



Ecole Supérieure d'Ingénieurs
et de Techniciens Pour l'Agriculture

Mémoire de Fin d'Etudes

Etude des effets de la densité sur
la croissance et le développement
du lin textile

Réalisée à l'Institut Technique du Lin
dans le cadre d'une convention ITL/CIRAD

Présenté par Antoine CANIS
85^{ème} promotion

Mémoire présenté le 31 janvier 1989 devant la commission du jury:

MM B. BOUGLÉ
A.EYSSAUTIER
Melle E. MOREAU
Mr J.P. VIGIER

Ecole Supérieure d'Ingénieurs
et de Techniciens Pour l'Agriculture

Mémoire de Fin d'Etudes

Etude des effets de la densité sur
la croissance et le développement
du lin textile

Réalisée à l'Institut Technique du Lin
dans le cadre d'une convention ITL/CIRAD

Présenté par Antoine CANIS
85^{ème} promotion

Mémoire présenté le 31 janvier 1989 devant la commission du jury:

MM B. BOUGLÉ
A.EYSSAUTIER
Melle E. MOREAU
Mr J.P. VIGIER

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier Monsieur EYSSAUTIER qui m'a accueilli à l'Institut Technique du Lin en tant que stagiaire. Son soutien lors de la réalisation de cette étude a été apprécié.

Je remercie également Monsieur DAUZAT du laboratoire de modélisation du CIRAD qui m'a conseillé et guidé dans l'exploitation des résultats. Je le remercie aussi pour l'aide précieuse qu'il m'a apporté lors de la rédaction de ce rapport.

Je remercie Monsieur De REFFYE, responsable du laboratoire de modélisation du CIRAD pour l'intérêt qu'il a manifesté à l'égard de mes résultats et de leur interprétation.

Enfin, je remercie toutes les personnes du laboratoire de modélisation du CIRAD pour l'aide et les conseils qu'ils m'ont apportés au cours de mon séjour parmi eux.



1)	INTRODUCTION	p. 4
	1.1/ Motivation de l'étude:	p. 4
	1.2/ Généralités sur la croissance du lin fibre	p. 5
	1.3/ Quels facteurs étudier?	p. 6
2)	PROTOCOLE EXPERIMENTAL	p. 7
	2.1/ Les traitements.	p. 7
	2.1.1/ Densité de semis.	
	2.1.2/ Mode de semis.	
	2.2/ Le dispositif expérimental.	p. 8
	2.2.1/ Le dispositif choisi.	
	2.2.2/ La dimension des parcelles.	
	2.3/ Implantation de l'essai.	p. 12
	2.3.1/ Matériel végétal.	
	2.3.2/ Description du site.	
	2.3.3/ Préparation du sol:	
	2.3.4/ Le semis.	
	2.4/ Protocole de mesures.	p. 15
	2.4.1/ Les observations en cours de végétation.	
	2.4.2/ Observations au stade de récolte:	
	2.5/ Conduite de l'essai et conditions de culture.	p. 19
	2.5.1/ Conditions de levée.	
	2.5.2/ Arrosages.	
	2.5.3/ Conditions de végétation.	
3)	EFFET DE LA DENSITE ET DU MODE DE SEMIS SUR LE DEVELOPPEMENT ET LA CROISSANCE	p. 21
	3.1/ Mortalité et évolution des densités.	p. 21
	3.2/ Nombre d'entre-noeuds.	p. 26
	3.2.1/ Effets des traitements.	
	3.2.2/ Analyse des distributions des nombres d'entre-noeuds.	
	3.2.3/ Conclusion à l'étude des entre-noeuds.	

3.3/ Elongation de la tige.	p. 32
3.3.1/ Longueur de l'axe principal.	
3.3.2/ Elongation des entre-noeuds.	
3.4/ Etude du diamètre à 5 cm.	p. 40
3.4.1/ Evolution dans le temps du diamètre.	
3.4.2/ Analyse de la relation entre le diamètre et la densité des plantes.	
3.5/ Mise en place des feuilles.	p. 46
3.5.1/ Etude de la longueur des feuilles.	
3.5.2/ Approche de la surface foliaire des plantes.	
3.5.3/ Evaluation de l'indice foliaire.	
3.6/ Inflorescence.	p. 52
3.6.1/ Observation des ramifications.	
3.6.2/ Observation des boutons floraux.	
3.6.3/ Relation entre nombre de boutons et nombre de ramifications.	
3.7/ Production fibreuse.	p. 58
3.7.1/ Observation du nombre de faisceaux de fibres:	
3.7.2/ Microbroyages.	
3.7.3/ Production fibreuse ramenée à la surface.	
4) ANALYSE BIOMETRIQUE	p. 72
4.1/ Nombre d'entre-noeuds.	p. 72
4.1.1/ Corrélation avec d'autre variables.	
4.1.2/ Relation interne exprimant le nombre d'entre-noeuds	
4.2/ Hauteur des tiges.	p. 83
4.2.1/ Analyse de covariance.	
4.2.2/ Modèle explicatif de la hauteur des plantes.	
4.3/ Inflorescence.	p. 91
4.3.1/ Analyse de covariance.	
4.3.2/ Régéssions linéaires des nombres de ramifications et de boutons.	
4.4/ Production fibreuse.	p. 93
4.4.1/ Prédiction de la production de pailles.	
4.4.2/ Prédiction de la production fibreuse	
4.4.3/ Ajustement du nombre de faisceaux en fonction du diamètre	
5) CONCLUSIONS	p. 96



LISTE DES VARIABLES UTILISEES p. 101

ANNEXES p. 103

BIBLIOGRAPHIE p. 125

1) INTRODUCTION

1.1/ Motivation de l'étude

La production de lin fibre subit de grandes variations d'une année à l'autre, d'une région à l'autre et même entre deux parcelles voisines. L'enquête "qualité-lin" réalisée chaque année par l'ITL nous montre les différences inter-annuelles de caractéristiques des tiges (variations des hauteurs, des diamètres, du nombre de feuilles ou de faisceaux de fibres...). L'objectif de l'ITL est de comprendre ces variations quantitatives et qualitatives de la production. L'étude de la croissance et du développement du lin devrait permettre d'optimiser les conditions culturales et les interventions du liniculteur.

Dans cet objectif, l'ITL a fait appel au laboratoire de modélisation des plantes du CIRAD/GERDAT pour étudier le développement et la croissance du lin. En effet le laboratoire de modélisation du CIRAD a mis au point une méthodologie pratique pour étudier avec précision la croissance et l'architecture des plantes. Les bases théoriques sont les concepts architecturaux de Halle et Oldman et le modèle mathématique probabiliste mis au point au CIRAD;

Le laboratoire de modélisation a débuté ces travaux par l'étude de plantes tropicales (caféier, cotonnier, litchi, hévéa, palmier, cacaoyer, ...). Dans le cadre de conventions avec des organismes de recherche métropolitains, l'application de la méthodologie s'est élargie à l'étude de plantes tempérées: arbres fruitiers avec le CTIFL et l'INRA (abricotier, cerisier, pommier), arbres forestiers avec l'IDF (merisier, peuplier, platane), soja avec l'ENSAT et tournesol avec le CNRS.

L'ITL s'est intéressé à l'approche de la croissance des plantes proposée par le laboratoire. En 1988, une étude de faisabilité a permis de dégager des paramètres majeurs dans la structure du lin au cours de sa croissance. Il s'agissait en fait d'une analyse biométrique assez générale, basée sur des observations d'une linière en fin de floraison.

1.2/ Généralités sur la croissance du lin fibre

Durant leur cycle végétatif, les plantes subissent deux processus d'évolution simultanés: développement et croissance.

Le développement concerne la formation d'organes nouveaux tels que racines, feuilles, fleurs, etc... L'initiation de ces organes n'est très souvent même pas visible. L'apex au sommet de la tige développe l'appareil végétatif jusqu'à une hauteur de 10 à 15 cm. Il se transforme ensuite en système reproducteur au cours de l'initiation florale. Avant cette initiation, le nombre de feuilles est totalement défini ainsi que l'espérance de la production fibreuse. Toutes les conditions de végétation pendant cette période auront une incidence sur le potentiel de la plante qui doit trouver dans son environnement tous les éléments dont elle a besoin.

La croissance est l'expression plus ou moins complète du potentiel initié au cours du développement. Elle intervient au long du développement et se prolonge bien au-delà. Les conditions climatiques jouent ici aussi un rôle très important.

C'est donc pendant la phase végétative que sont formés les entre-noeuds. Le nombre d'entre-noeuds formés dépend des conditions de culture et principalement des conditions agro-météorologiques: ceci explique que les variations inter-annuelles soient relativement importantes. Le nombre d'entre-noeuds formés à l'issue de la période végétative n'est pas observable à ce stade. L'étude 1988 a cependant montré que le nombre total d'entre-noeuds formés est corrélé avec la densité d'entre-noeuds à la base de la tige. Le diamètre à 5 cm., indicateur de la vigueur des plantes, est également corrélé au nombre d'entre-noeuds formés. Il est ainsi possible d'avoir assez tôt une estimation du nombre total d'entre-noeuds à partir de la densité d'entre-noeuds dans la partie basale de la tige.

Au début de la phase reproductrice, la plantule a une hauteur de 10 à 15 cm. Pendant cette phase, l'élongation des entre-noeuds formés est très rapide. Du fait de la rapidité de cette élongation, la hauteur finale des tiges est avant tout conditionnée par l'état de la plante au stade plantule. Elle est également corrélée au diamètre basal des tiges (cf. étude préliminaire 1988 DAUZAT, DE REFFYE)).



1.3/ Quels facteurs étudier?

La présente étude doit permettre, par la mise en place d'un essai, d'affiner les résultats en contrôlant certains facteurs (densité, mode de semis) et d'aborder la production fibreuse. (L'étude 1988 a en effet montré que les différentes variables étudiées (hauteur, nombre d'entre-noeuds, diamètre) variaient avec la densité locale des plantes prélevées). Le contrôle de la densité permet également de quantifier l'éclaircissage et avoir une idée de la densité maximale résultante. L'étude du mode de semis a pour objet de comprendre si l'effet de la densité se fait sentir de la même manière avec un semis en ligne ou un semis régulier. En effet, certains liniculteurs s'intéressent à l'augmentation de la densité de semis en pratiquant un semis étalé, afin d'augmenter la finesse des fibres produites. Par la comparaison du mode de semis en ligne et du mode de semis en plein (répartition des graines en quinconce sur le sol) on pourra juger de l'effet de la répartition des graines sur les facteurs étudiés.

2) PROTOCOLE EXPERIMENTAL

2.1/ Les traitements

Comme nous l'avons introduit précédemment, le but de l'expérimentation est de contrôler l'effet de la densité et l'effet du mode de semis sur le développement et la croissance du lin. Cette observation sera effectuée par analyses biométriques de plantes prélevées pour chaque traitement.

2.1.1/ Densité de semis

En condition de culture, le lin est généralement semé à une densité proche de 2000 plantes par m^2 . Cette densité peut néanmoins être augmentée à environ 3000 avec un semis étalé. L'objectif essentiel du semis à forte densité est d'améliorer la finesse des fibres et accessoirement le rendement. Ce semis se fait alors en lignes très rapprochées ou en plein pour ne pas augmenter la sensibilité à la verse des plantes. Dans cette étude on choisit des densités extrêmes afin de mieux mettre en évidence le comportement de la plante: la densité la plus faible (570 graines/ m^2) doit permettre d'observer des plantes en conditions de faible compétition. La densité maximale choisie dans cet essai est par contre très élevée (11547 graines/ m^2). Elle induira une très forte compétition entre les plantes et nous permettra d'observer l'auto-éclaircissage. Entre ces deux densités extrêmes, trois densités intermédiaires ont été retenues (1283, 2887 et 5132 graines/ m^2). Ces 5 densités sont en progression géométrique.

