu l'engrais potassique-magnésien.

La fumure n'a pas influé sur la disponibilité de micro-éléments, pas même avec la distribution de l'Agrobios K 558 qui les contenait.

L'interaction entre la fumure et l'espacement ne s'est montrée significative que pour le potassium et le magnésium, pour lesquels, tandis que dans les placettes fertilisées, la concentration augmente avec la densité, ou plutôt avec la quantité distribuée, dans les placettes non fumées avec du K et Mg les niveaux les plus élevés se trouvent surtout avec les espacements les plus larges, où présumablement l'absorption par unité de superficie a été moindre.

Effet de l'espacement et des teneurs en minéraux du terrain sur les teneurs en minéraux des feuilles

Les données moyennes concernant les teneurs en minéraux des feuilles et les résultats de l'analyse de la variance s'y rapportant sont reproduits respectivement dans le tableau 2 et les paramètres statistiques de l'analyse de la régression multiple des teneurs en minéraux des feuilles, considérées globalement, sur l'espacement et sur les teneurs en minéraux du terrain sont reproduits dans le tableau 3.

De l'examen de l'ensemble de toutes ces données il résulte que la teneur en minéraux des feuilles a été influencée, soit par l'espacement, soit par la fumure.

En particulier, à mesure qu'augmente l'espacement, soit à mesure que diminue la densité, on note une augmentation significative de la teneur en azote, en phosphore et en potassium (Tab. 2) et une diminution de la teneur en calcium, en magnésium et en manganèse, ainsi que des cendres. L'espacement résulte d'autre part non influent sur tous les autres éléments considérés.

Les teneurs en minéraux des feuilles ne résultent pas significativement corrélées avec les teneurs en minéraux du terrain quand elles sont considérées dans leur ensemble (Tab. 3). Par contre, si elles sont examinées pour chaque élément entre les limites de chaque variante (Tab. 2) elles fournissent des informations plus détaillées, comme il est spécifié ici de suite.

La teneur en azote se montre plus élevée dans les feuilles des plantes fumées avec cet élément, seul ou en combinaison avec du phosphore ou de potassium, que dans celles du témoin non fumé, mais elle ne résulte pas significativement diverse que celle des feuilles du témoin non fumé et appauvri. Vice-versa, la teneur en phosphore des feuilles des arbres fumés avec cet élément, seul ou en combinaison avec le potassium ou l'azote, ne résulte pas significativement diverse que celle des feuilles des arbres du témoin. Les plantes des placettes du témoin non fumé et appauvri présentent les valeurs les plus élevées. La teneur en potassium résulte plus élevée dans les feuilles des arbres fumés avec cet élément que dans celles du témoin ou fumées avec N et PN, mais non pas par rapport à celles du témoin non fumé et appauvri. La teneur en calcium résulte nettement plus basse dans les feuilles des arbres sous-plantés avec du sorgho que dans celles du témoin et fumées avec N, NP et NPK et présente la valeur minimum dans celles fumées avec de l'Agrobios (K 558).

Les feuilles des arbres fumés avec de l'azote et du phosphore présentent une teneur en fer plus élevée que celles des arbres de toutes les autres

variantes, qui entre elles ne diffèrent pas significativement, malgré les pointes minima des deux témoins. Bien que de façon moins accentuée, le manganèse présente un décours analogue à celui trouvé pour le fer. Les arbres des deux témoins présentent la teneur en cuivre la plus haute, et les arbres fumés avec du phosphore, la plus basse. Le zinc aussi résulte plus élevé dans les feuilles des plantes des deux témoins. Pour les arbres de autres variantes on ne note pas de différences significatives.

Les feuilles des arbres sous-plantés avec du sorgho présentent une teneur en bore plus basse par rapport à celles des arbres de toutes les autres variantes, parmi lesquelles celles qui ont reçu de l'Agrobios, qui contient aussi du bore, présentent les valeurs les plus élevées. Les feuilles des arbres sous-plantés avec du sorgho présentent la teneur la plus élevée en molybdène, tandis que celles des arbres fumés avec de l'N, seul ou en combinaison avec du P et du K, montrent les teneurs les plus basses. Intermédiaire résulte la teneur des feuilles des arbres fertilisés avec de l'Agrobios.

La teneur en eau, rapportée soit au poids vert soit au poids sec, ne varie pas en fonction de la fumure effectuée. La teneur en cendres résulte minimum dans les feuilles des arbres du témoin appauvri et maximum dans celles des arbres fumés avec de l'azote et du phosphore.

En résumé, par rapport au témoin non fumé, la fumure azotée a influé positivement sur la teneur en azote et la fumure potassique sur la teneur en potassium, tandis que la fumure phosphatique n'a influé d'aucune manière sur la teneur en phosphore. Les feuilles des arbres de la variante non fumée mais sous-plantée avec du sorgho, par rapport à celles des arbres du témoin non fumé, présentent des teneurs plus élevées pour tous les trois éléments fertilisants. Il est probable que le rythme d'accroissement plus lent dans les placettes sur du terrain appauvri ait consenti des concentrations plus hautes dans les feuilles pour les trois éléments en question, dont les concentrations

sur le terrain n'étaient pas descendues à des niveaux de pénurie extrême. Il en résulterait une corrélation négative au lieu d'une positive entre la concentration des éléments nutritifs dans les feuilles et l'accroissements en diamètre du tronc des arbres.

En ce qui concerne l'interaction entre l'espacement et le niveau nutritif, il faut dire qu'elle ne résulte significative pour aucun des éléments nutritifs considérés (Tab. 3).

CONSIDERATIONS CONCLUSIVES

L'essai a confirmé que la densité déprime l'accroissement sur le diamètre du tronc des arbres d'autant plus précocement et de manière d'autant plus intense que l'espace disponible est plus petit.

La relation entre l'accroissement et l'espacement des arbres peut être exprimée par la fonction linéaire qui prend en considération le nombre d'arbres par unité de surface et l'inverse de la surface terrière moyenne par pied.

L'effet positif de la fumure sur l'accroissement apparaît évident à la fin de la première végétation avec les espacements de $2,56 \text{ m}^2/\text{pied}$ à $8,13 \text{ m}^2/\text{pied}$.

Par contre, la fertilisation résulte sans influence aux espacements inférieurs, où l'action déprimante de la concurrence sur l'accroissement est précoce et intense.

A la fin de la seconde saison de végétation les différences entre les variantes fertilisées et le témoin non fumé s'attenuent, pour disparaître complètement à la fin de la troisième année.

De même, l'action déprimante de la combinaison avec du sorgho, qui est très évidente pendant la première et la seconde année, s'atténue au cours de la troisième et disparaît pendant la quatrième année.

L'appauvrissement du terrain et la concurrence des racines dans la combinaison avec du sorgho pendant la première saison de végétation, alors qu'ils dépriment l'accroissement des peupliers de façon significative, n'en dépriment pas les teneurs en azote, phosphore et potassium dans les feuilles; c'est seulement pour le calcium et le magnésium que le niveau pour cent subit une baisse.

La corrélation négative entre l'accroissement de l'arbre et les teneurs des feuilles en éléments plastiques peut trouver une explication dans la considération que l'augmentation de la surface foliaire et l'accélération du rythme d'accroissement qui s'en suit donnent lieu à une dilution de la concentration des éléments nutritifs.

La distribution d'engrais dans le terrain a augmenté de manière significative la disponibilité de phosphore et de potassium, mais n'a influé ni sur la teneur en azote, qui est notoirement très mobile dans le terrain, ni sur la disponibilité en micro-éléments.

Considérable s'est révélé l'effet de l'espacement sur la teneur en minéraux des feuilles. En accroissant les distances, on a eu une augmentation significative de la teneur en azote, phosphore et potassium et une diminution de la teneur en calcium, magnésium et manganèse, aussi bien que de cendres.

L'influence de la fumure sur les teneurs en minéraux des feuilles résulte positive pour la teneur en azote et potassium et nulle pour la teneur en phosphore.

Si l'on considère que la détermination des éléments nutritifs a été faite sur des échantillons prélevés au cours de la troisième saison de végétation, quand les effets des engrais sur l'accroissement s'étaient déjà atténués, on

doit en conclure qu'à une plus forte concentration d'azote et de potassium dans les feuilles n'a pas correspondu un plus fort incrément de l'accroissement.

Dans le cas spécifique on pourrait penser à l'action limitante de la haute densité de la plantation sur l'accroissement qui, en exaltant les phénomènes de compétition pour l'espace, et par conséquent pour la disponibilité de lumière, déprime le développement et limite le rendement de l'état de nutrition et de l'absorption radicale.

Du point de vue pratique, il apparaît donc évident que les possibilités de fumure dans les peupleraies serrées, où les phénomènes de concurrence commencent précocement, sont moins exaltantes que dans les peupleraies à espacement moyen, où les arbres se ressentent des effets de la concurrence, au moins dans la première moitié de la révolution. Et c'est justement dans ces situations que la généralité des épreuves de fumure réalisées dans la Vallée du Po a fourni les résultats les plus intéressants.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BLEASDALE J.K.A., 1967 - Systematic designs for spacing experiments. Expe. Agric. 3, 73-85.
- NELDER J.A., 1962 - New kinds of systematic designs for spacing experiments. Biometrics, 18, 283-307.
- FRISON G., 1986a - Recenti orientamenti sulla concimazione del pioppo nella Pianura padana. Mantova (CCIAA) (sous presse).
- FRISON G., 1986b - Risultati di esperienze pluriennali sulla concimazione del pioppo nella Padania. Convegno di Torviscosa, 11.2.1985 (sous presse).

SUMMARY

Are reported the results obtained in a fertilization test, which has been performed on trees of the clone 'Boccalari' arranged in the field according to the Nelder design, with the following spacings (m^2 /tree): 0.81; 1.02; 1.28; 1.60; 2.00; 2.56; 3.22; 4.00; 5.12; 6.45; 8.13; 10.24; 12.51; 16.27; 20.05.

The test has been effected at the "Mezzi" Estate of the Institute for Poplar Research in Casale Monferrato, on sandy soil. The fertilizing treatments, which comprised mineral manures (nitrogenous, nitro-phosphatic, nitro-phospho-potassic), as well as organic ones (Compost K 558, also containing micro-elements), were compared both with the non fertilized control and with a second control without fertilizers on a soil which had been depauperated by underplanting with sorghum during the first growing year of the poplar plantation. The doses of fertilizers were referred to the single tree and not to the unit of area.