2.1.2/ Mode de semis

Deux modes de semis différents seront appliqués aux 5 densités décrites précédemment: un semis en lignes et un semis en plein.

a) Mode de semis en ligne:

Les lignes de semis sont espacées de 10 cm. Cette distance permet une bonne occupation de l'inter-ligne par les plantes. En fonction des

densités de semis choisies, les distances moyennes entre les plantes sur la ligne seront de :

- 17,54 mm pour la densité N° 1 (570 graines/m²)
- 7,79 mm pour la densité N° 2 (1283 graines/m²)
- 3,46 mm pour la densité N° 3 (2887 graines/m²)
- 1,95 mm pour la densité N° 4 (5132 graines/m²)
- 0,87 mm pour la densité N° 5 (11547 graines/m²)

b) Mode de semis étalé:

L'objectif du mode de semis étalé est de répartir les graines sur le sol de façon optimale afin que la surface élémentaire allouée à chaque plante soit optimale. Les graines ont été positionnées en quinconce, afin que chaque pied possède 6 proches voisins situés à une même distance (voir figure 2-1). Ainsi pour chaque densité, chaque plante est distante de ses 6 plus proches voisins de:

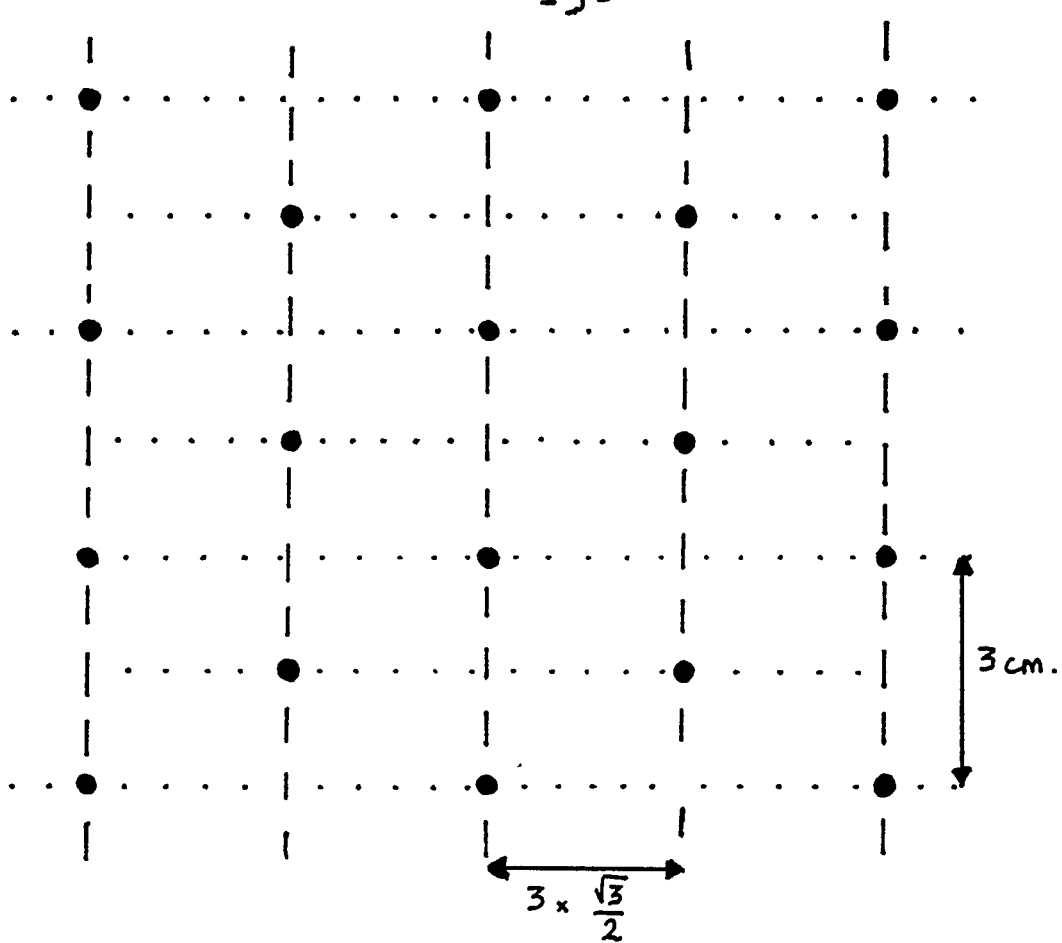
- 45 mm pour la densité N° 1 (570 graines/m²)
- 30 mm pour la densité N° 2 (1283 graines/m²)
- 20 mm pour la densité N° 3 (2887 graines/m²)
- 15 mm pour la densité N° 4 (5132 graines/m²)
- 10 mm pour la densité N° 5 (11547 graines/m²)

2.2/ Le dispositif expérimental

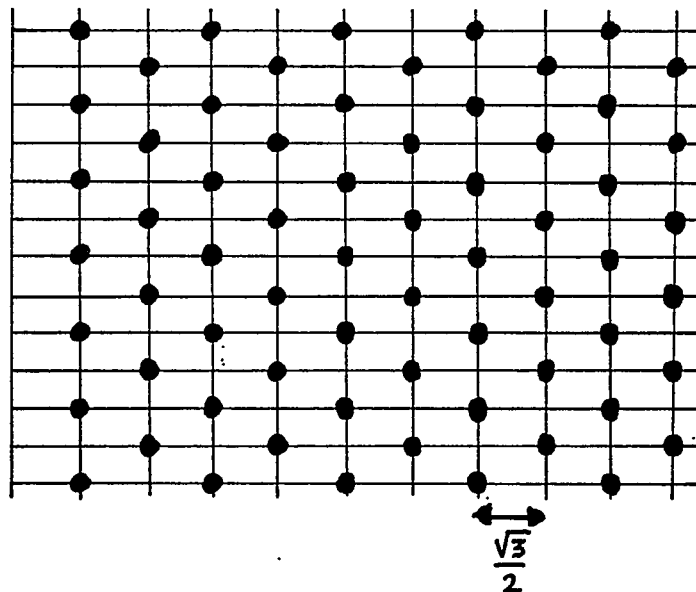
2.2.1/ Choix du dispositif

Il s'agit d'un dispositif à 2 facteurs: la densité et le mode de semis. Chacun de ces deux facteurs a plusieurs niveaux: la densité a 5 niveaux et le mode a 2 niveaux. L'essai met donc en comparaison 10 traitements. Ces traitements sont constitués par la combinaison des différents niveaux de facteurs.

Ces 10 traitements sont répétés 3 fois dans trois répétitions disposées en bloc car elle sont semées à des dates différentes. Les niveaux de mode de semis sont regroupées pour chaque densité (dispositif apparié pour le mode). Le dispositif de cet essai est une copie du dispositif de la même expérimentation mise en place sous serre, sur le site du CIRAD à Montpellier. Du fait du manque de place



Exemple de disposition en quinconce des graines pour la densité N°2 (1283 plantes/m²). Toutes les graines voisines sont espacées de 3 cm.



Exemple de disposition en quinconce des graines pour la densité N°5 (11547 plantes/m²). Toutes les graines voisines sont espacées de 1 cm.

Figure 2-1: Disposition des graines pour le semis en quinconce.

disponible, les parcelles sont de dimensions variables et le dispositif mis en place n'est pas un dispositif équilibré (cf. plan du dispositif, figure 2-2).

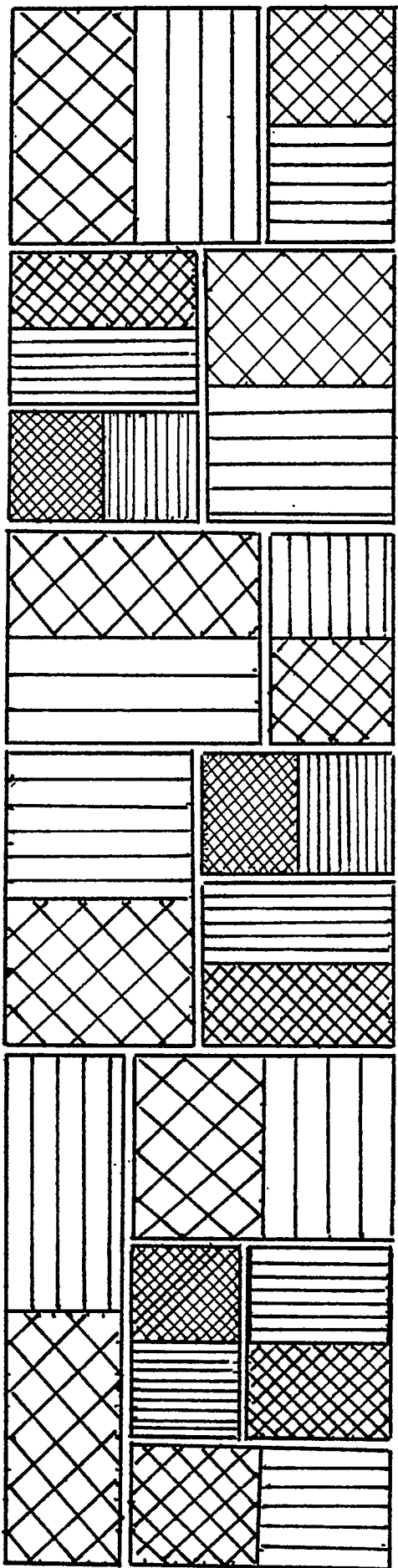
2.2.2/ La dimension des parcelles

On doit avoir un nombre suffisamment important de plantes (de l'ordre de 1000 plantes au minimum), en particulier pour que les prélèvements ne perturbent pas trop l'essai. Ceci nous conduit à fixer la surface des parcelles à 2 m² pour la densité la plus faible. Cette surface a cependant été diminuée pour les densités supérieures par suite de l'importance du travail que nécessite le semis et du manque d'espace disponible pour l'essai.






La taille des parcelles élémentaires (par densité et pour chaque mode est indiqué ci-dessous, ainsi que le nombre de graines semées correspondant :

	Taille des parcelles	Nombre de graines semées par parcelle
- Densité N° 1:	0.5 m ²	5774
- Densité N° 2:	0.75 m ²	3847
- Densité N° 3:	1.0 m ²	2887
- Densité N° 4:	1.75 m ²	2245
- Densité N° 5:	2.0 m ²	1140

Les parcelles sont de petite taille pour les fortes densités ce qui peut induire des effets de bord importants. La surface disponible pour l'essai n'a malheureusement pas permis de constituer des anneaux de garde (de même densité) comme il était initialement prévu. En fait, au moment du semis des parcelles à fortes densités (>3000 graines/m²) la probabilité de mener ces parcelles jusqu'au stade récolte sans accidents de végétations était très faible. En effet, le risque de verse était quasiment certain. La faible dimension des parcelles de fortes densité suffisaient pour faire les observations en début de végétation. Par suite, la verse due à la très forte densité aurait été



Parcelles semées en ligne:

-  Densité N°1 (570 graines/m²)
-  Densité N°2 (1283 graines/m²)
-  Densité N°3 (2887 graines/m²)
-  Densité N°4 (5132 graines/m²)
-  Densité N°5 (11547 graines/m²)

Parcelles semées en quinconce:





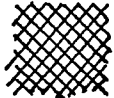
-  Densité N°1 (570 graines/m²)
-  Densité N°2 (1283 graines/m²)
-  Densité N°3 (2887 graines/m²)
-  Densité N°4 (5132 graines/m²)
-  Densité N°5 (11547 graines/m²)

Figure 2-2: Plan du dispositif expérimental.

normale. Au moment du semis, il n'a pas été jugé utile de semer de grandes parcelles pour ces fortes densités, puisque cela nécessitait un travail considérable.

2.3/ Implantation de l'essai

2.3.1/ Matériel végétal

La variété de lin fibre choisie par l'ITL pour cet essai est Ariane, variété qui avait fait l'objet de la plupart des observations dans l'étude préliminaire de 1988. C'est la variété qui occupe la plus grande surface en France (30% des surfaces en 1988). C'est une variété à fleurs bleues dont la croissance est lente, la floraison demi-tardive et la maturation tardive. Ariane est sensible à la carence en zinc et résistante à la verse. C'est une variété qui présente peu de risques de maladies: peu sensible à la fusariose, résistante aux rouilles mais sensible à la brûlure. Elle a une très bonne productivité en fibres mais donne peu de graines.

2.3.2/ Description du site

Le dispositif expérimental a été implanté en bordure d'une linière semée le 29 Mars 1989 avec la variété Regina. Au moment du semis de l'essai, le lin de la parcelle avait une hauteur d'une dizaine de centimètres.

Le sol de la parcelle a une texture dite "argileuse lourde". Le pourcentage d'argile de la parcelle avoisine 25%.

Sur cette parcelle, les précédents culturaux sont:

- récolte 1988 : Blé.
- récolte 1987 : Fèverolles.
- récolte 1986 : Blé.
- récolte 1985 : Betteraves.
- récolte 1984 : Blé.

Les pailles des céréales ont été ramassées. La paille des fèverolles fut broyée. La dernière culture de lin remonte à la récolte 1979 soit à 10 années.

2.3.3/ Préparation du sol

Après le ramassage de la paille, la parcelle a été déchaumée. Le labour fut réalisé avant l'hiver puisque l'on est en présence de terres fortes. Malheureusement l'hiver 1988-1989 fut très doux. Dans ce type de sol, l'absence de gel porte préjudice aux cultures de printemps. Un certain nombre de jours de gel confère au sol une bonne structure et favorise l'accumulation de réserves en eau. Le gel facilite également les reprises de labour au printemps. Au printemps 1989, ces reprises en terres fortes furent très difficiles. Les interventions traditionnelles (un ou deux passages de cultivateur à dents souples) ne suffisaient pas pour donner au sol un état de surface convenable au semis. Le premier passage sur le labour fut réalisé au moyen d'une herse rotative, seul outil permettant de briser les mottes du labour. A la suite, deux passages de cultivateur furent nécessaires avant de réaliser le semis.

2.3.4/ Le semis

La préparation de sol décrite précédemment a été réalisée sur tout le champs (y compris sur la surface de 40 m² réservée à l'expérimentation. La surface de l'essai a donc été affinée au moment du semis du champs (semé le 29 Mars) et est restée dans cet état jusqu'au début du mois de mai. Le pourcentage d'argile de la terre mettait la surface à l'abris de tout risque de battance. De plus, les conditions climatiques qui suivirent le semis du champs furent exceptionnellement sèches.

Pour le semis de l'essai aucune fumure supplémentaire à celle du champs ne fut apportée, soit 500 Kg d'engrais ternaire N,P,K de composition 15,15,15. 75 unités d'azote à l'hectare ont ainsi été apportés pour favoriser la mise en place de la culture.

Le semis des différentes répétitions fut réalisé à des dates différentes.

semis de la première répétition: le 6 mai

semis de la deuxième répétition: le 7 mai

semis de la troisième répétition: le 10 mai

Cet essai a été semé tardivement. La croissance du lin semé dans ces conditions est donc différente de celle que l'on aurait pu observer avec un semis précoce. En effet dès la levée, le lin a bénéficié de températures élevées qui ont influé sur la croissance et le développement des plantes.

Pour toutes les répétitions les conditions de semis furent les suivantes: Etant donné que le sol avait été affiné à l'avance et que les conditions climatiques furent très sèches le sol présentait un état de dessèchement important. Il fut donc nécessaire d'arroser le terrain avant de pouvoir semer. Un apport de 20mm d'eau (soit 20 litres par m²) fut effectué. La préparation superficielle fut réalisée simplement au moyen d'un crochet de jardin.

a) semis en ligne

Pour le semis en lignes, il convient de répartir uniformément un nombre de graines défini sur une ligne. Pour le semis à la densité de 570 graines/m² chaque graine a été placée sur la ligne, à 17,5 mm des graines précédente et suivante. Ce travail fut fastidieux. Pour le semis à des densités plus fortes le travail fut différent. A l'aide d'un compteur de graines, le nombre de graines à étaler sur 25 cm linéaires fut compté puis mis en sachets pour chaque densité. Le semis des parcelles en ligne fut réalisé de la façon suivante: affinage superficiel au crochet, tracé des lignes espacées de 10 cm à l'aide d'un cordeau, semis du nombre fixé de graines sur la ligne en étalant de façon uniforme les graines d'un sachet sur 25 cm linéaires et fermeture du sillon à l'aide du crochet. La graine fut placée à une profondeur de 1 à 2 cm en zone humide (grâce à l'arrosage précédent le semis).

b) Semis des parcelles en plein

Le problème de la répartition des graines est très délicat. En effet, le but de ce semis est d'effectuer la répartition optimale des

graines sur le sol. Il aurait été fastidieux de positionner toutes les graines en quinconce, une par une au moment du semis, sur le site de l'expérimentation. Comme pour le semis en ligne la préparation au préalable des graines permettra un semis beaucoup plus rapide. Pour les 5 densités, les graines sont positionnées en quinconce sur un papier de type "papier Sopalin" préalablement encollé avec une légère couche de colle à papier-peint (Dans la pratique, on procède en positionnant les graines à des écartements réguliers sur des lignes parallèles. Ainsi pour le semis à la plus forte densité, on sème une graine tous les centimètres en espaçant les lignes de $\sqrt{3}/2$, et en se décalant d'un demi-centimètre d'une ligne à l'autre) (cf. figure 2-1). Un séchage rapide des feuilles évite le gonflement des graines. On prépare ainsi des planches de 50 cm * 30 cm. Au moment du semis, les feuilles sont placées sur le sol humide et dammé. On recouvre ces feuilles d'une couche de terre fine de 1,5 cm. Un léger dammage est ensuite nécessaire pour assurer un bon contact entre les graines et la terre humide. Le papier utilisé présente l'avantage d'absorber l'humidité et de ne pas gêner la germination des graines (le germe traverse le papier peu résistant). Il faut cependant veiller à préserver l'humidité de la couche superficielle (1,5 cm de terre fine) qui se dessèche très rapidement puisque le papier empêche l'humidité du sol de remonter à la surface. Les conditions climatiques qui ont suivi le semis furent desséchantes (absence d'averses, fortes chaleurs et vent). Malgré cela, la dégradation du papier fut très rapide. Lors de la germination les germes ont déchiré le papier. Un mois plus tard plus aucune trace en était visible.

2.4/ Protocole de mesures

2.4.1/ Les observations en cours de végétation

a) Prélèvement des plantes: combien, où, à quelles dates

Le but des prélèvements dans les différentes parcelles est d'effectuer des mesures biométriques détaillées afin de pouvoir juger des différences de comportement du lin en fonction des traitements. De telles mesures seraient difficilement réalisables avec des plantes sur pied. On ne pourra pas suivre l'évolution des observations biométriques sur une même plante au cours du temps. Par contre notre but est de

suivre l'évolution de chaque parcelle dans le temps en effectuant des observations biométriques sur un échantillon représentatif de la parcelle.

La dimension de l'échantillon pose un problème: combien de plantes par parcelle faut-il prélever pour avoir une idée du comportement en croissance des plantes de la parcelle? Ce nombre de plantes prélevées doit prendre en compte le temps qu'il faudra pour effectuer l'observation détaillée de chaque plante. Il faut avoir le temps d'effectuer toutes les mesures entre chaque date de prélèvement. En fixant un prélèvement par semaine et 210 plantes à observer, on établit la dimension de l'échantillon prélevé chaque semaine, sur chaque parcelle élémentaire à 7 plantes. Cet effectif faible sera complété par des mesures beaucoup plus nombreuses à la récolte puisqu'à ce moment là, les mesures pourront être étalées sur une période de temps plus longue.

b) Quelles observations?

A chaque date de prélèvement, on effectue des observations biométriques détaillées concernant:

- la longueur de l'axe principal (longueur entre le niveau d'insertion des cotylédons et le méristème apical ou la capsule apicale dès qu'elle est formée)

- le diamètre des plantes à la base mesuré à 5 cm au dessus du niveau d'insertion des cotylédons.

- le nombre d'entre-noeuds formés sur l'axe principal. Le comptage du nombre d'entre-noeuds se fera en comptant le nombre de feuilles ou de cicatrices foliaires par tronçons de 5 cm.

- la longueur moyenne des feuilles de l'axe principal par tronçon de 5 cm sur l'axe principal. (Cette mesure a été réalisée pour les prélèvements aux 1°, 2°, 5° et 6° dates.

- l'inflorescence: l'observation de l'inflorescence fut effectuée aux 5° et 6° dates de prélèvements en comptant le nombre de

ramifications au niveau de l'inflorescence, et le nombre de boutons floraux.

Pour chacune des dates de prélèvement, on dispose de ces données pour 210 plantes sauf pour la 6^e date pour laquelle on ne dispose que de 21 observations. Le nombre total de plantes observées en cours de croissance s'élève donc à 1071 plantes.

2.4.2/ Observations au stade de récolte

a) Les observations biométriques.

Après la récolte, on dispose d'une plus grande souplesse du point de vue temps pour effectuer les observations. On n'envisage plus ici de mesurer la longueur des feuilles puisque à ce stade les plantes se dégarnissent de leurs feuilles à la base de la tige. De plus le nombre de mesures effectuées au cours de la croissance est suffisant. Il en est de même pour le nombre d'entre-noeuds par tronçon de 5 cm.

Les observations effectuées au stade récolte sont:

- la longueur de l'axe principal (du niveau d'insertion des cotylédons à la capsule apicale.
- la longueur depuis le niveau d'insertion des cotylédons jusqu'à la première ramification
- le nombre total d'entre-noeuds (ou de feuilles) sur l'axe principal, en comptant d'une part, le nombre d'entre-noeuds jusqu'à la première ramification et d'autre part, le nombre d'entre-noeuds au niveau de l'inflorescence.

Ces mesures au stade récoltes ont été effectuées sur 900 plantes réparties de la façon suivante:

- densité N°1 : 100 plantes
- densité N°2 : 300 plantes
- densité N°3 : 100 plantes
- densité N°4 : 100 plantes

- densité N°5 : 300 plantes

Pour chacune de ces densités les plantes ont été prélevées en nombre égal dans les deux modes de semis. Les effectifs les plus importants ont été pris pour des densités très différentes afin d'analyser finement les distributions du nombre d'entre-nœuds. Les résultats obtenus pour ces deux densités sont ensuite testés pour les autres densités.

b) Mesure de la densité

Pour toutes les parcelles, au moment de la récolte, on a compté le nombre de plantes présentes. Cette mesure a été réalisée sur trois placettes de 40 cm² en trois endroits différents de chaque parcelle. La densité moyenne de chaque parcelle que nous utiliserons dans la suite de l'étude est la moyenne des 3 mesures effectuées au stade récolte. Aucune mesure de la densité des parcelles n'a été effectuée en cours de végétation.

c) Observations des structures fibreuses et microbroyages

Après récolte des différents traitements, on procédera à des observations des structures fibreuses à la loupe binoculaire. L'observation d'une vingtaine de plantes par traitement nous permettra de juger de l'effet des traitements. On effectuera également cette observation pour des plantes de même diamètre tirées des différents traitements.

Enfin des échantillons de chaque parcelle ont été passés au microbroyage. Avec cette opération, nous obtiendrons le rendement en fibres totales pour toutes les parcelles.

2.5/ Conduite de l'essai et conditions de culture

2.5.1/ Conditions de levée

Les conditions climatiques au moment du semis et de la levée furent très sèches. Pour assurer la mise en place de l'essai, il a été nécessaire de procéder à des arrosages pendant le mois de mai.

Avec des températures élevée et grâce aux arrosages, la levée fut rapide. En moins de 10 jours après le semis, toutes les parcelles étaient levées.

Il a été observé que la levée fut aussi bonne pour le semis en ligne que pour le semis en quinconce. Le papier utilisé pour le semis en quinconce n'a pas perturbé la levée des plantes.

2.5.2/ Arrosages

Pour assurer un bon développement des plantules, il a été nécessaire de procéder à des arrosages de l'essai. A chaque arrosage, on effectue un apport de 15 mm d'eau soit 15 litres/m². Cette opération fut réalisée 5 fois aux dates suivantes:

- le 5 mai avant le semis des deux premières répétitions.
- Le 10 mai pour assurer la germination.
- le 17 mai.
- le 29 mai.
- le 13 juin

Il a été nécessaire de procéder à ces différents arrosages car le mois de mai fut exceptionnellement sec, sans une seule averse. Les premières averses effectives pour l'expérimentation sont intervenues en juin:

- 17 mm les 5 et 6 juin.
- 5 mm le 21 juin.
- 13 mm le 27 juin.
- 8 mm le 29 juin.
- 17 mm les 6, 7 et 8 juillet.
- 32 mm les 30 et 31 juillet.



L'arrosage a été poursuivi jusqu'à la mi-juin afin de permettre une bonne implantation du lin qui a été semé tardivement et a subi en début de croissance des conditions chaudes et sèches.

2.5.3/ Conditions de végétations

Les conditions climatiques qu'ont subit les plantes au cours de leur développement ont été particulières: le mois de mai fut très chaud et sans une goutte de pluie. En juin, les températures furent également supérieures aux températures normales saisonnières. Ces conditions ne sont donc pas des conditions normales de culture (semis très tardif, températures supérieures aux normales saisonnières, absence de pluie en mai). Ces différents facteurs devront bien évidemment être pris en compte lors de l'interprétation des résultats.

3) EFFET DE LA DENSITE ET DU MODE DE SEMIS SUR LE DEVELOPPEMENT ET LA CROISSANCE

3.1/ Mortalité et évolution des densités

On a signalé précédemment que les 5 densités de semis ne s'observent plus telles quelles en fin de végétation. En effet pour toutes les parcelles, il y a une mortalité plus ou moins importante. Pour la suite de l'étude, il convient de prendre la densité réelle présente dans chaque parcelle à la fin du cycle de végétation (stade récolte) plutôt que la densité de semis.

Les densités de plantes présentes au stade récolte sont récapitulées sur le tableau 1 pour les différentes parcelles.

tableau 1 Densités moyennes des 30 parcelles

	mode 1				mode 2				MOY
	r1	r2	r3	moy	r1	r2	r3	moy	
1	550	550	450	517	400	550	375	442	479
2	900	1125	900	975	1050	925	975	983	979
3	1450	1625	1425	1500	1750	1375	1850	1642	1571
4	2725	1825	2050	2200	2425	2275	2850	2516	2358
5	3850	2600	3050	3167	3450	2700	2875	3008	3088

tableau 2

Analyse de variance des densités observées en fonction des traitements (Densités de semis, mode de semis et répétition).

80 observations.

$$R^2 = 0,911$$

SOURCE	Degrès de liberté	Valeur de F	Probabilité de dépassement de F
Densité de semis	4	181.33	0.0001
Mode de semis	1	0.21	0.6483
Répétition	2	7.19	0.0014

Le test F de l'analyse de variance (tableau 2) nous révèle que la densité de semis a un effet significatif (cf. annexe N°1: explication du test F), tandis que le mode de semis n'a pas d'effet significatif.

La figure 3-1 montre que le taux de mortalité augmente fortement avec la densité. Cette mortalité est, en principe, quasiment nulle chez des plantes isolées. Elle doit tendre vers 100% lorsque la densité tend vers l'infini. Pour ajuster la mortalité en fonction de la densité de semis on teste donc une exponentielle négative. Un très bon ajustement¹ (figure 3-2) est obtenu avec la relation:

$$\% \text{ mort} = 1. - \exp(-A * \text{densite-semis}^B)$$

$$\dots \text{ avec: } A = 2.253 \cdot 10^{-3}$$

$$R^2 = 0.963$$

$$B = 0.6854$$

Cette formule nous permet de calculer, dans les conditions de l'expérience, la densité finale en fonction de la densité de semis (figure 3-3). Cette formule semble cependant surestimer légèrement la

¹ Les ajustements présentés dans ce qui suit sont obtenus par un programme informatique de minimisation des carrés des écarts entre les valeurs théoriques et les valeurs observées.