The test has stressed that the closeness depresses the diameter growth of the stem of the trees the earlier and in the more intensive manner, the smaller the available space.

The relation between the growth and the spacing of the trees can be expressed by the linear function which takes in account the number of trees per unit of area and the inverse of the average basic area per tree.

The positive effect of manuring on the growth clearly appears at the end of the first vegetation period with the spacings from $2.56 m^2$ /tree to $8.13 m^2$ /tree.

On the other hand, there appears to be no influence of manuring at the closer spacings, where the depressing effect of competition on the growth rate is early and intensive.

At the end of the second vegetation period the differences between the fertilized variants and the non fertilized control attenuate, and completely disappear at the end of the third year.

The depressing effect of the underplanting with sorghum, very manifest in the first and the second year, also attenuates in the course of the third and disappears during the fourth growth year.

The depauperation of the soil and the root competition of the association with sorghum during the first season of vegetation after the planting of the trees, though depressing in a significant manner the growth of poplars, does not depress their nitrogen-, phosphorus- and potassium-contents in the leaves; only for the calcium and the magnesium the per cent level is lowered.

The negative correlation between growth rate of the trees and the contents of plastic elements in the leaves may be explained by the consideration that the increase of the leaf area and the consequent acceleration of the growth rate bring forth a dilution of the concentration of nutrients.

The distribution of fertilizers on the soil has significantly increased the availability of phosphorus and potassium, but had no influence on the content of nitrogen, an element notoriously very mobile in the soil, nor on the availability of micro-elements.

Cospicuous has resulted the effect of the spacing on the mineral content of the leaves. With increasing distances there has been a significant increase of the nitrogen-, phosphorus- and potassium-content, and a decrease of the calcium-, magnesium and manganese-content, as well as of ashes.

The influence of the manuring on the mineral content of leaves is found positive for the nitrogen- and potassium-content, and nil for the phosphorus-content.

If we take in account that the nutrient elements determinations were made on samples picked up during the third vegetation season, when the effects of

fertilizers on the growth were attenuated at that time, we must conclude that to a greater concentration of nitrogen and potassium in the leaves did not correspond a greater increment of the growth rate.

In the present case one might think at the limiting effect of the great closeness of the plantation on growth, which by exalting the phenomena of competition for space, and thence for light, depresses the growth and limits the efficiency of the nutritional conditions and of the absorption by roots.

Thus, from the practical point of view, it appears clear that the possibilities of the fertilization in close poplar plantations, where the phenomena of competition begin early, are less exciting than in the poplar stands of medium spacing, where the trees do not suffer from the effects of competition, at least during the first half of the rotation. And it is just in these situations that most of the manuring tests effected in the Po Valley provided the most interesting results.



Fig. 1 - Schéma de Nelder: représentation graphique de la disposition des arbres sur le champ selon 15 arcs de 12 arbres chacun. Les points encadrés représentent les arbres dont ont été prélevées les feuilles et les T entre les couples d'arbres indiquent les aires dont ont été prélevés les échantillons de terrain pour les analyses chimiques.

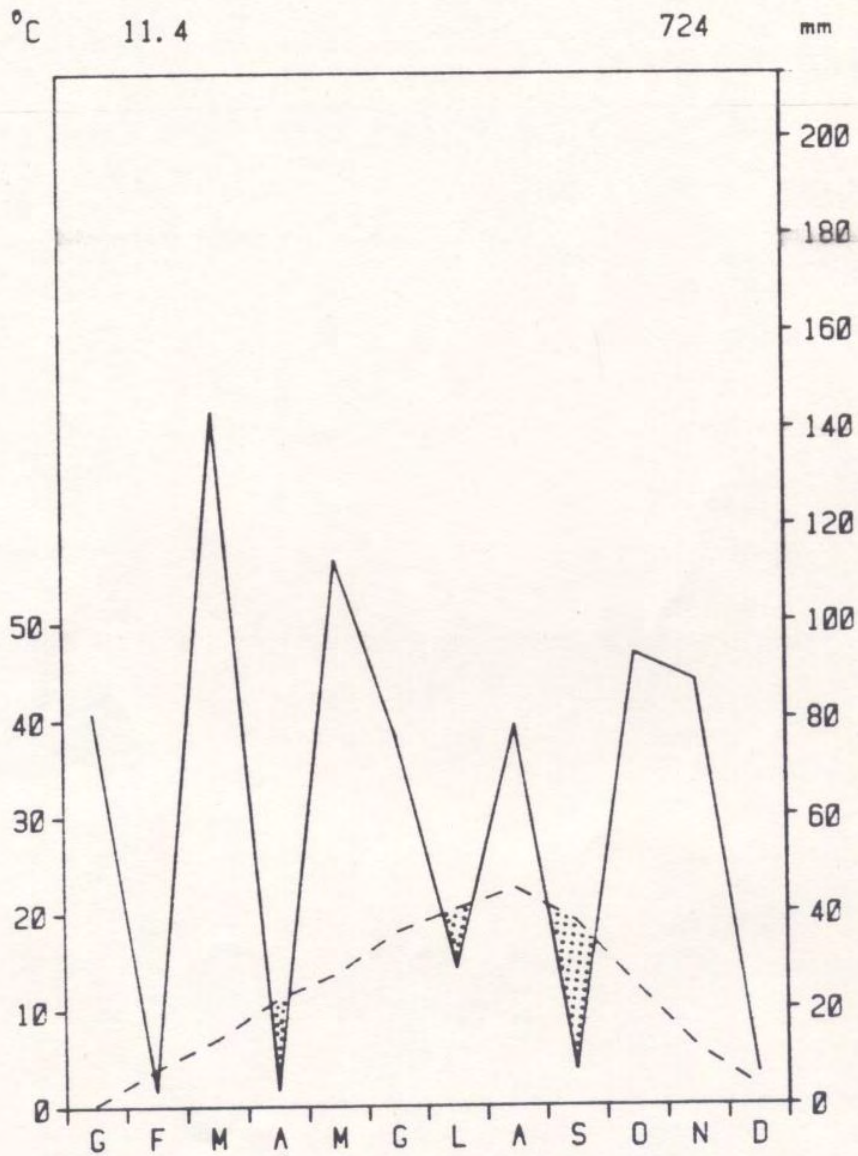


Fig. 2 - Station météorologique de Casale Monferrato. Graphique ombro-thermique selon Bagnouls-Gausson pour l'année 1980.

°C 12.8

746 mm

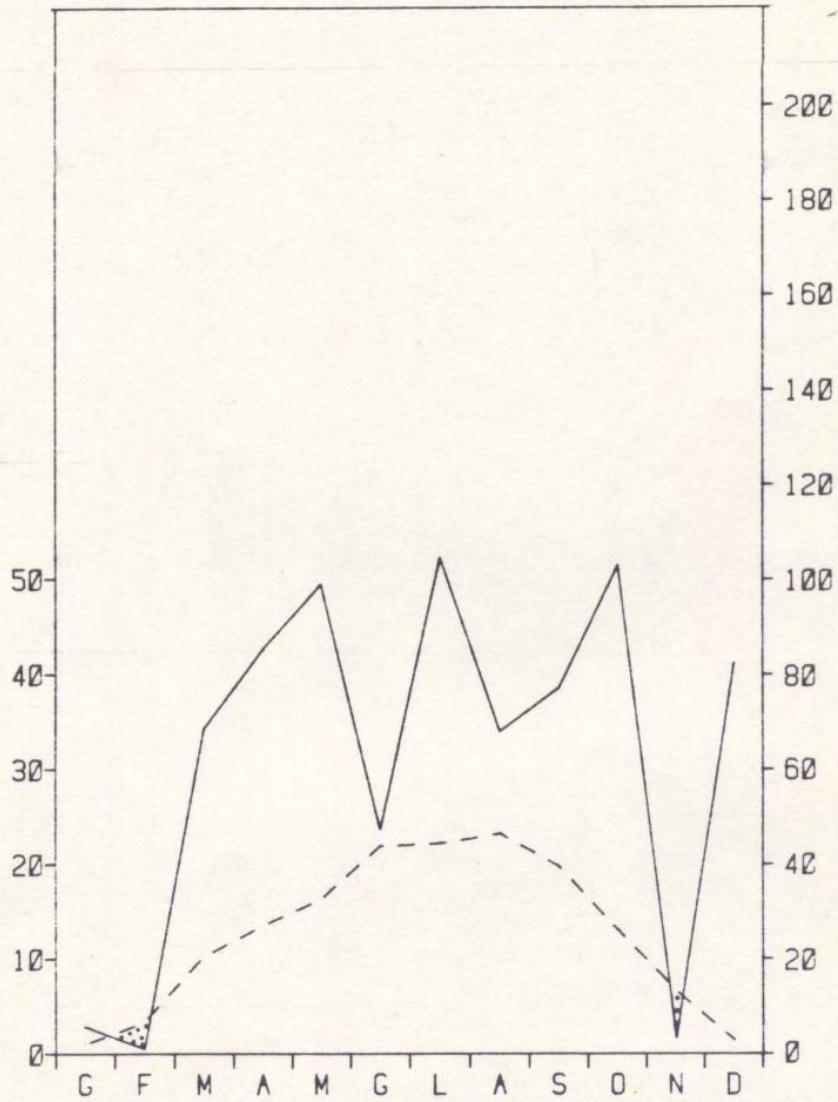


Fig. 3 - Station météorologique de Casale Monferrato. Graphique ombro-thermique selon Bagnouls-Gausson pour l'année 1981.