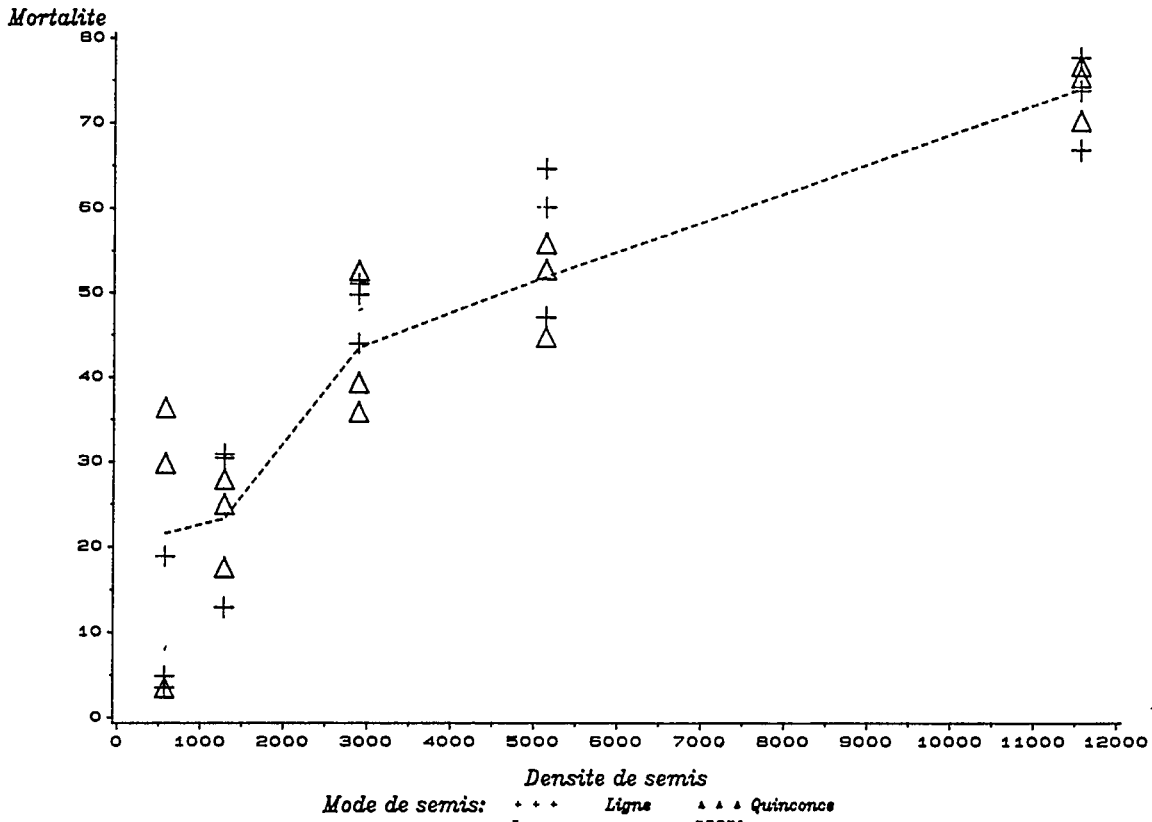


Figure 3-1: Taux de mortalité en fin d'essai au sein de chaque parcelle.

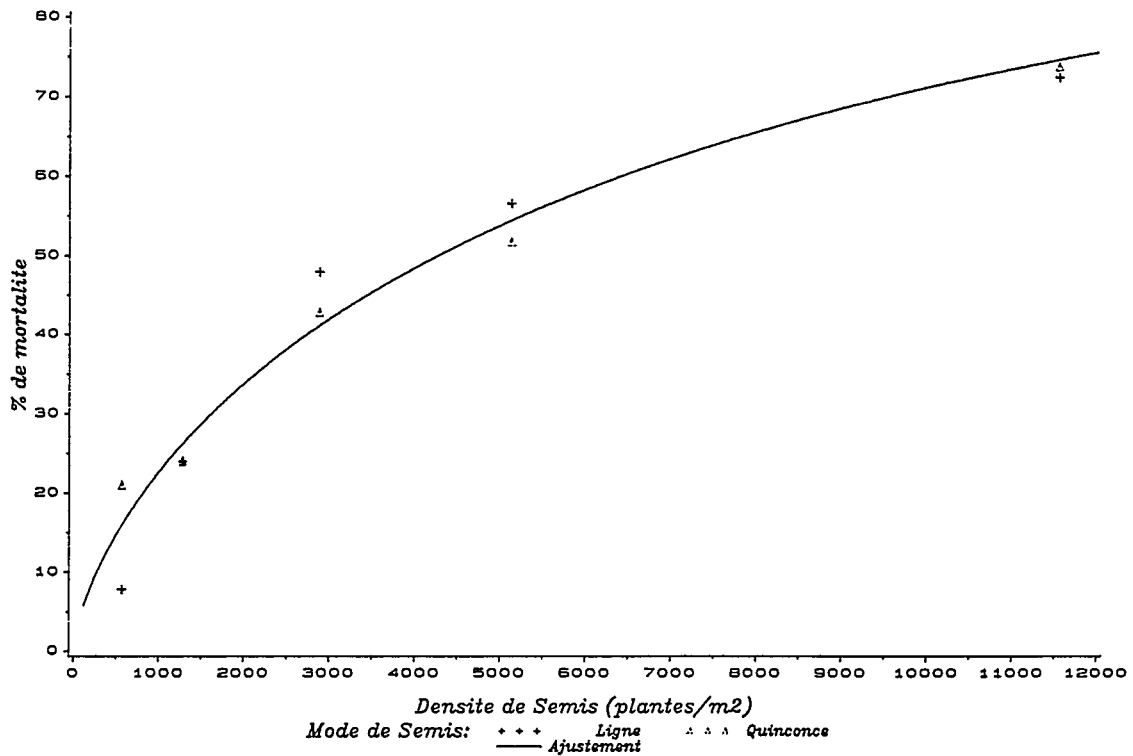


Figure 3-2: Ajustement du taux de mortalité moyen par traitement.

$$\% \text{ mortalité} = 1 - \exp(-2.253 \cdot 10^{-3} \cdot D_{\text{sem}}^{0.685})$$

$$R^2 = 0.963$$

mortalité pour les fortes densités. Aussi, d'après cette formule, la densité maximale de plantes que l'on puisse obtenir est cependant sous-estimée, et inférieure à celle que l'on a obtenu dans l'essai: (3100 plantes/m² en semant 11547 graines/m²). En outre, la densité de plantes décroît pour les très fortes densités de semis au delà de ce palier. Il semble donc préférable pour estimer la densité finale de plantes en fonction de la densité de semis d'utiliser un ajustement de la forme:

$$DF = 3283*(1-\exp(-2.447E-07*DS))$$

Cet ajustement représenté sur la figure 3-4 surestime très légèrement la mortalité pour les faibles densités mais décrit très bien la mortalité pour les très fortes densités. La densité maximale théorique avec cet ajustement est de 3283 plantes par mètre carré ce qui correspond mieux à ce qui fut observé dans l'essai. Il faut souligner que cette densité maximale est faible: elle correspond à une mortalité de 75%.

La levée a été apparemment normale. Il est possible qu'elle ait été légèrement moins bonne par suite de phénomènes allopathiques (Durand et al. 1967). Ce point ne peut cependant être précisé car il n'y a pas eu de comptage des plantes levées. Par contre le soulèvement des graines en cours de germination par les plantules voisines peut avoir joué un rôle dans le cas des semis en ligne à forte densité (les graines sont espacées de 1,95 et 0,87 mm sur la ligne pour les deux plus fortes densités). Quoiqu'il en soit, cette mortalité à la levée demeure très faible comparativement à la mortalité intervenue ultérieurement.

La mortalité est en fait surtout intervenue au stade plantules. Cette mortalité ne semble pas être le seul résultat d'une compétition entre les plantes pour les ressources du milieu: au cours du développement du lin, on a observé une mortalité de plantules qui paraissait anormale car frappant les individus de façon semble-t'il aléatoire, y compris dans les parcelles à faible densité. On a procédé à un prélèvement de ces plantules afin de pouvoir déterminer l'origine de cette mortalité. L'analyse du laboratoire de la Protection des Végétaux de Rennes a révélé qu'il n'y avait ni présence de maladies, ni présence de champignons. La Protection des Végétaux a émis l'hypothèse

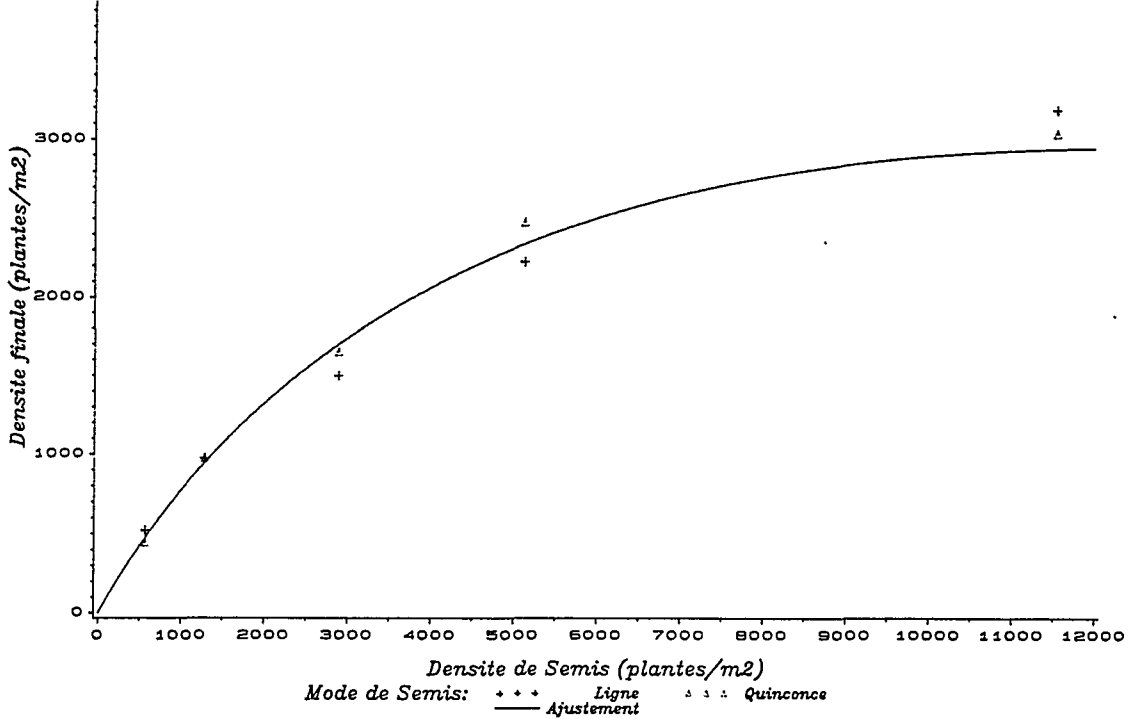


Figure 3-3: Evolution de la densité finale en fonction de la densité de semis. La courbe représente la densité théorique correspondant à l'ajustement du taux de mortalité représenté sur la figure 3-2.

$$D_{obs} = D_{sem} * (1 - \exp(-2.253 \cdot 10^{-3} * D_{sem}^{0.685}))$$

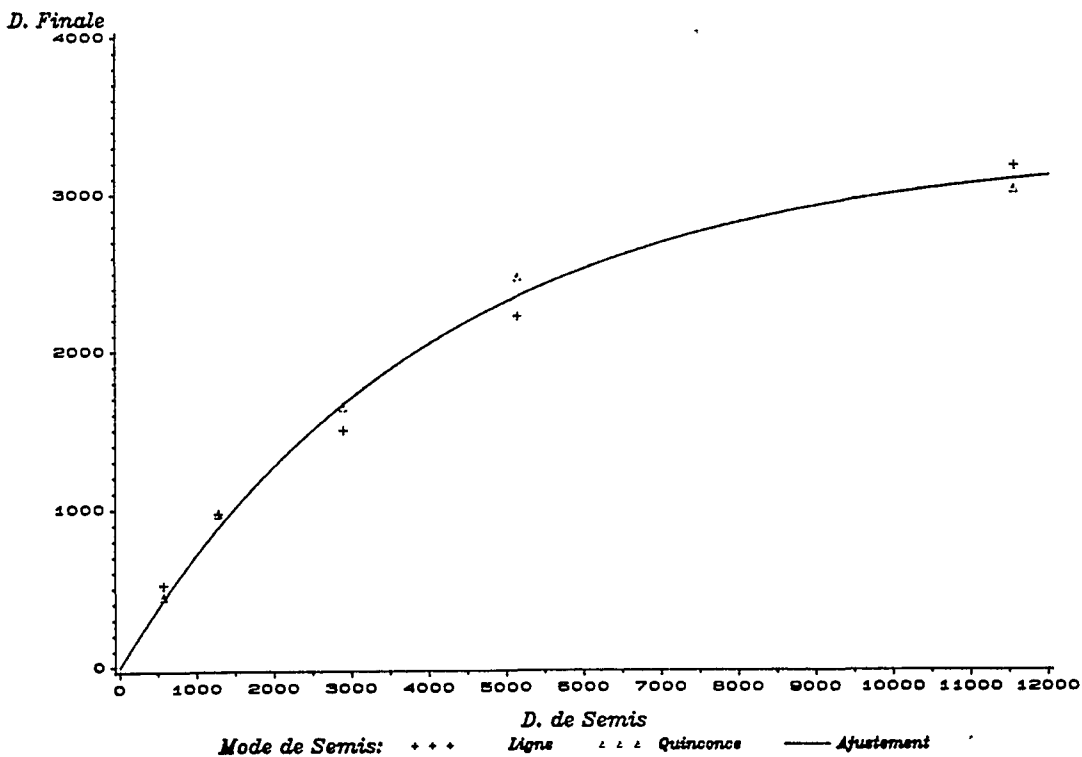


Figure 3-4: Densité finale de plantes en fonction de la densité de semis.

Ajustement de la densité théorique:

$$D_{obs} = 3283 * (1 - \exp(-2.447 \cdot 10^{-7} * D_{sem}))$$

d'une attaque de nématodes. Il est difficile de retenir cette hypothèse; aucune présence de nématodes n'a été observée, ni sur la parcelle d'essai, ni dans le champs. De plus, aucune attaque de nématodes ne fut observée sur l'exploitation les années précédentes. On peut penser que la cause de cette mortalité anormale n'est due ni à une maladie, ni à une attaque de ravageurs, mais simplement à des conditions particulière de culture (préparation du sol, semis tardif...). On remarquera d'ailleurs que les plantes affectées étaient disséminées de façon aléatoire dans la parcelle (absence de taches de plantes malades) et que donc il n'y a pas eu de phénomène de contamination des plantes par leur voisinage.

Quoiqu'il en soit, la mortalité finale est très fortement modulée par la densité. La qualité de l'ajustement de la courbe de mortalité en fonction de la densité montre en outre que la densité seule suffit à expliquer la mortalité. On a donc tout lieu de penser qu'on est bien en présence d'un phénomène d'auto-éclaircissage. En conséquence, suivant les conditions climatiques, hydriques, édaphiques ..., on pourra assister à des taux de mortalité différents, mais il est néanmoins probable que la forme de la courbe de mortalité demeura la même et que les relations présentées ci-dessus demeurent valides.

3.2/ Nombre d'entre-noeuds

L'étude du nombre total d'entre-noeuds n'est possible qu'à partir du 3° prélèvement (date 3). En effet ce n'est qu'à partir de cette date que toutes les feuilles sont déployées et qu'il est possible de les compter facilement pour toutes les plantes prélevées. On observe une variation assez importante du nombre d'entre-noeuds au sein d'un même prélèvement. Pour connantre l'origine de cette variation on étudiera l'effet des traitements appliqués puis on analysera la distribution des nombres d'entre-noeuds à l'intérieur des sous-populations correspondant à chaque traitement.

Au moyen d'une analyse de variance, on cherche à expliquer la part de variation qui est due au mode de semis et celle due au mode de semis. Dans cette analyse, on dispose de 1551 observations dont 651 observations au cours de la croissance (prélèvements aux dates 3, 4, 5 et 6) et les 900 observations effectuées au stade de récolte

3.2.1/ Effets des traitements

a) Analyse de variance:

tableau 3 Nombre total d'entre-noeuds
dates 3, 4, 5, 6 et récolte

dens	mode 1			mode 2			moyenne modes confondus		
	Eff.	Moy.	Var.	Eff.	Moy.	Var.	Eff.	Moy.	Var.
1	113	111.9	191.0	113	116.1	136.6	226	114.0	167.4
2	213	110.4	88.6	220	112.9	117.3	433	111.7	104.5
3	113	107.0	132.3	113	109.4	122.0	226	108.2	128.1
4	120	108.4	94.6	113	108.4	99.0	233	108.4	96.3
5	220	105.3	59.2	213	107.4	89.6	433	106.3	75.1
	779	108.4	107.8	772	110.7	119.6	1551	109.5	115.0

Le tableau 3 nombre total d'entre-noeuds pour les différents traitements. On note une légère tendance à la diminution du nombre d'entre-noeuds lorsque la densité augmente. Les différences entre les moyennes des traitements sont cependant faibles alors que les variances intra-traitements sont relativement élevées. Il faut également remarquer que les variances au sein des fortes densités sont plus faibles que les variances au sein des densités plus faibles. L'homogénéité des plantes issues de semis à fortes densités est donc plus importante en ce qui concerne le nombre total d'entre-noeuds produits. Une analyse de variance doit nous permettre de confirmer ces observations (cf tableau 4)

tableau 4

Analyse de variance

Variable indépendante: Nombre d'entre-noeuds.

1551 observations: dates 3, 4, 5, 6 et récolte.

$$R^2 = 0.08$$

Source	degrès liberté	Valeur de F	Proba > F
Densité	4	18.51	0.0001
mode	1	27.41	0.0001

L'analyse de variance indique que les effets de la densité et du mode de semis sur le nombre d'entre-noeuds sont significatifs. Les différences inter-traitements sont cependant de faible ampleur et le R^2 très faible. Si l'on pratique l'analyse de variance pour les dates 3, 4, 5 et 6 on constate également que les répétitions ont un effet significatif.

b) Analyse de l'effet des traitements sur le nombre d'entre-noeuds

Sur la figure 3-5, on a reporté le nombre moyen d'entre-noeuds en fonction des densités moyennes des parcelles de chaque traitement. On y remarque facilement que le nombre d'entre-noeuds sur l'axe principal décroît lorsque la densité des plantes augmente. La différence entre les deux modes de semis apparaît ici. On peut noter que le nombre d'entre-noeuds est supérieur pour les plantes semées en quinconce. L'effet de la densité de semis sur le nombre d'entre-noeuds est globalement le même pour les deux modes de semis puisque les pentes des courbes sont, globalement, les mêmes.

On peut penser que la compétition entre les plantes se manifeste au moment de la formation des entre-noeuds, donc au cours de la phase de développement. A ce stade le nombre de plantes par m^2 et la répartition des plantes sur le sol engendrent des variations du nombre total d'entre-noeuds sur l'axe principal.

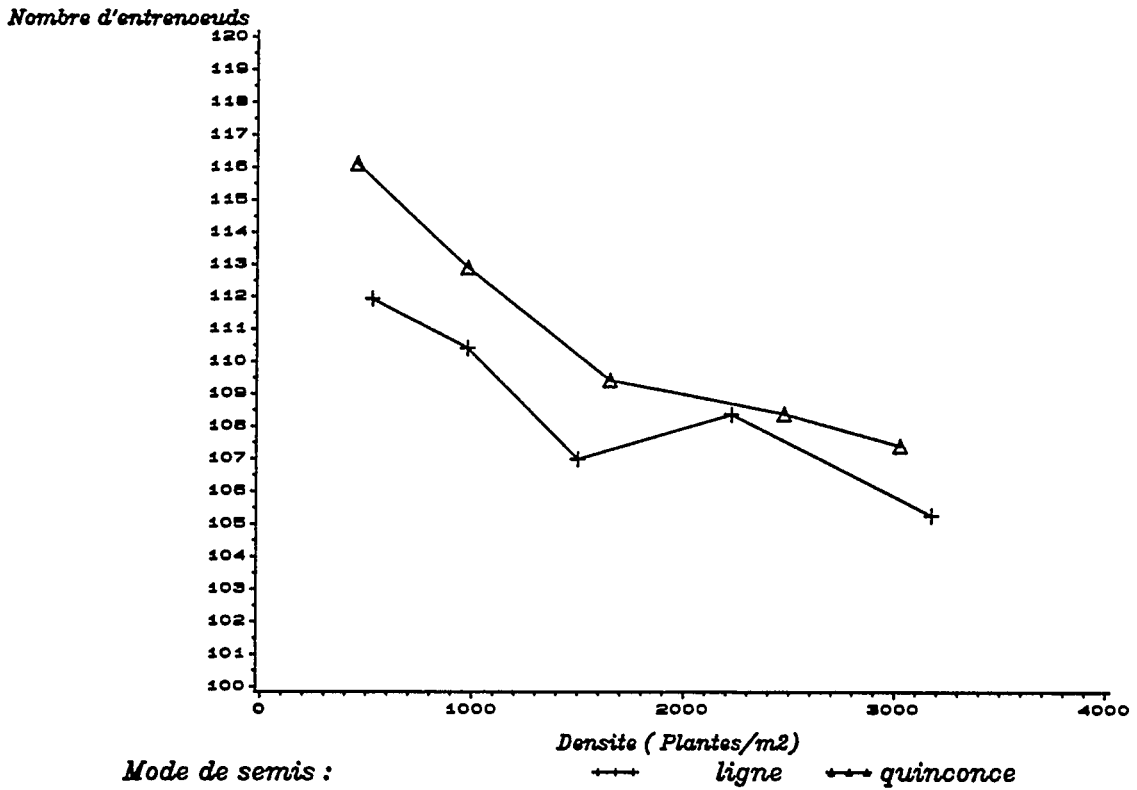


Figure 3-5: Evolution du nombre d'entrenoeuds moyen par plante en fonction de la densité de plantes par mètre carré.

3.2.2/ Analyse des distributions des nombres d'entre-noeuds

L'étude de la distribution des entre-noeuds pour chaque traitement peut nous apporter des renseignements sur le fonctionnement de la plante au moment de la création des entre-noeuds. La visualisation des distributions des entre-noeuds donne des courbes "en cloche" dont les variances sont voisines des moyennes. Ces distributions sont caractéristiques de lois de Poisson.

Si l'on procède à des ajustements à l'aide d'un programme informatique par une méthode de minimisation du χ^2 , on s'aperçoit que pour tous les traitements la distribution du nombre total d'entre-noeuds peut être ajustée par une loi de Poisson (cf. Annexes N°4 Résultats des ajustements à des lois de Poisson)(sauf pour la densité 1 avec le semis en ligne). Du fait que les moyennes sont peu différentes entre traitements, on peut regrouper les sous-populations correspondant aux différents traitements et on obtient également une distribution poissonnienne.

Cette répartition des entre-noeuds suivant une loi connue est très importante. Ce résultat révèle que la variété Ariane est une variété très pure car l'ensemble des sous-populations s'ajuste suivant la même loi en ce qui concerne le nombre d'entre-noeuds formés.

Cette distribution poissonnienne peut être le résultat d'un processus de poisson régissant l'apparition des entre-noeuds (mais on ne peut l'affirmer). Si tel est le cas, cela implique que la période de formation des entre-noeuds est la même chez tous les individus car dans le cas contraire le processus de poisson n'engendrerait plus des distributions de poisson. Cette condition semble être respectée. Il est probable en effet que l'initiation florale intervienne en même temps chez toutes les plantes.

Deux conditions supplémentaires définissent un processus de poisson:

- Condition d'indépendance des événements entre eux: la probabilité d'apparition d'un événement est indépendante des réalisations

antérieures (le corollaire de ceci est que l'intervalle de temps séparant deux arrivées successives suit une loi exponentielle).

- Condition d'homogénéité dans le temps: l'apparition des événements ne s'accélère pas au cours du temps.

La première condition semble être respectée. En effet le corrélogramme des longueurs d'entre-noeuds dans l'étude préliminaire de 1988 a montré l'absence de corrélation en ce qui concerne les longueurs d'entre-noeuds voisins. Si la longueur des entre-noeuds est effectivement liée au laps de temps séparant la formation des noeuds, alors les réalisations (formation des noeuds) sont également indépendantes.

La seconde condition n'est par contre pas respectée: Il a été observé en effet que le plastochrone chez le lin diminue au cours du temps. Autrement dit la vitesse de formation des entre-noeuds va en s'accroissant. On n'a donc pas un processus de poisson sensu stricto. Néanmoins, le non respect de cette condition n'altère pas la forme de la distribution: même si la vitesse d'apparition du phénomène évolue avec le temps, la distribution demeure strictement poissonnienne.

On n'est donc pas en présence d'un processus de Poisson au sens stricte. Rien ne s'oppose néanmoins, dans l'état actuel de nos connaissances, à adopter l'hypothèse que les méristèmes fonctionnent suivant un processus de Poisson au sens large.

NB: Une autre manière pour introduire la loi de Poisson est de la considérer comme une limite d'une loi binomiale: la loi binomiale converge en effet avec la loi de Poisson lorsque l'on pratique un très grand nombre (N) de tests dont la probabilité de réussite (p) est très faible. La répartition des nombres de succès de ces tests suit alors une loi de Poisson de moyenne $N \cdot p$. Dans le cas présent, on pourrait ainsi considérer l'apparition d'une feuille comme le résultat positif d'un test que subit le méristème à un moment donné.

3.2.3/ Conclusion à l'étude des entre-noeuds

On a observé des différences significatives du nombre total d'entre-noeuds entre les différents traitements. Puisque ce nombre d'entre-noeuds est fixé avant l'initiation florale, cela implique que la compétition intervient dès le stade plantule.

Les répartitions de nombre d'entre-noeuds que l'on peut ajuster à des lois de Poisson pour les traitements différents, caractérisent la pureté de la variété Ariane. Toutes les plantes croissent en même temps, bien qu'elles ne soient pas dans des situations identiques (effets des traitements).

3.3/ Elongation de la tige

3.3.1/ Longueur de l'axe principal

La longueur de l'axe principal est la longueur entre le niveau d'insertion des cotylédons et le méristème apical ou la capsule apicale dès qu'elle est formée. L'étude de la longueur de l'axe principal est une observation plus précise que la hauteur de la capsule la plus haute où l'élongation des entre-noeuds de l'inflorescence perturbent les mesures, car ils se développent de façon très variable.

L'évolution de la longueur de l'axe principal en fonction du temps (figure 3-6) fait apparaître des courbes de croissance classiques (courbes sigmoïdes). La croissance est d'abord relativement lente puis s'accélère (partie linéaire de la courbe) et se stabilise à des hauteurs constantes. Pour tous les traitements l'allure de la courbe est la même. L'effet de la densité est plus ou moins net en fonction de la date: cet effet est très faible au 43^e jour et s'accroît par la suite. En fin de cycle de végétation, les différences observées s'estompent. Il apparaît cependant une relative hiérarchie de la hauteur en fonction des densités: les plantes à faibles densités sont, en moyenne, plus hautes que les plantes à fortes densités.