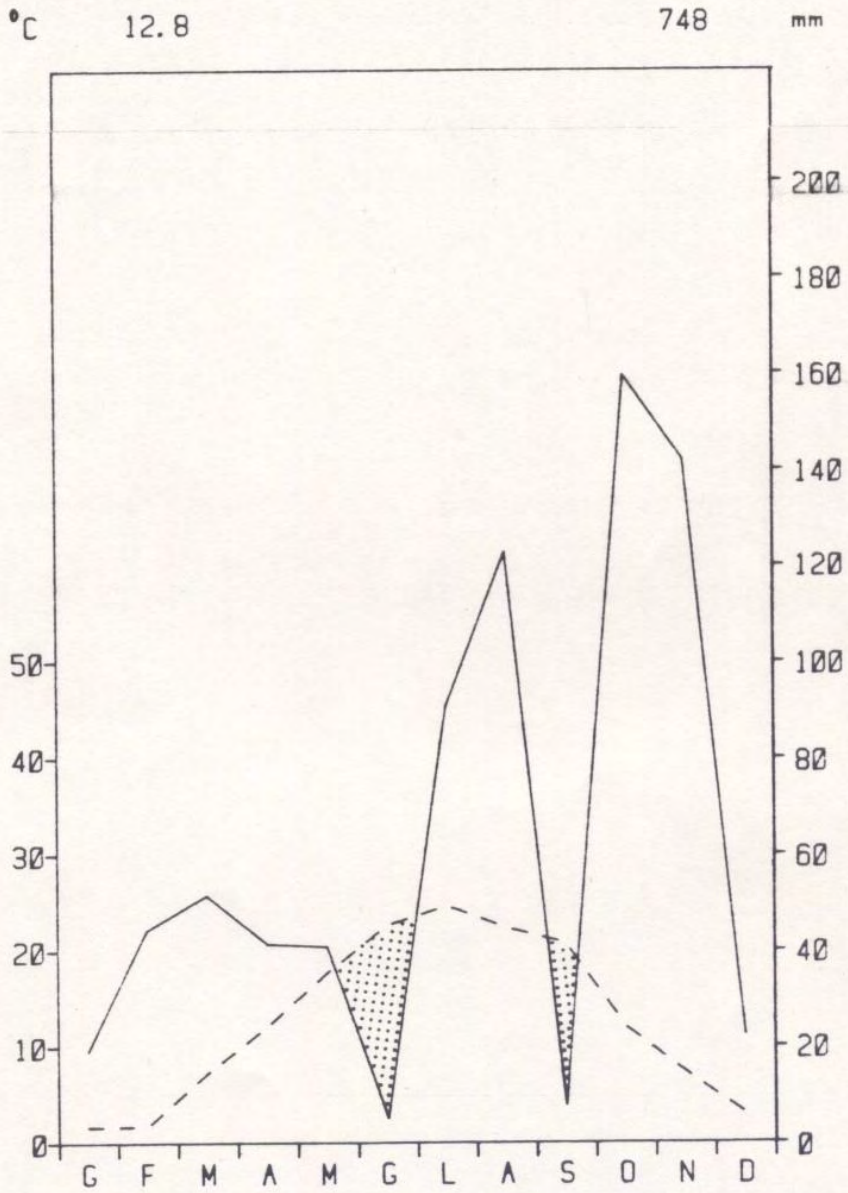


Fig. 4 - Station météorologique de Casale Monferrato. Graphique ombro-thermique selon Bagnouls-Gausson pour l'année 1982.

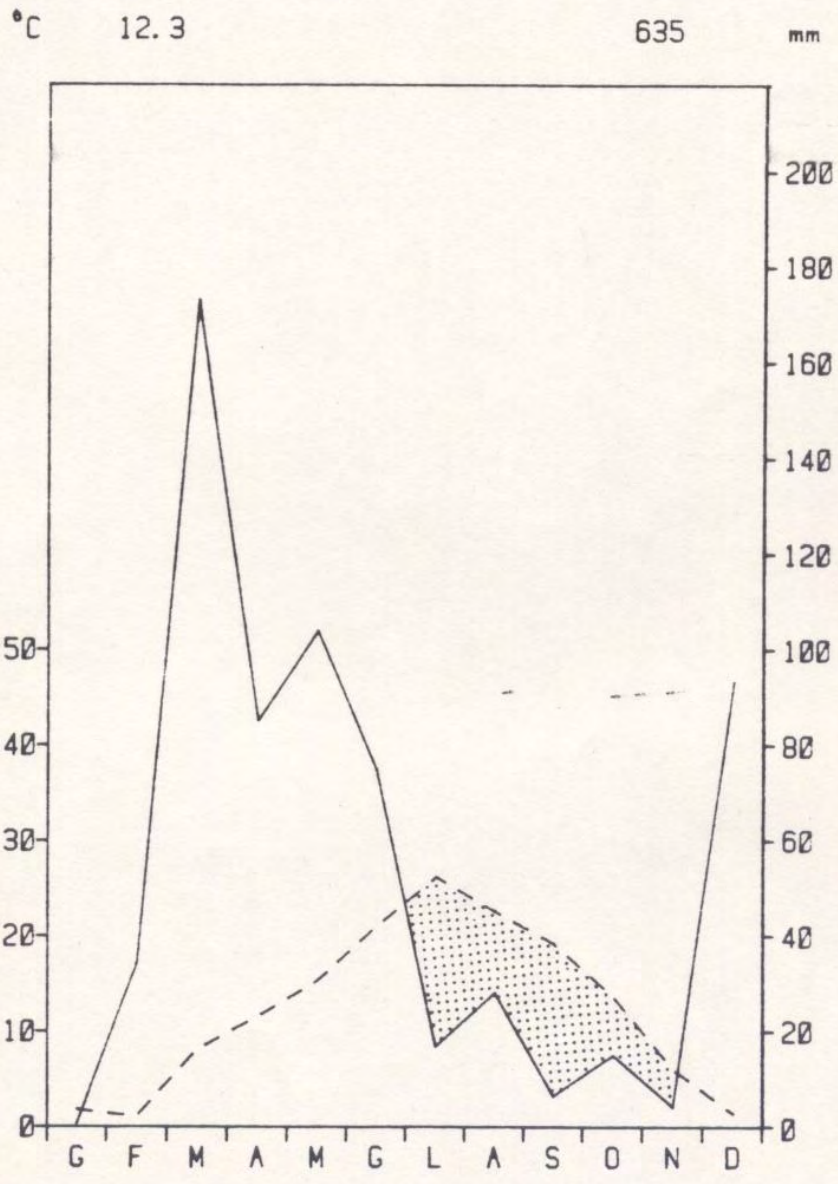


Fig. 5 - Station météorologique de Casale Monferrato. Graphique ombro-thermique selon Bagnouls-Gausson pour l'année 1983.

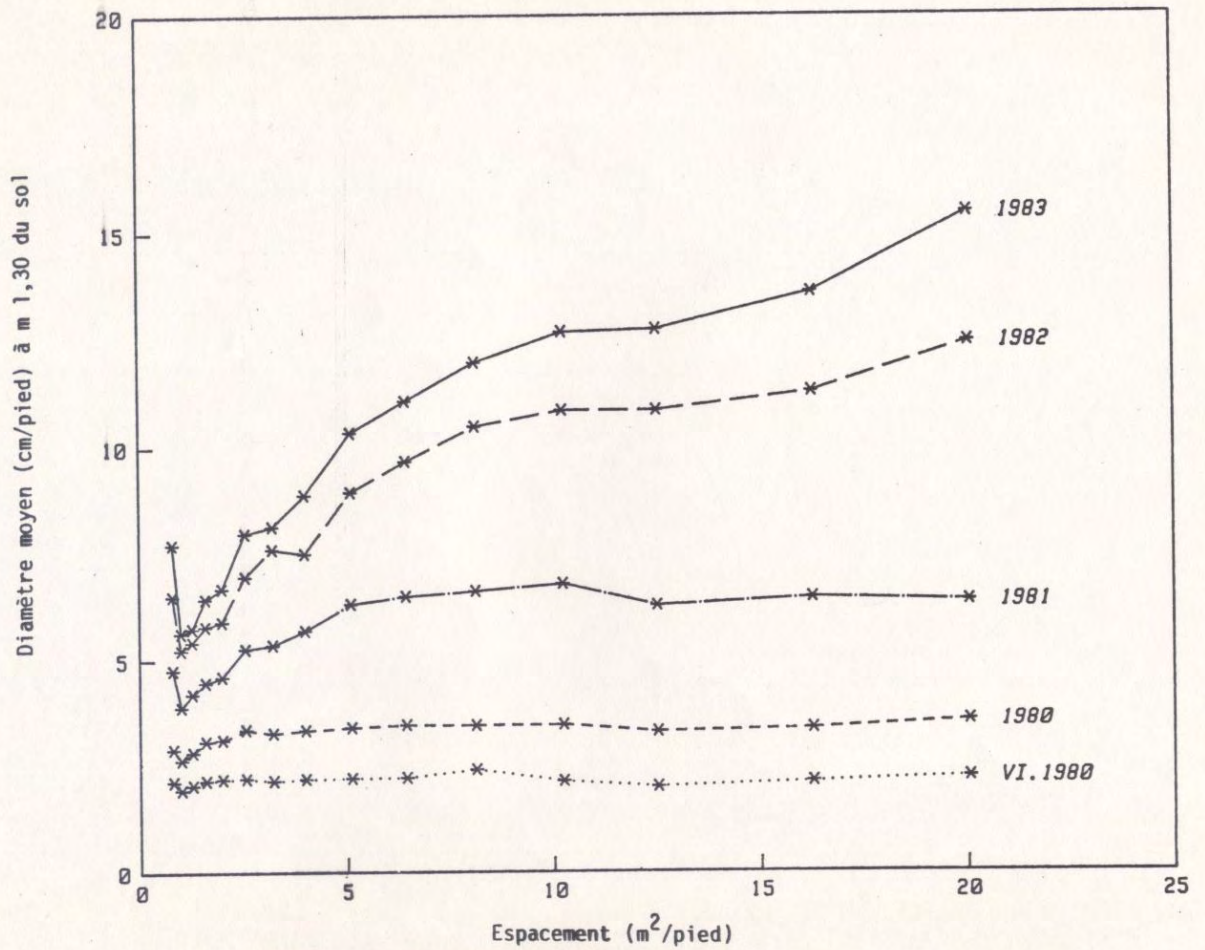


Fig. 6 - Accroissement sur le diamètre (à m 1,30 du sol) relevé pour une période de 4 ans depuis la mise en place.

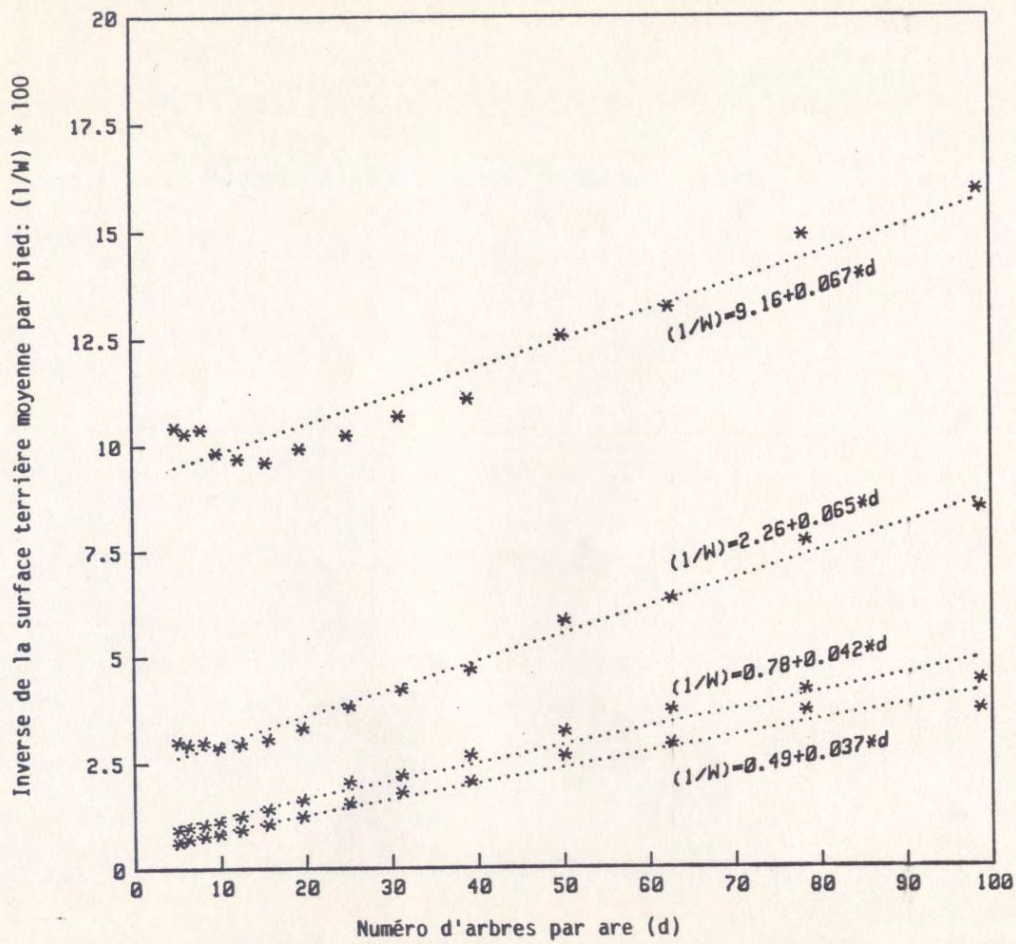


Fig. 7 - Etude de la relation entre l'accroissement et la densité de la plantation concernant les données relevées à la fin de chaque année pour une période de 4 ans depuis la mise en place.

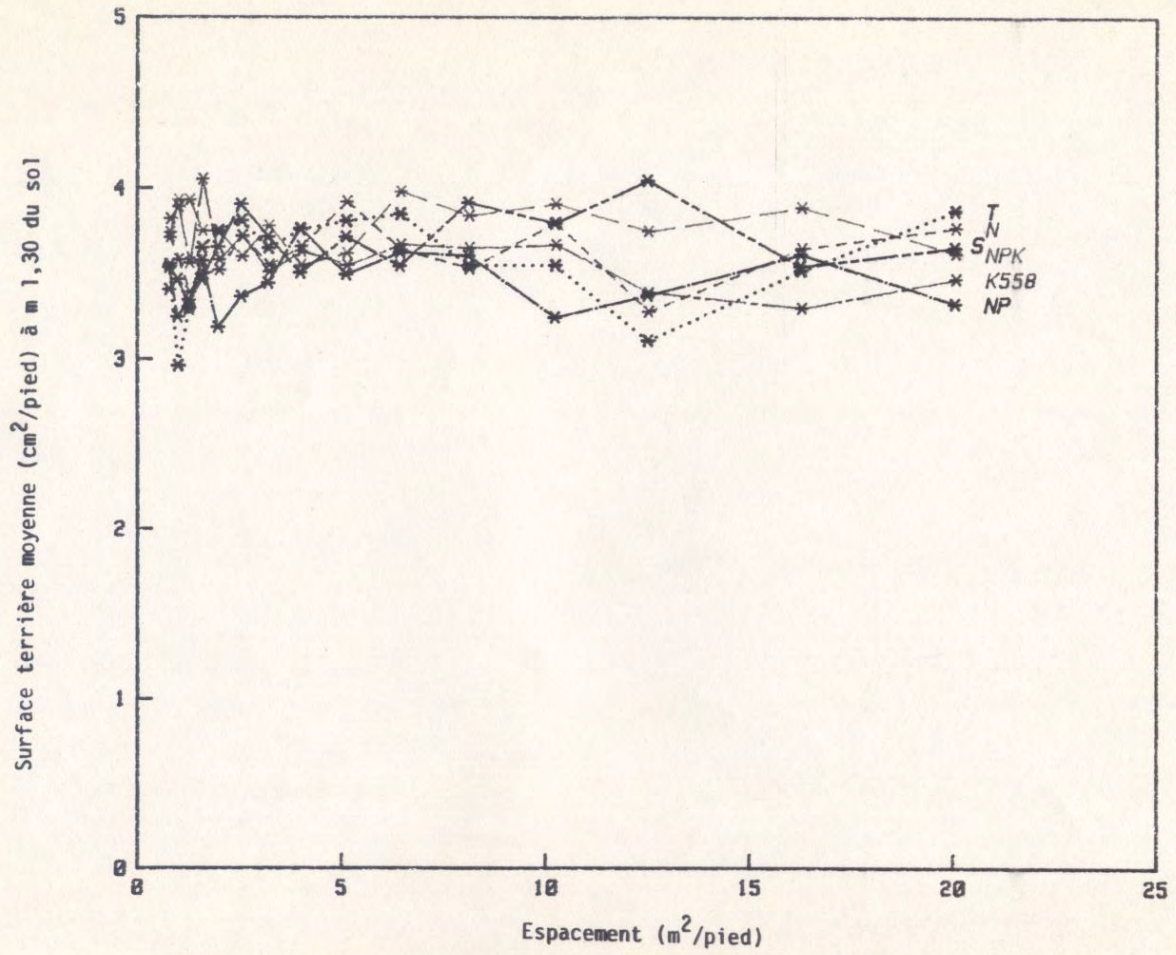


Fig. 8 - Influence de la fumure sur l'accroissement en fonction de l'espacement pendant la période printanière de la première année depuis la mise en place (relèvement effectué le 11.6.1980).

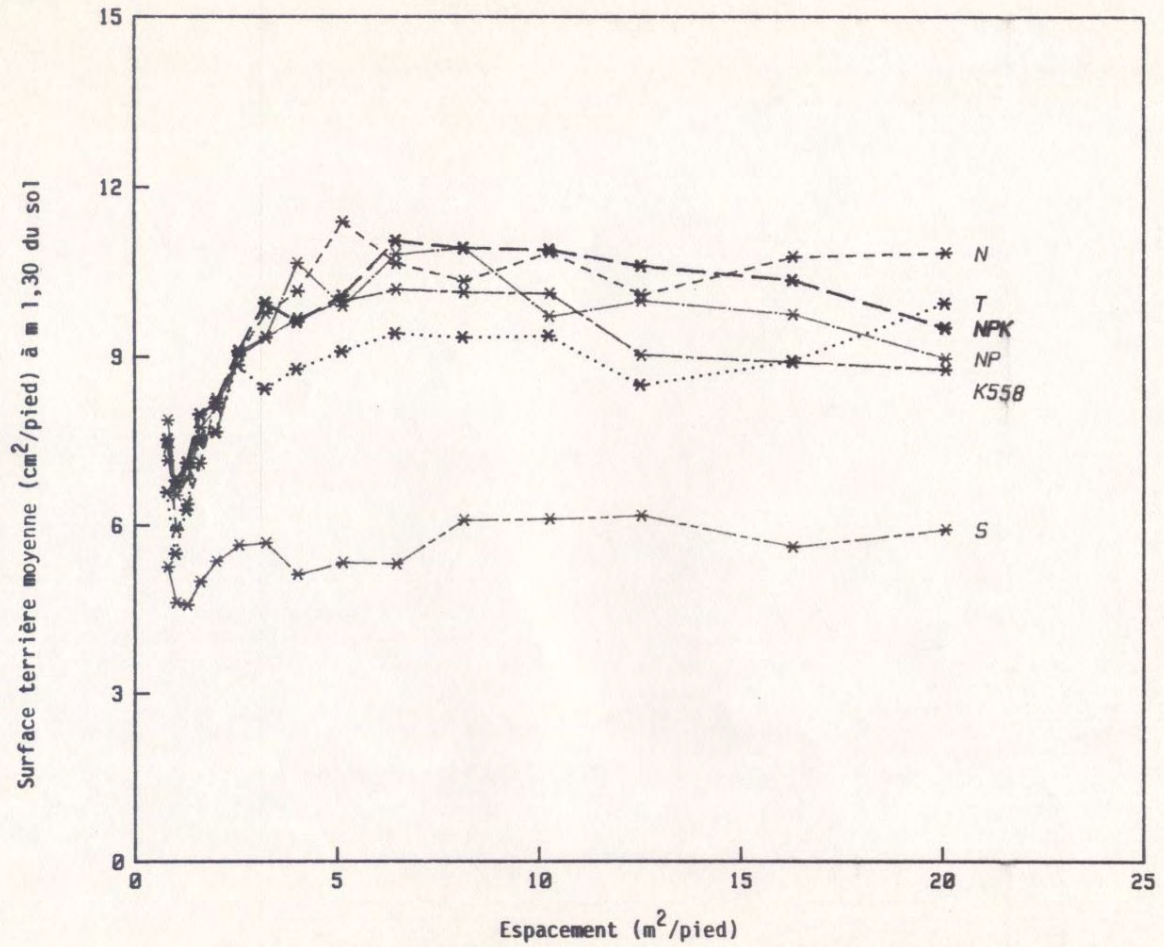


Fig. 9 - Influence de la fumure sur l'accroissement en fonction de l'espacement pendant la première année depuis la mise en place (relèvement effectué à la fin de 1980).