L'analyse de variance de la variable hauteur de l'axe principal aux différentes dates de prélèvement indique que l'effet de la densité

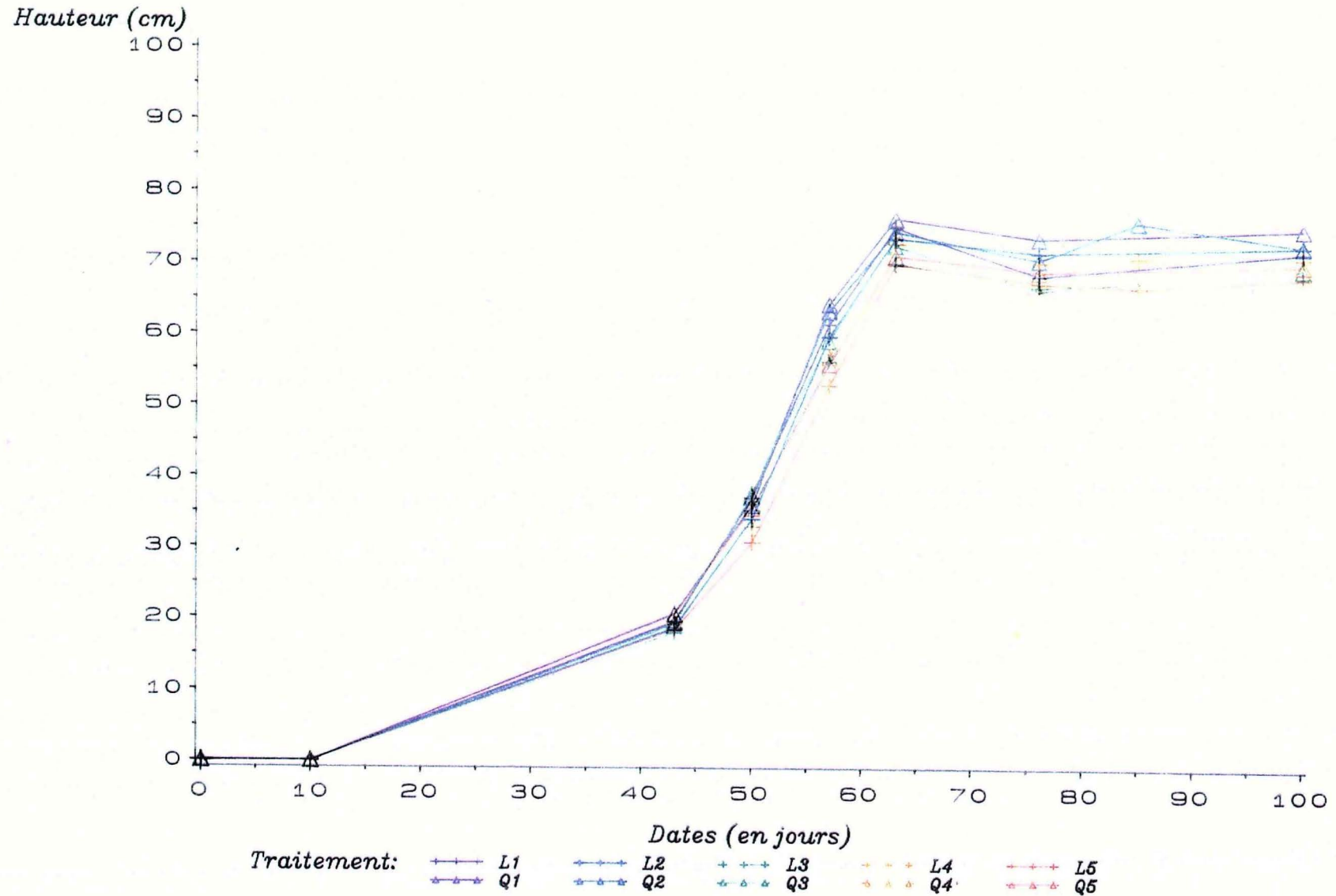
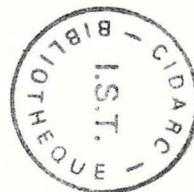


Figure 3-6: Evolution au cours du temps de la hauteur des plantes (en cm).



de semis est significatif après la 2° date de prélèvement (voir tableau 5 présentation des résultats de l'analyse de variance).

tableau 5

ANALYSE DE VARIANCE

Variable HAUTEUR

source		Densité Proba>F	Mode Proba>F	Répétition Proba>F	R ²
Date 1	210 obs	0.2183	0.0125	0.0001	0.439
Date 2	210 obs	0.0487	0.0007	0.0001	0.266
Date 3	210 obs	0.0001	0.0021	0.0001	0.369
Date 4	210 obs	0.0001	0.0299	0.0001	0.464
Dates 5,6	231 obs	0.0001	0.3897	0.0001	0.355
Dates 4,5,6	441 obs	0.0001	0.0341	0.0001	0.280
Récolte	900 obs	0.0001	0.0001		0.175

Pour le premier prélèvement, la densité de semis n'engendre pas de différences de hauteurs des plantes. Pour les autres prélèvements, ainsi qu'au stade récolte la variation de densité peut expliquer, pour une certaine part, les variations observées pour la hauteur moyenne des traitements. L'effet du mode de semis est significatif dès le premier prélèvement et le demeure pour les autres dates de prélèvement mais au stade de 3%. Le mode de semis explique donc moins bien les différences observées entre les traitements que la densité.

La variance relative diminue pour les dernières dates (cf. tableau de moyenne et variance de la hauteur en annexe N°5). Ceci traduit une tendance des plantes à uniformiser la hauteur des fleurs pour assurer leur pollinisation.

L'analyse de variance nous a révélé qu'il y a une différence significative de la hauteur des plantes suivant la densité. Une représentation graphique doit nous permettre de visualiser le sens de la variation. Sur la figure 3-7, les hauteurs moyennes des plantes au stade adulte sont représentées en fonction de la densité moyenne pour les différents traitements. On y remarque que, globalement, la hauteur des plantes décroît pour les faibles densités. La faible variation de la hauteur des plantes peut malgré tout être expliquée par la densité au sein de chaque parcelle.

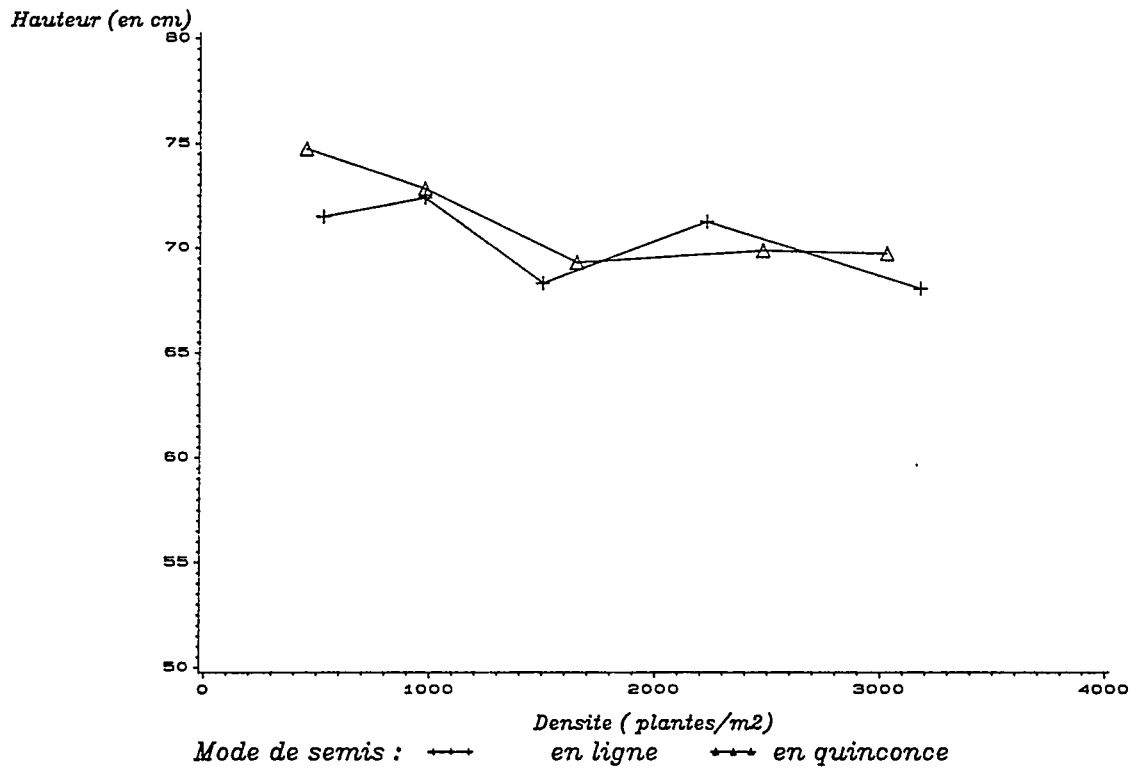


Figure 3-7: Hauteur moyenne des plantes (en cm) en fin d'essai pour les différents traitements.

L'observation de la figure 3-7 nous conduit à proposer un modèle linéaire commun aux 2 modes de semis pour relier la hauteur des plantes à leur densité effective. On retiendra que l'effet de la densité sur la hauteur reste relativement faible et le même pour les deux modes de semis. Mais l'essai était irrigué et bien fumé et les conditions climatiques furent particulières. Dans des conditions d'alimentation hydrique limitée, donc avec une compétition entre les plantes plus importante, les résultats entre les divers traitements auraient pu être beaucoup plus marqués.

3.3.2/ Elongation des entre-noeuds

Les données recueillies en cours de végétation et plus particulièrement le nombre d'entre-noeuds par tronçons de 5 cm, nous permettent d'étudier l'allongement des entre-noeuds à différents niveaux sur la tige. L'analyse de la longueur des entre-noeuds en fonction de leur position relative sur la tige permet de reconstituer l'effet des traitements tout au long de la croissance.

Pour effectuer cette étude, il est indispensable de normaliser les hauteurs des entre-noeuds que l'on étudie. En effet, la hauteur à laquelle se situe un entre-noeud doit être reliée à la hauteur totale de la plante. Un entre-noeud situé à 50 cm des cotylédons ne s'allonge pas comme un entre-noeud situé à la même hauteur mais sur une plante de 80 cm. Nous prendrons la précaution de travailler en hauteur relative (HR) par rapport à la hauteur de chaque plante.

$$HR = \frac{\text{Hauteur du tronçon}}{\text{Hauteur de la plante}}$$

avec $0 < HR < 1$

La figure 3-8 représente la longueur moyenne des entre-noeuds de chaque tronçon de 5 cm en fonction de la hauteur relative du tronçon. Cette représentation pour les différents traitements nous montre une évolution de la longueur des entre-noeuds en fonction de leur hauteur relative: la longueur des entre-noeuds croît avec leur position sur la tige (HR). La longueur atteint un palier vers 45-65% de la hauteur totale. Les perturbations des courbes au niveau de l'inflorescence ne

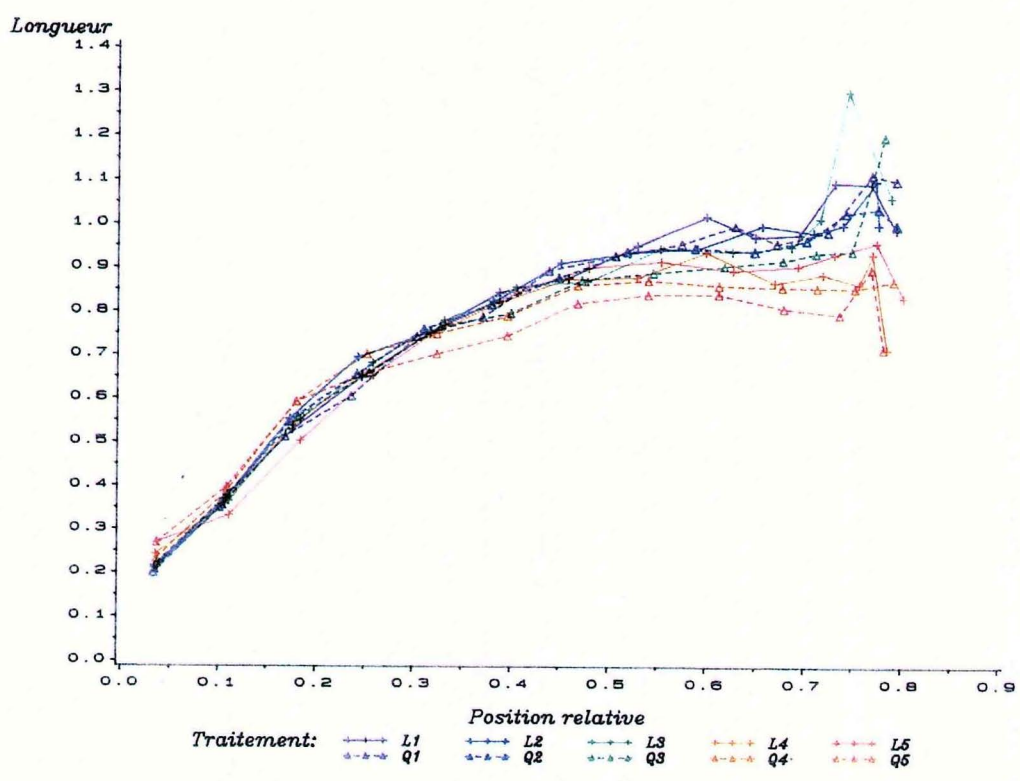


Figure 3-8: Longueur moyenne des entre-noeuds (en mm) en fonction de leur position relative sur la tige.

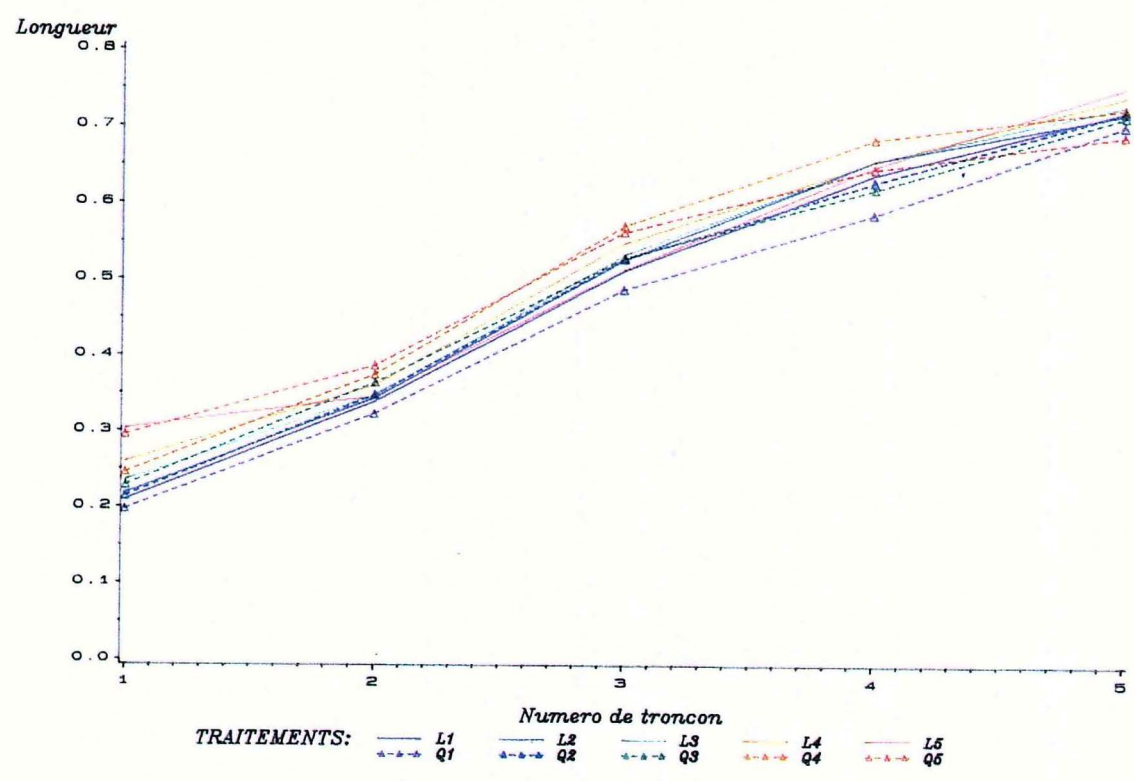


Figure 3-9: Longueur moyenne des premiers entrenoeuds (en mm) en fonction de leur position.

sont pas représentées (pour $HR > 0,8$) car l'allongement des entre-noeuds à cet endroit est très variable. Sur cette représentation ne figurent que les entre-noeuds de la "hauteur textile" de la plante (en dessous de la première ramification).