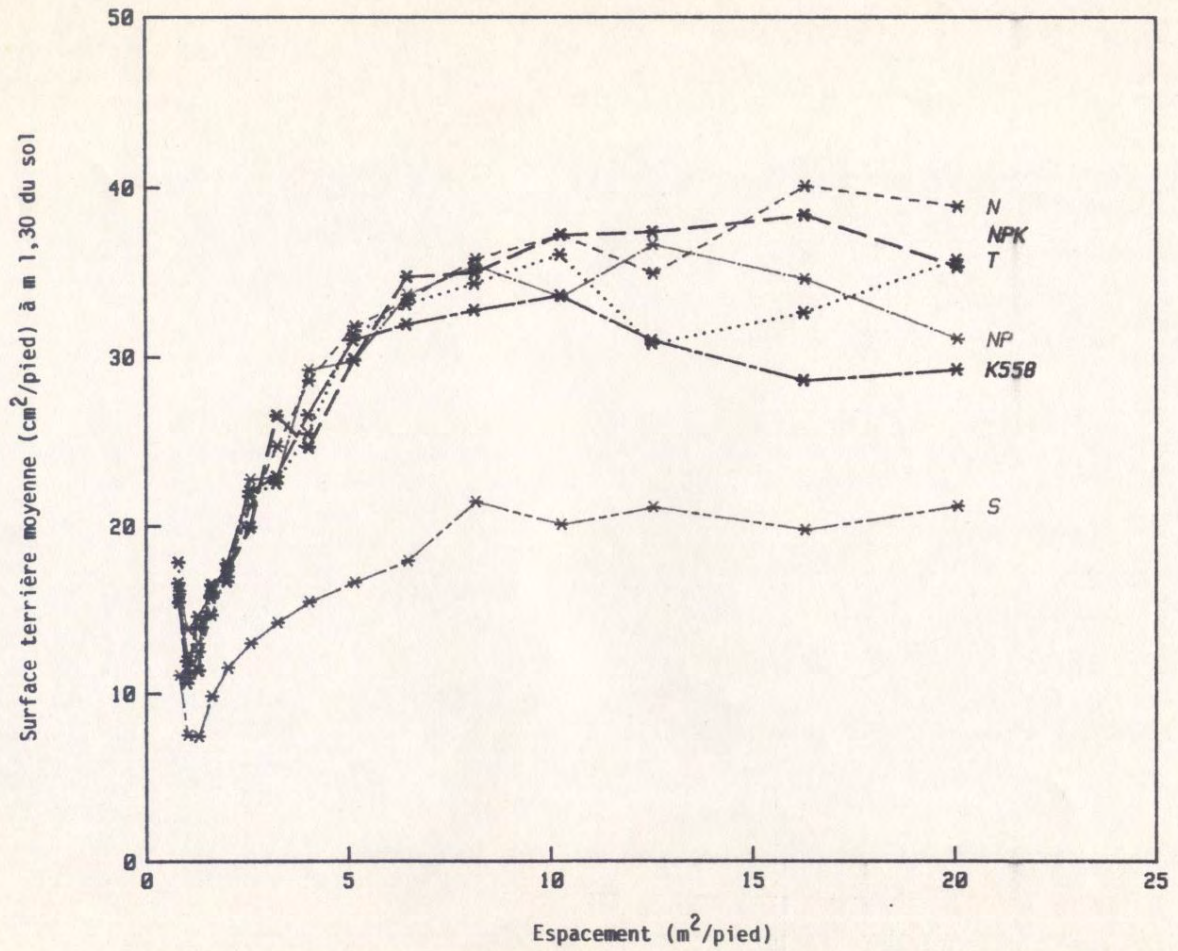


Fig. 10 - Influence de la fumure sur l'accroissement en fonction de l'espacement pendant les deux premières années depuis la mise en place (relèvement effectué à la fin de 1981).

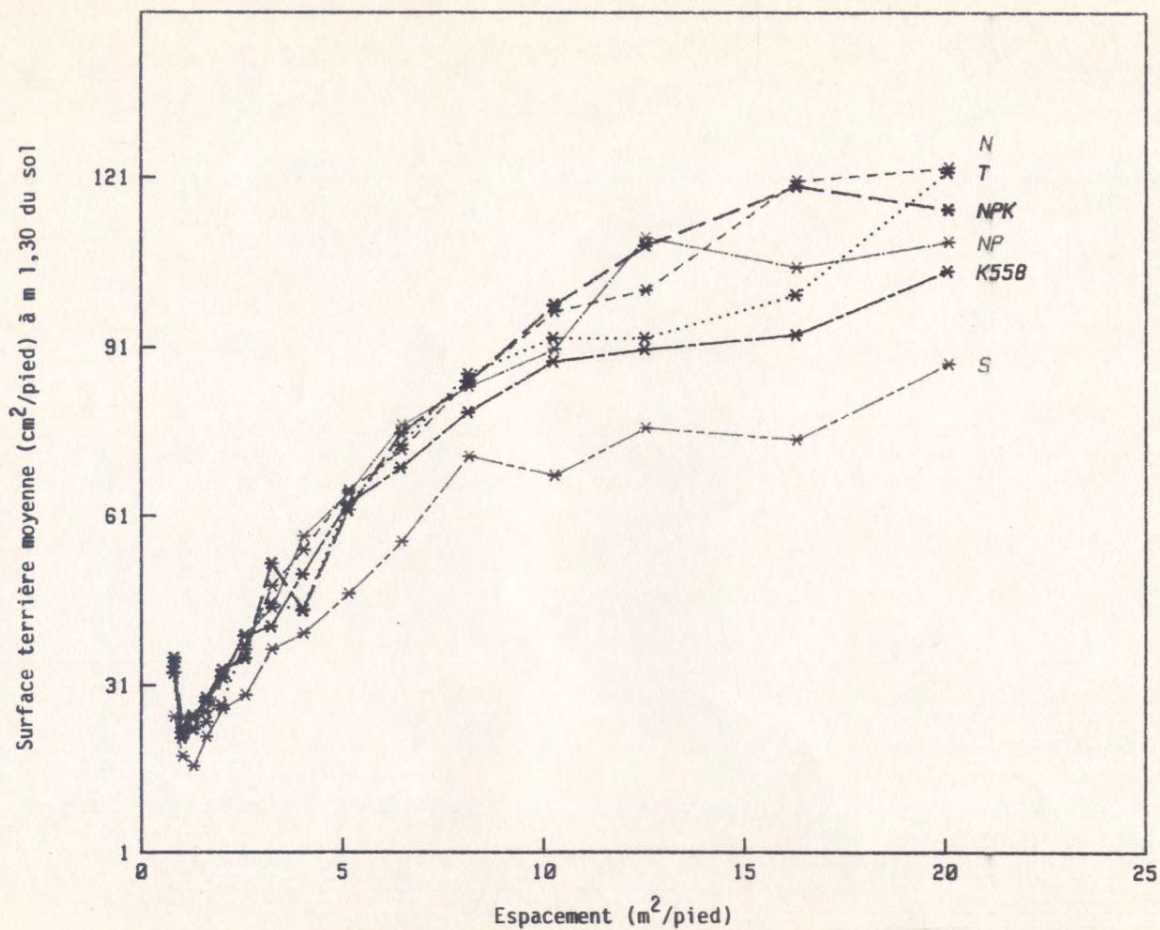


Fig.11 - Influence de la fumure sur l'accroissement en fonction de l'espacement pendant les trois premières années depuis la mise en place (relèvement effectué à la fin de 1982).

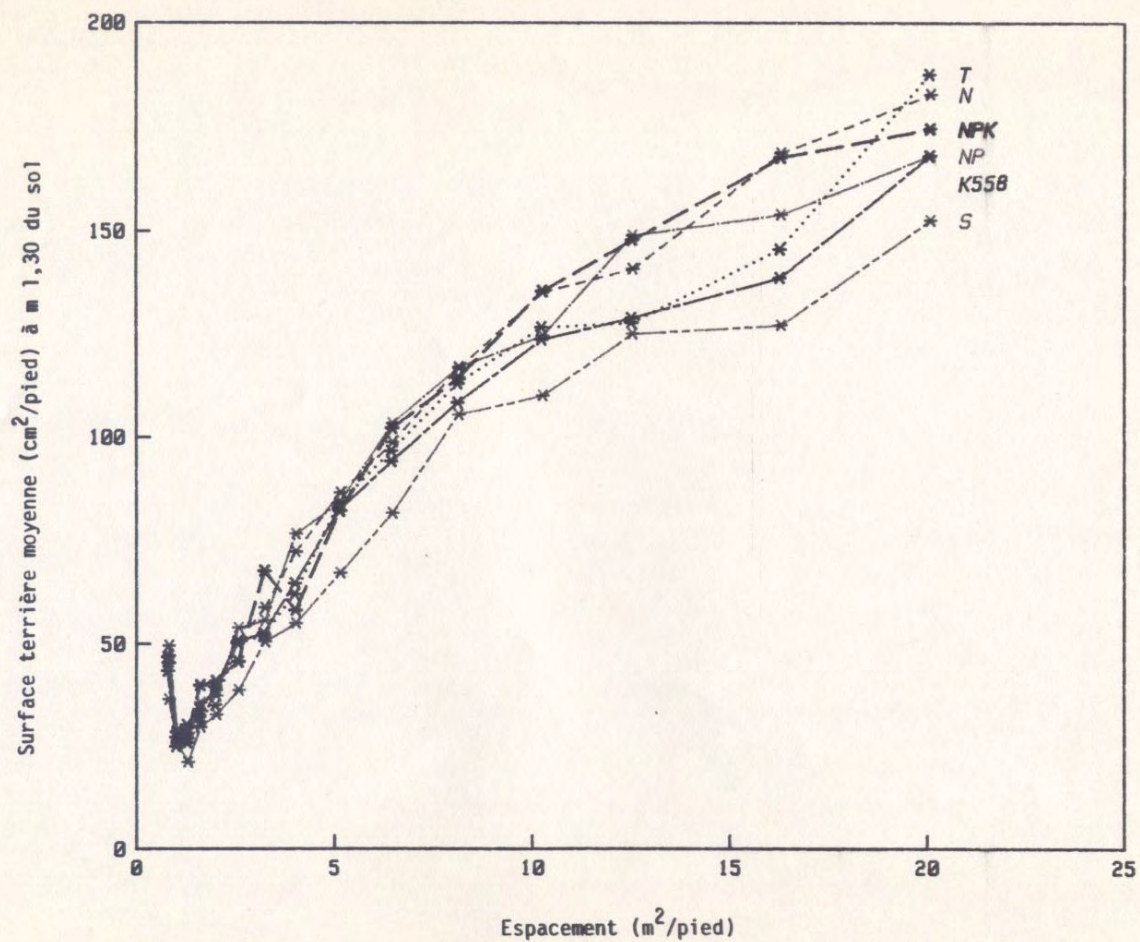


Fig. 12 - Influence de la fumure sur l'accroissement en fonction de l'espacement pendant les quatre premières années depuis la mise en place (relèvement effectué à la fin de 1983).