Effet du mode de semis:

D'après la figure 3-8 il est difficile de tirer des conclusions quant à l'effet du mode de semis. Cet effet est peu important sauf en ce qui concerne les entre-noeuds de la partie supérieure de la tige pour les deux plus fortes densités: à forte densité, les entre-noeuds y sont plus courts pour les semis en quinconce que pour les semis en ligne (alors que les hauteurs totales des tiges sont voisines). La figure 3-9 (Longueur des premiers entre-noeuds) montre que l'inverse se produit pour la partie basale de la tige: Aux fortes densités, les premiers entre-noeuds sont plus longs pour les semis en quinconce. Pour cette observation de la partie basale de la plante, on a pris toutes les données des entre-noeuds dont on est sûr que l'élongation est terminée (pour les 6 dates de prélèvements en végétation). On prend comme hypothèse que les entre-noeuds situés à plus de 10 cm du sommet de la végétation ont fini leur élongation.

Effet de la densité:

Sur la figure 3-10, on peut observer une diminution de la longueur des entre-noeuds avec la densité dans la partie supérieure des tiges (pour HR supérieur à 0,3). A cette hauteur et au-delà les entre-noeuds sont plus longs pour les faibles densités. Par contre l'inverse s'observe pour les tout premiers entre-noeuds. En effet, à la base de la tige les entre-noeuds des plantes semées en fortes densités sont plus longs.

Cette remarque s'observe plus nettement sur la figure suivante (figure 3-11) où l'on a représenté les longueurs des entre-noeuds des 5 premiers tronçons des plantes (de 0 à 25 cm). Pour établir cette figure, on a repris l'ensemble des observations dates 1 à 6 (pour augmenter le volume des données), en ne retenant que les tronçons de tiges dont les entre-noeuds ont terminé leur élongation (on ne prend pas en compte les tronçons à moins de 10 cm de l'extrémité de la tige). La figure obtenue montre que les entre-noeuds sont effectivement plus longs pour les fortes densités jusqu'au 5^e tronçon. Cet effet est surtout net pour les entre-noeuds du 1^e tronçon. La compétition entre

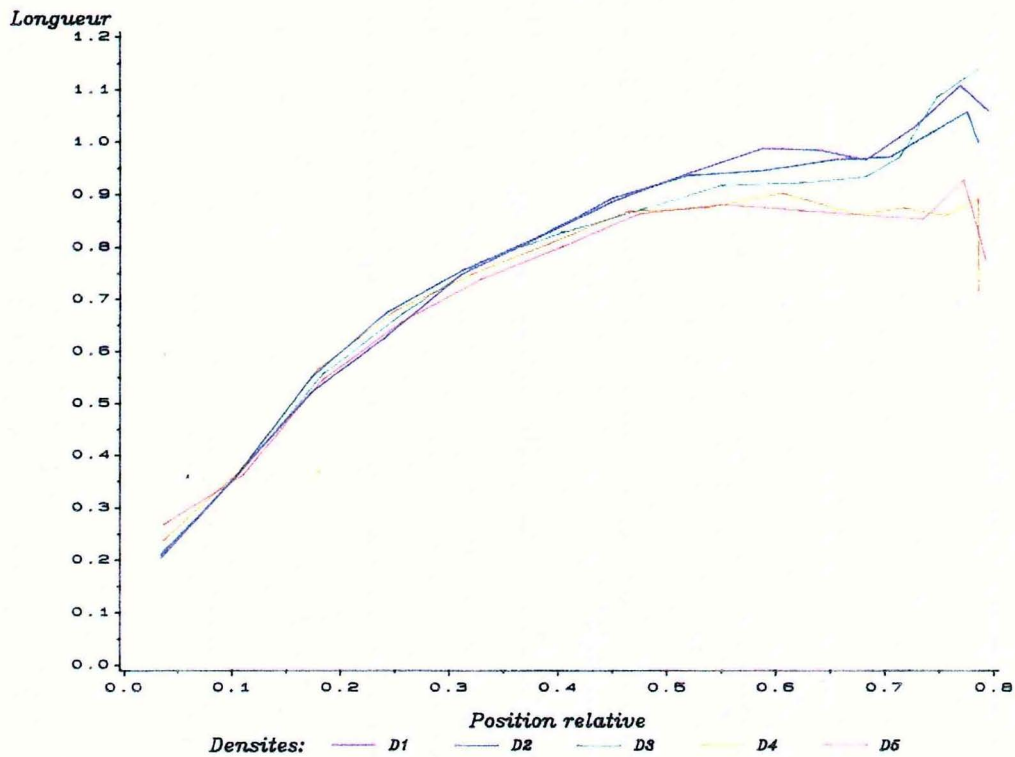


Figure 3-10: Longueur moyenne des entrenoeuds (en mm) en fonction de leur position relative sur la tige, les deux modes de semis étant confondus.

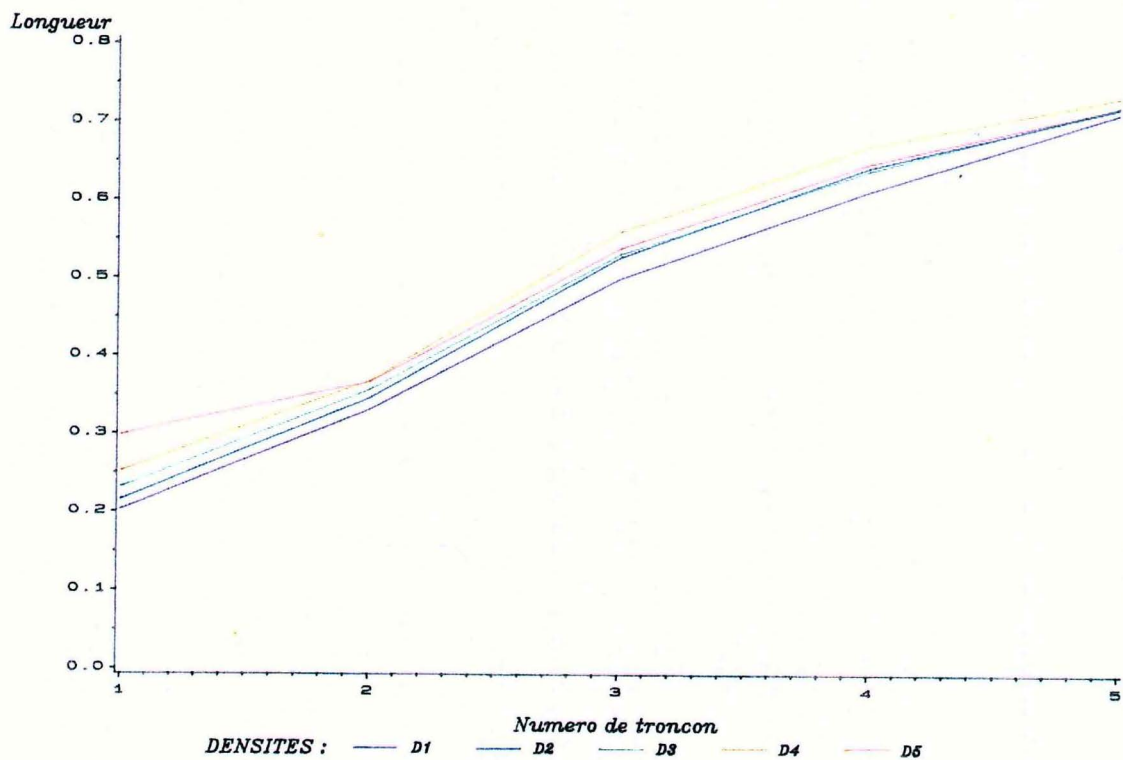


Figure 3-11: Longueur moyenne des premiers entrenoeuds (en mm) en fonction de leur position, les deux modes de semis étant confondus.

plantes (pour la lumière) induit donc une élongation supérieure des premiers entre-noeuds. Par la suite, la compétition trophique joue probablement en sens inverse et a tendance à limiter la taille des entre-noeuds.

En conclusion à l'étude des effets des traitements sur les entre-noeuds, il faut souligner que les plantes à forte densité forment moins d'entre-noeuds que celles à faible densité. Les premiers entre-noeuds sont plus longs: Les plantes à forte densité semblent donc "investir" plus dans l'élongation des entre-noeuds (pour la recherche de la lumière) et moins dans la genèse des entre-noeuds. Les entre-noeuds allongés ultérieurement sont moins nombreux et plus courts par suite vraisemblablement d'une plus forte compétition trophique ou d'un épuisement des plantes après l'élongation des premiers entre-noeuds.

3.4/ Evolution du diamètre

L'étude du diamètre à 5 cm est intéressante à double titre: d'une part, le diamètre des plantes est un bon indicateur de leur vigueur (étude 1988) et d'autre part, la production fibreuse est étroitement liée au diamètre.

3.4.1/ Evolution dans le temps du diamètre

L'évolution du diamètre à 5 cm au cours du temps est représentée sur la figure 3-12. Pour les différents traitements l'allure de la courbe est similaire. On peut noter un effet très important de la densité quelle que soit la date de prélèvement. Les plantes semées aux densités les plus faibles ont les plus gros diamètre. Le diamètre des tiges peut donc être relié directement à la surface allouée à chaque plante: plus la plante disposera de place plus son diamètre à la base sera gros. Nous étudierons cette relation diamètre - densité dans la suite de notre développement.

On constate par ailleurs que l'augmentation du diamètre après le premier prélèvement est relativement important mais que l'augmentation relative est sensiblement la même pour tous les traitements. Le

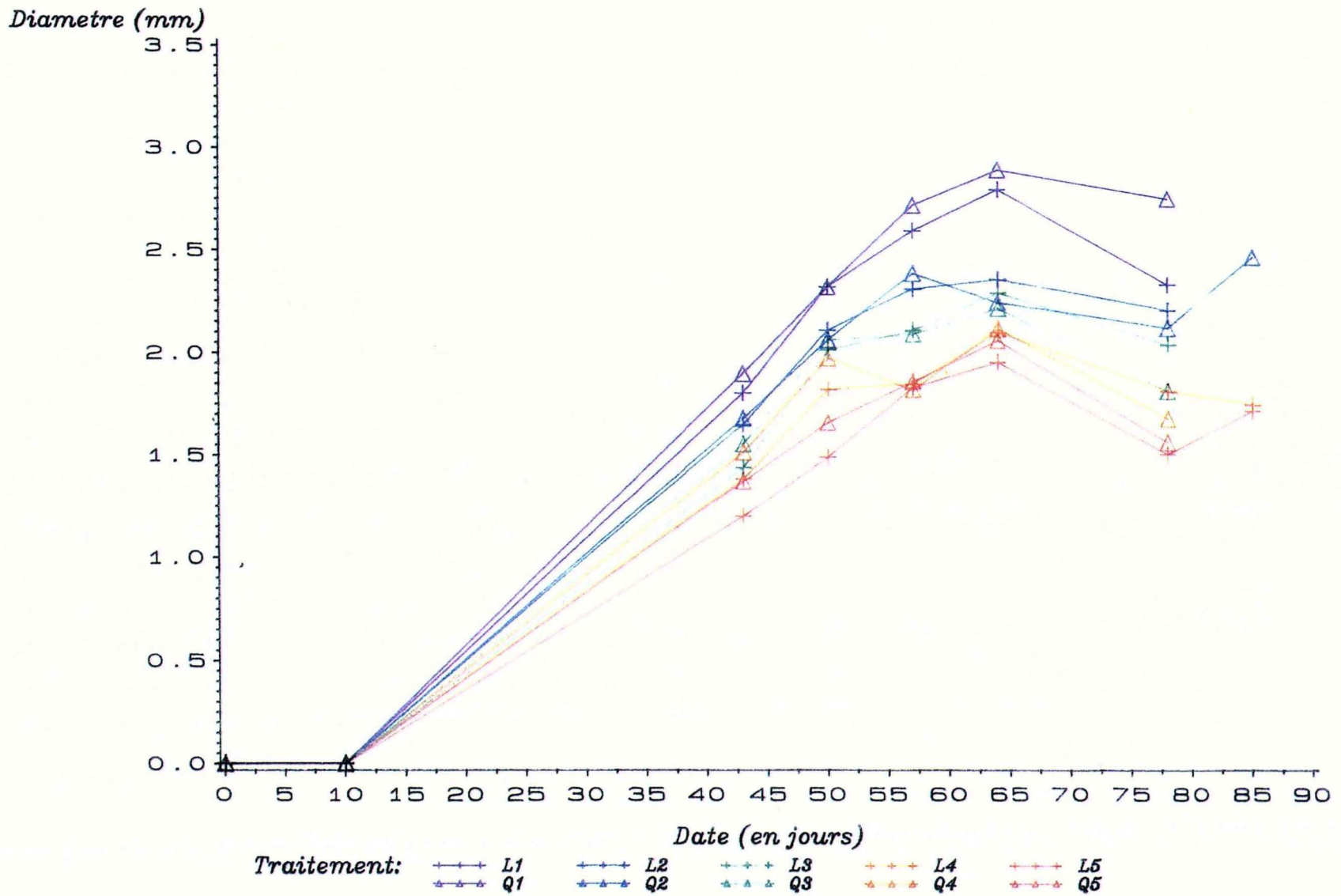


Figure 3-12: Evolution au cours du temps du diamètre moyen (en mm) par traitement.

diamètre mesuré en fin de croissance est donc différent de celui mesuré au 43° jour, mais il demeure proportionnel à ce dernier. On pourra donc établir des corrélations avec le diamètre observé en fin de croissance et penser qu'à priori elles resteront valables si l'on prend le diamètre en cours de croissance (mais en lui appliquant un facteur multiplicatif).