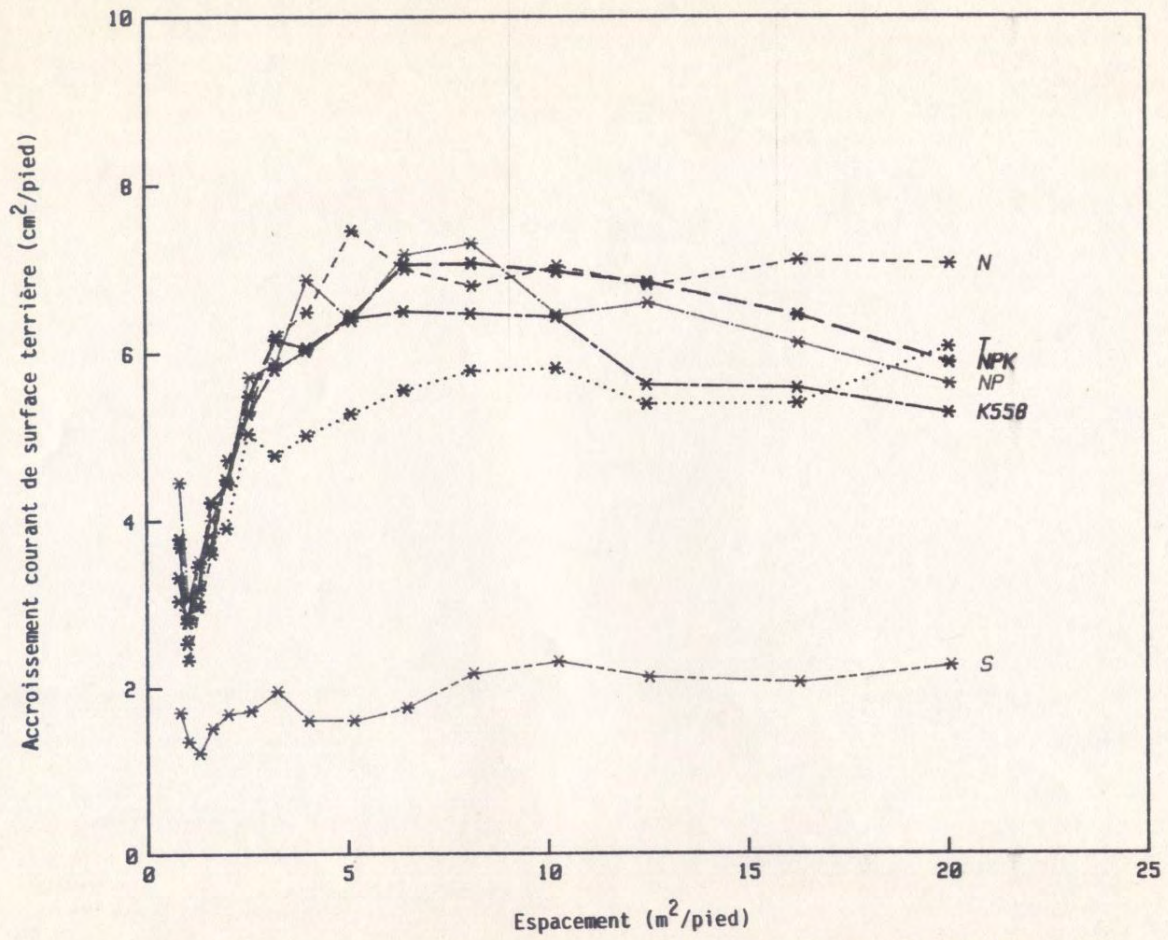


Fig. 13 - Accroissement courant de surface terrière en fonction de l'espacement pendant la première année de végétation (1980).

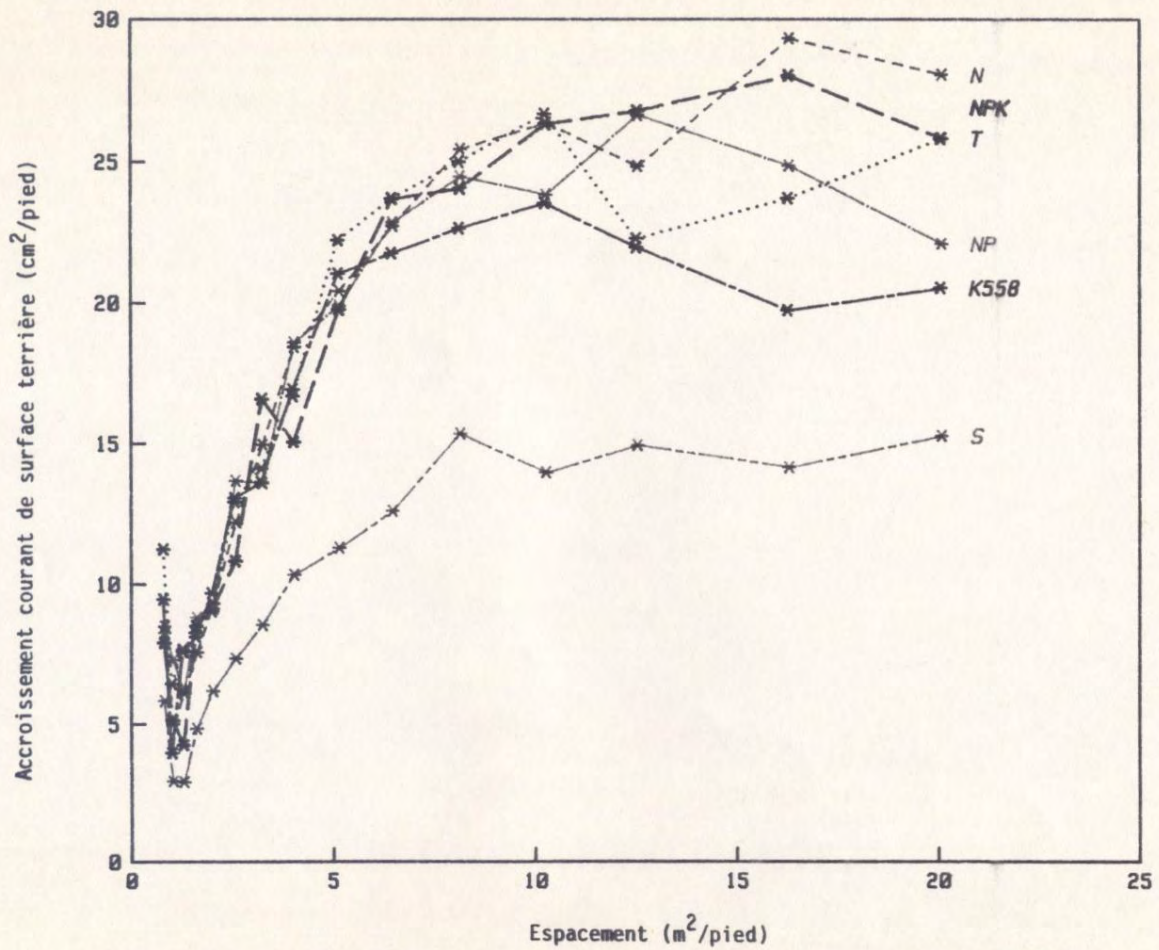


Fig. 14 - Accroissement courant de surface terrière en fonction de l'espacement pendant la seconde année de végétation (1981).

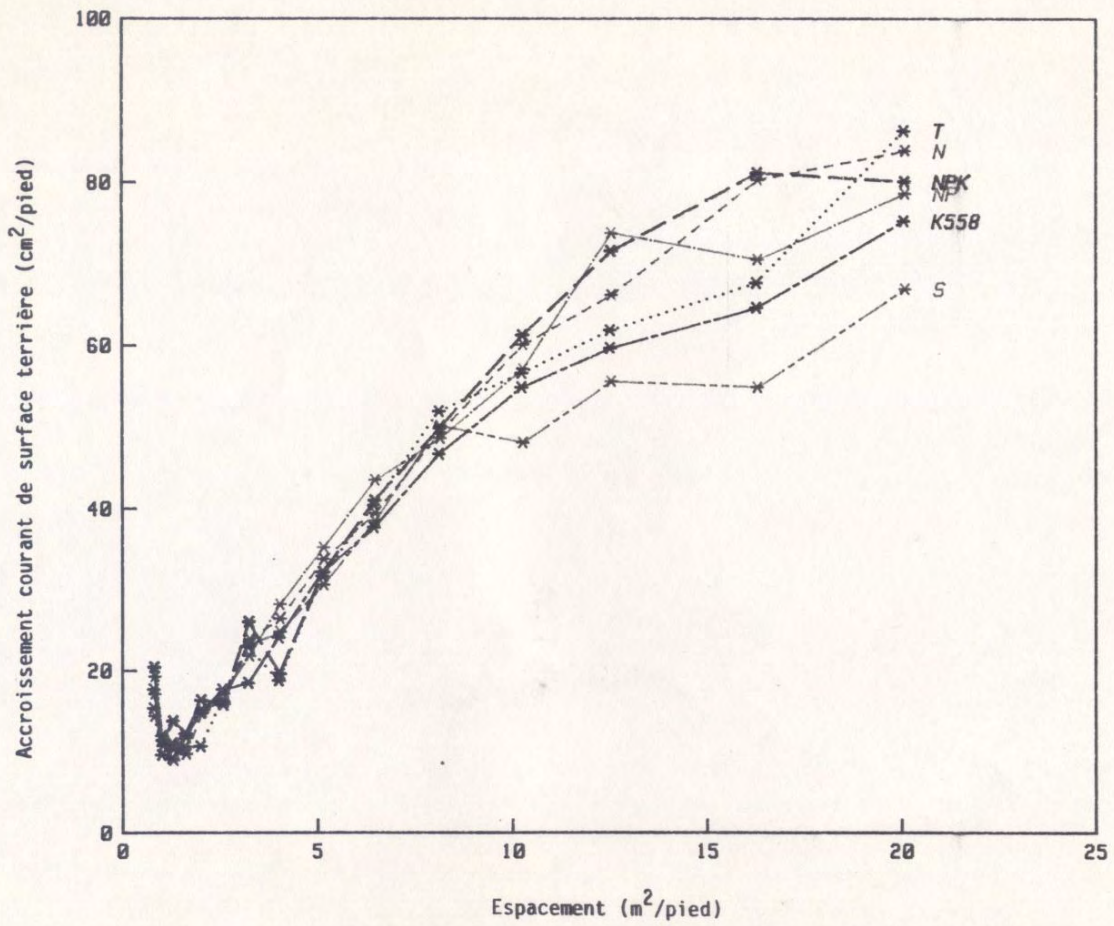


Fig. 15 - Accroissement courant de surface terrière en fonction de l'espacement pendant la troisième année de végétation (1982).

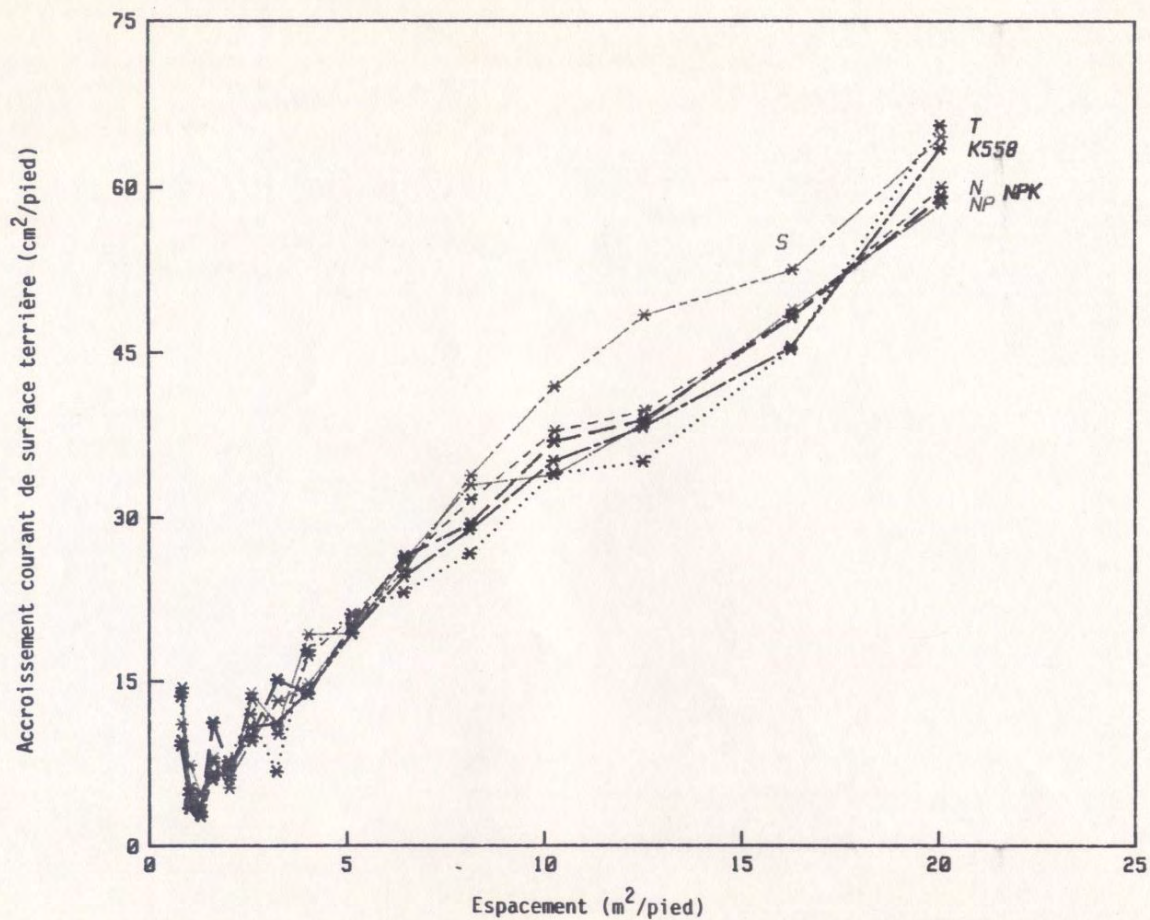


Fig. 16 - Accroissement courant de surface terrière en fonction de l'espacement pendant la quatrième année de végétation (1983).

Tab. 1 Analyses chimiques des échantillons de terrain, prélevés le 5.8.1982, se rapportant aux quatre espacements choisis pour chacun des 6 traitements fertilisants

Fumure	Espacement m ² /piéd	Réaction en pH	Taux de carbone	N ₂ %	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	p.p.m. MgO	Fe	Mn	Cu	Bo	Zn	Mo
Témoin	1,28	7,52	0,645	0,064	83,5	89,0	1734,5	72,0	111,7	4,7	1,90	0,430	2,40	0,16
	2,56	7,45	0,685	0,067	91,5	90,0	1848,0	86,0	108,7	8,2	1,75	0,325	1,85	0,23
	6,45	7,49	0,750	0,069	93,0	104,0	1862,0	77,0	87,7	8,1	1,90	0,340	2,55	0,31
	16,27	7,54	0,680	0,068	92,0	91,5	1795,5	72,0	88,2	6,4	1,85	0,580	2,60	0,19
Témoin (sorgho)	1,28	7,45	0,655	0,058	128,5	70,0	1773,0	76,5	92,0	5,6	1,65	0,560	1,95	0,12
	2,56	7,48	0,690	0,062	122,0	72,5	1850,5	77,5	90,7	9,6	1,65	0,305	1,80	0,12
	6,45	7,38	0,720	0,068	118,5	69,5	1949,5	82,0	90,7	4,2	1,80	0,465	2,20	0,33
	16,27	7,45	0,640	0,055	132,0	70,5	1705,0	65,5	88,2	5,7	1,85	0,680	2,10	0,21
N ₂	1,28	7,23	0,645	0,071	75,0	92,0	2025,0	59,0	102,2	4,6	1,75	0,370	1,85	0,15
	2,56	7,23	0,670	0,071	87,0	90,0	2023,0	82,5	101,0	11,6	1,60	0,530	1,60	0,22
	6,45	7,38	0,670	0,063	99,0	87,0	1890,0	78,0	101,5	7,0	1,80	0,270	2,35	0,39
	16,27	7,52	0,790	0,076	108,0	102,0	1946,5	79,5	80,2	3,5	1,75	0,415	2,55	0,27
NP	1,28	7,15	0,685	0,072	278,5	96,5	1896,0	78,5	65,5	5,6	1,45	0,510	2,65	0,25
	2,56	7,18	0,695	0,070	210,5	99,0	1814,0	71,0	81,7	8,9	1,50	0,445	1,65	0,23
	5,15	7,46	0,595	0,058	115,0	87,0	1596,0	58,5	95,0	5,5	1,30	0,315	2,35	0,38
	16,27	7,51	0,645	0,060	94,0	120,5	1678,0	69,5	85,5	7,5	1,55	0,420	2,15	0,21
NPK	1,28	7,21	0,790	0,078	280,5	277,0	1825,5	177,5	61,0	5,1	1,45	0,800	2,65	0,24
	2,56	7,27	0,770	0,067	228,0	151,5	1938,0	123,5	81,7	10,5	1,55	0,380	2,25	0,19
	6,45	7,37	0,630	0,060	121,0	72,5	1757,5	85,0	102,7	12,9	1,70	0,250	1,90	0,29
	16,27	7,48	0,600	0,051	90,0	82,0	1617,0	63,5	103,2	9,0	1,45	0,665	2,20	0,16
K 558	1,28	7,23	0,595	0,060	175,5	398,0	1296,5	67,5	93,0	7,0	1,35	0,510	2,70	0,14
	2,56	7,32	0,620	0,061	131,5	206,0	1471,0	67,5	102,2	12,1	1,40	0,380	1,40	0,21
	6,45	7,42	0,645	0,061	103,0	99,0	1634,5	63,0	111,5	9,3	1,80	0,305	2,50	0,34
	16,27	7,55	0,600	0,059	87,5	91,0	1605,0	59,0	58,2	6,7	1,55	0,330	2,40	0,29
Moyenne pour la fumure														
Témoin		7,50	0,690	0,067	90,0	93,6	1810,0	76,7	99,1	6,8	1,85	0,419	2,35	0,22
Témoin (sorgho)		7,44	0,676	0,061	125,2	70,62	1819,5	75,4	90,4	6,3	1,74	0,502	2,01	0,19
N ₂		7,34	0,694	0,070	92,2	92,7	1971,1	74,7	96,2	6,7	1,73	0,396	2,09	0,26
NP		7,33	0,655	0,065	174,5	100,7	1746,0	69,4	81,9	6,9	1,45	0,423	2,20	0,27
NPK		7,33	0,697	0,064	179,9	145,7	1784,5	112,4	87,2	9,4	1,54	0,521	2,25	0,22
K 558		7,38	0,615	0,060	124,4	198,5	1501,7	64,2	101,2	8,8	1,53	0,381	2,25	0,25
Moyenne pour l'espacement														
	1,28	7,30	0,669	0,067	170,2	170,4	1758,4	88,5	87,6	5,4	1,59	0,530	2,37	0,18
	2,56	7,32	0,688	0,066	145,1	118,2	1824,1	84,7	94,4	10,2	1,58	0,394	1,76	0,20
	6,45	7,42	0,668	0,063	108,2	86,5	1781,6	73,9	98,2	7,8	1,72	0,324	2,31	0,34
	16,27	7,51	0,659	0,062	100,6	92,92	1724,5	68,2	90,6	6,5	1,67	0,515	2,33	0,22
Moyenne générale		7,39	0,671	0,065	131,0	117,0	1772,1	78,8	92,7	7,5	1,64	0,441	2,19	0,24
Valeurs de F														
pour la fumure (f)		5,30**	0,92ns	1,39 ns	3,31*	30,6**	2,27 ns	7,52**	2,46ns	2,32ns	1,85ns	0,90 ns	0,89ns	1,47ns
pour l'espacement (e)		14,51**	0,21ns	0,98 ns	3,49*	30,3**	0,25 ns	3,42*	1,41ns	8,86**	0,50 ns	3,84*	7,52**	13,70**
pour l'interaction (f x e)		1,81ns	0,85ns	0,98 ns	1,18ns	14,5**	0,33 ns	2,91**	1,71ns	1,11ns	0,24 ns	0,93 ns	1,33ns	0,88 ns

ns = non significatif : * = significatif pour P=0,05 ; ** = significatif pour P=0,01 .

Tab. 2. Analyses chimiques des échantillons de feuilles prélevés le 5.8.1982, sur les plantes appartenant aux quatre espacements choisis pour chacun des 6 traitements fertilisants.

Fumure	Espacement m ² /piéd	Teneur en eau		Cendres % p.s.	% matière sèche						P.-P.M. matière sèche					
		% p.f.	% p.s.		N ₂	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	Bo	Mo	
Témoin	1,28	63,10	171,04	8,805	2,02	0,154	1,240	2,165	0,260	123,0	51,0	10,70	111,0	26,5	0,095	
	2,56	63,27	172,24	10,800	2,08	0,153	1,085	2,415	0,295	128,5	61,0	8,15	96,0	29,0	0,095	
	6,45	63,93	177,50	10,320	2,25	0,196	1,380	2,145	0,250	127,5	58,5	8,60	70,5	27,0	0,115	
	16,27	62,89	170,18	8,215	2,745	0,192	1,735	1,260	0,190	137,5	54,0	5,90	42,0	27,5	0,115	
Témoin (sorgho)	1,28	59,07	144,37	9,015	2,305	0,186	1,545	1,700	0,230	149,5	65,5	8,25	74,5	24,0	0,230	
	2,56	62,83	169,01	8,415	2,585	0,213	1,715	1,345	0,215	138,5	49,0	8,90	101,5	24,0	0,445	
	6,45	63,25	172,43	7,795	2,840	0,234	1,970	1,080	0,185	132,0	43,5	9,55	64,0	20,5	0,500	
	16,27	63,48	174,05	7,485	2,745	0,220	1,785	0,970	0,170	107,5	40,5	8,15	55,5	20,5	0,105	
N ₂	1,28	61,96	162,96	10,525	2,330	0,120	1,160	2,875	0,300	159,5	65,0	8,00	29,5	28,5	0,140	
	2,56	63,12	171,12	10,300	2,530	0,135	1,315	2,290	0,255	171,0	57,5	7,65	32,8	32,0	0,050	
	6,45	63,39	173,19	10,005	2,470	0,138	1,500	2,050	0,210	146,0	53,0	7,30	33,0	26,0	0,215	
	16,27	64,53	181,93	8,785	2,675	0,188	1,705	1,450	0,170	173,5	51,5	6,90	32,0	30,0	0,035	
NP	1,28	64,25	179,74	9,880	2,475	0,141	1,350	2,750	0,275	213,5	73,5	6,65	24,5	27,0	0,110	
	2,56	65,12	187,16	11,305	2,635	0,131	1,455	2,300	0,285	344,0	62,5	7,00	27,0	22,5	0,095	
	6,45	64,15	179,37	11,070	2,400	0,143	1,515	2,200	0,215	304,5	62,0	7,15	26,5	31,0	0,095	
	16,27	63,34	174,84	9,090	2,655	0,183	1,735	1,425	0,150	277,0	50,0	6,80	32,5	25,5	0,020	
NPK	1,28	63,79	176,34	9,505	2,815	0,151	1,725	2,030	0,295	149,5	61,5	5,85	26,5	25,5	0,110	
	2,56	63,17	171,61	9,545	2,790	0,146	1,730	1,850	0,220	145,0	54,0	5,95	27,5	19,5	0,120	
	6,45	63,36	173,09	9,200	2,705	0,195	1,570	1,715	0,210	137,0	50,5	7,85	31,0	21,5	0,135	
	16,27	63,55	175,66	7,990	2,780	0,196	1,870	1,100	0,160	120,0	47,5	4,90	36,0	28,0	0,090	
K 558	1,28	63,70	176,30	9,480	2,335	0,124	1,905	2,190	0,170	101,0	66,5	6,70	20,5	29,0	0,475	
	2,56	63,01	176,69	10,255	2,475	0,147	1,810	1,935	0,185	147,5	50,0	8,10	28,0	32,5	0,275	
	6,45	64,02	178,32	10,750	2,395	0,172	1,660	2,090	0,175	152,5	58,0	7,05	38,0	29,0	0,160	
	16,27	62,61	168,37	8,770	2,645	0,181	1,715	1,405	0,140	142,5	52,5	7,05	40,5	27,5	0,045	
Moyenne pour la fumure																
Témoin		63,30	172,74	9,535	2,274	0,173	1,360	1,996	0,249	129,1	56,1	8,34	79,9	27,5	0,105	
Témoin (sorgho)		62,16	164,97	8,177	2,610	0,213	1,754	1,274	0,200	131,8	49,6	8,71	73,9	22,2	0,320	
N ₂		63,25	172,30	9,904	2,501	0,145	1,420	2,166	0,234	162,5	56,7	7,46	31,8	29,1	0,110	
NP		64,21	180,28	10,336	2,541	0,149	1,514	2,169	0,231	204,7	64,0	6,90	27,6	26,5	0,080	
NPK		63,47	174,18	9,060	2,772	0,172	1,724	1,674	0,211	140,4	53,4	6,14	30,2	23,9	0,114	
K 558		63,54	174,92	9,814	2,463	0,156	1,773	1,905	0,168	135,9	56,7	7,23	31,7	29,5	0,239	
Moyenne pour l'espacement																
	1,28	62,64	168,46	9,535	2,300	0,146	1,487	2,285	0,248	149,3	63,8	7,69	47,7	26,9	0,193	
	2,56	63,55	174,64	10,103	2,516	0,154	1,516	2,022	0,243	179,1	55,7	7,63	52,1	26,6	0,180	
	6,45	63,68	175,65	9,857	2,510	0,179	1,599	1,800	0,208	166,5	54,2	7,92	43,8	25,8	0,203	
	16,27	63,40	174,17	8,389	2,708	0,193	1,757	1,268	0,163	161,3	50,7	6,62	39,7	26,5	0,068	
Moyenne générale																
		63,32	173,23	9,471	2,528	0,168	1,591	1,864	0,215	164,1	56,1	7,46	45,8	26,5	0,161	
Valeurs de F																
pour la fumure (f)		0,97 _{ns}	0,95 _{ns}	3,44*	2,58 _{ns}	6,02**	4,36*	4,36*	5,46**	4,33**	3,09**	4,29**	33,38**	23,10**	2,45 _{ns}	
pour l'espacement (e)		0,71 _{ns}	0,61 _{ns}	5,11**	2,55 _{ns}	7,07**	2,88*	10,97**	14,74**	0,27 _{ns}	6,37**	2,41 _{ns}	2,40 _{ns}	5,08**	1,57 _{ns}	
pour l'interaction (f x e)		0,58 _{ns}	0,48 _{ns}	0,44 _{ns}	0,51 _{ns}	0,51 _{ns}	0,42 _{ns}	0,36 _{ns}	0,70 _{ns}	0,19 _{ns}	0,80 _{ns}	1,08 _{ns}	3,66**	0,59 _{ns}	0,71 _{ns}	

ns = non significiant; * = significiant pour P = 0,05; ** = significiant pour P = 0,01

Tab. 3 - Résultats de l'étude de la corrélation multiple de la teneur en minéraux des feuilles (Y) avec l'espacement (X_1) et avec la teneur en minéraux du terrain (X_2). Elaboration effectuée sur les données analytiques considérées globalement.

Elément	Valeurs de F			Coefficients de corrélation			
	Régression	X_1	X_2	Multiple	X_1 vs X_2	X_1 vs Y	X_2 vs Y
Azote	4,07*	6,94*	1,21n.s.	0,2796n.s.	-0,328n.s.	0,488*	0,032n.s.
Phosphore	5,02*	0,86**	0,18n.s.	0,3235n.s.	-0,406n.s.	0,564*	-0,299n.s.
Potassium	8,38**	7,52*	9,24**	0,4440n.s.	-0,296n.s.	0,446*	0,341n.s.
Calcium	11,49**	22,85**	0,14n.s.	0,5226*	-0,149n.s.	-0,721**	0,162n.s.
Magnésium	11,42**	22,75**	0,10n.s.	0,5210*	-0,310n.s.	-0,720**	0,268n.s.
Fer	0,96n.s.	0,00n.s.	1,92n.s.	0,0837n.s.	-0,002n.s.	-0,006n.s.	-0,289n.s.
Manganèse	4,82*	8,01**	1,63n.s.	0,3147n.s.	-0,163n.s.	-0,511*	-0,144n.s.
Cuivre	7,76**	4,36*	11,15**	0,4249n.s.	0,206n.s.	-0,346n.s.	0,469*
Bore	0,06n.s.	0,03n.s.	0,10n.s.	0,0056n.s.	0,139n.s.	-0,029n.s.	-0,072n.s.
Zinc	0,36n.s.	0,52n.s.	0,19n.s.	0,0329n.s.	0,255n.s.	-0,155n.s.	-0,131n.s.
Molibdène	1,57n.s.	3,06n.s.	0,09n.s.	0,1302n.s.	0,257n.s.	-0,356n.s.	-0,150n.s.

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