La faible diminution du diamètre à la 5° date de prélèvement (soit au 63° jour) peut vraisemblablement s'expliquer par la diminution de la turgescence des plantes en fin de cycle végétatif. Par contre les décrochements des courbes à la 6° date de prélèvement (85° jour) sont explicables par la petite taille de l'échantillon prélevé à cette date. Les points représentant cette 6° date n'ont pas le même poids que les autres points.

A densité égale, les diamètres des plantes semées en quinconce sont, en moyenne, supérieurs aux diamètres des plantes semées en ligne. Cette différence est cependant plus nette au début de la croissance (pour les premiers prélèvements).

tableau 6 Analyse de variance de la Variable diamètre

source		Densité Proba>F	Mode Proba>F	Répétition Proba>F	R ²
Date 1	210 obs	0.0001	0.0067	0.0086	0.358
Date 2	210 obs	0.0001	0.1798	0.8317	0.348
Date 3	210 obs	0.0001	0.3928	0.8213	0.520
Date 4	210 obs	0.0001	0.9065	0.2873	0.416
Date 5, 6	231 obs	0.0001	0.9363	0.0001	0.526
Dates 4,5,6	441 obs	0.0001	0.6444	0.0016	0.407

L'analyse de variance (tableau 6) indique que les différences de diamètre sont significatives en ce qui concerne l'effet de la densité, et cela quelle que soit la date du prélèvement. Par contre l'effet du mode de semis n'est significatif que pour la première date. En ce qui concerne les répétitions les résultats ne sont significativement différents que pour les dates 1 et 5-6.

3.4.2/ Relation entre le Diamètre et la Densité

La figure 3-13 présente les moyennes des diamètres des différents traitements en fonction de la densité des plantes pour les prélèvements des dates 4, 5 et 6. On peut y observer que le diamètre des plantes décroît fortement lorsque la densité augmente. L'analyse de variance nous a révélé que cet effet de la densité est significatif.

On peut chercher dans quelle mesure le diamètre des plantes est relié à leur densité en effectuant un ajustement des courbes de la figure précédente. En fait, l'ajustement proposé doit présenter deux limites pour les valeurs prises par le diamètre:

- une limite inférieure, correspondant aux diamètres des plantes issues de semis à fortes densités et en deçà de laquelle les plantes ne seraient plus viables.
- une limite supérieure, correspondant aux diamètres des plantes issues de semis à faibles densités.

La relation cherchée apparaît plus clairement en représentant le diamètre non plus en fonction de la densité, mais de son inverse, c'est à dire la surface élémentaire dont dispose chaque plante. Le diamètre peut être relié à la surface dont dispose chaque plante par une exponentielle négative. La valeur asymptotique du diamètre pour les surfaces importantes correspond aux valeurs maximales prises par le diamètre pour les faibles densités. Sur la figure 3-14, l'ajustement des moyennes des diamètres par traitements est réalisé par l'exponentielle négative suivante:

$$\text{diamètre} = 14,87 + 15,67 * (1 - \exp(-6.987 \cdot 10^{-2} * \text{Surf}))$$

... où Surf est la surface élémentaire en centimètres dont dispose chaque plante. Le R^2 de cet ajustement est très bon ($R^2=0,984$).

Puisque: $\text{Surf}(\text{en cm}^2/\text{plante}) = 10.000 / \text{densité} (\text{plantes/m}^2)$,
l'ajustement proposé en fonction de la surface élémentaire peut s'écrire en fonction de la densité des plantes (en plantes/m²):

$$\text{diamètre} = 14,87 + 15,67 * (1 - \exp(-698,7/\text{densité}))$$

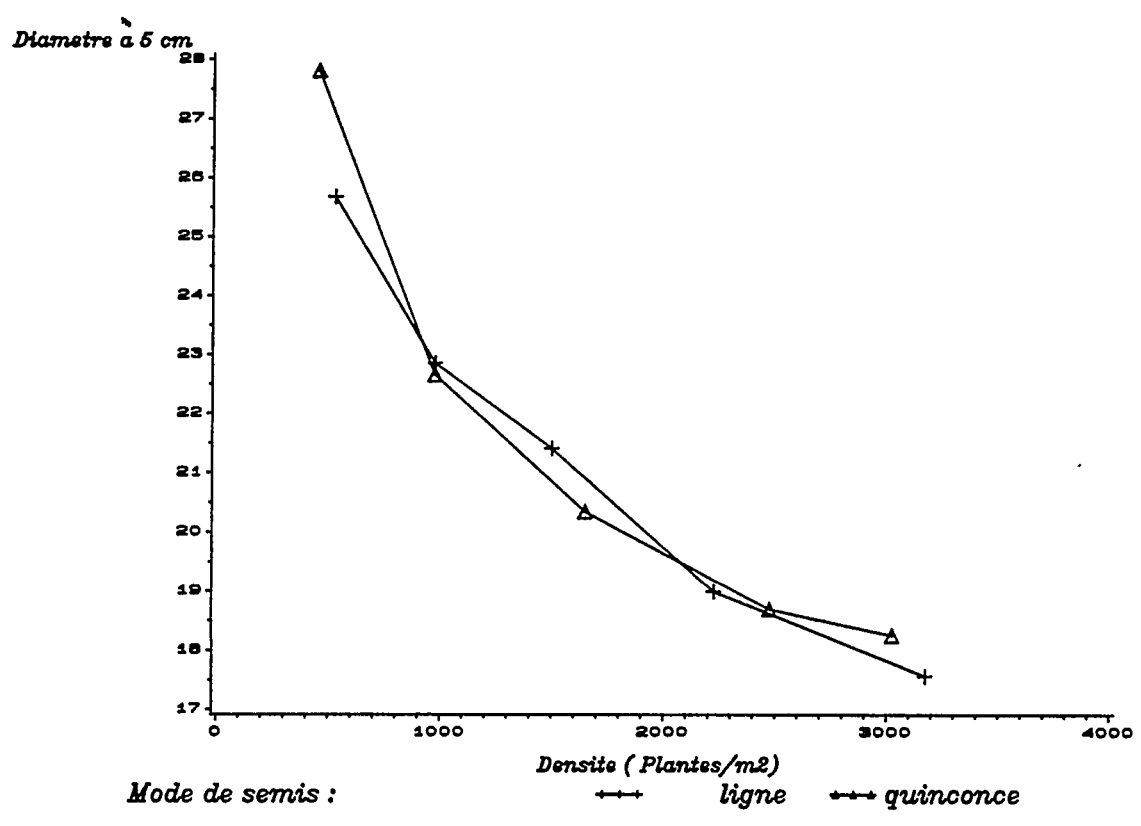


Figure 3-13: Diamètre (en mm) à 5 centimètres au dessus des cotylédons en fonction de la densité de plantes par mètre carré.

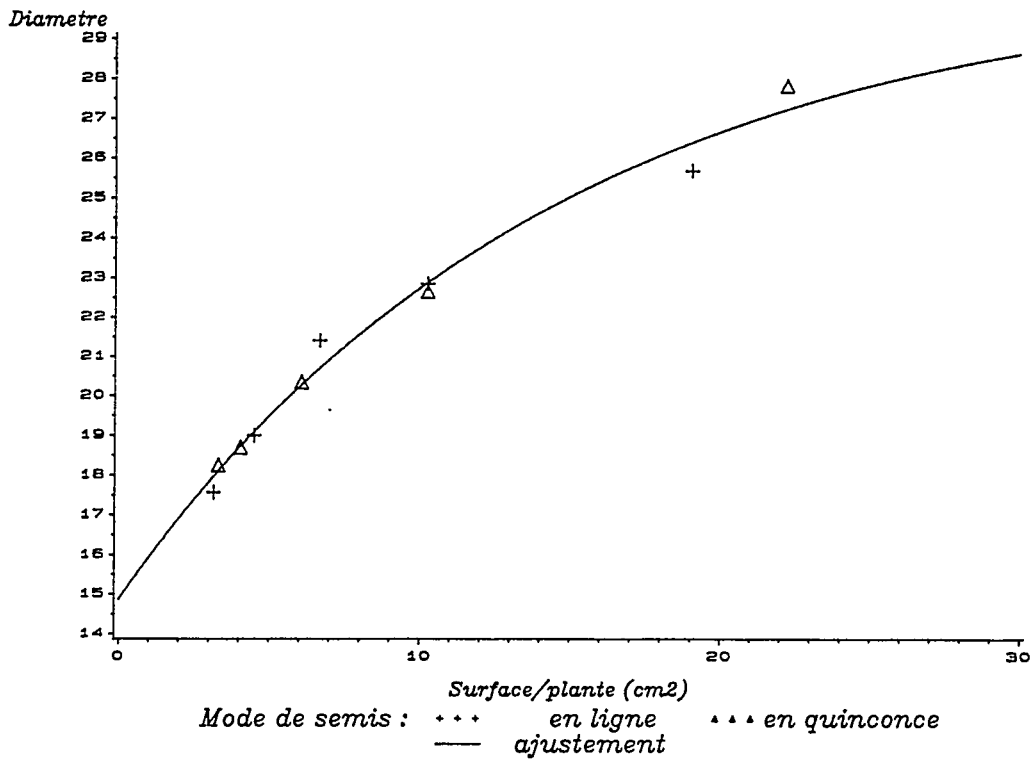


Figure 3-14: Evolution du diamètre (en mm) en fonction de la surface disponible par plante (en cm²). Ajustement:
 $\emptyset = 14.87 + 15.67 \cdot (1 - \exp(-6.987 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Surf}))$
 $R^2 = 0.984$

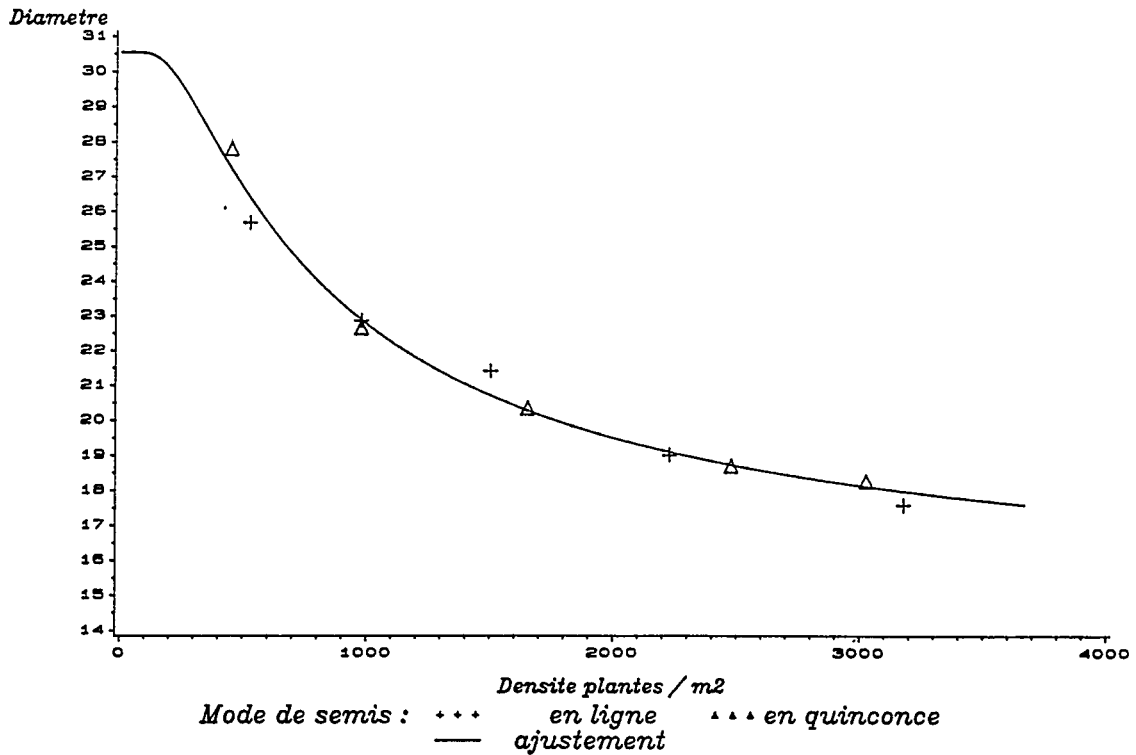


Figure 3-15: Evolution du diamètre (en mm) en fonction de la densité de plantes au mètre carré. La courbe théorique correspond à l'ajustement représenté sur la figure 3-14.

La courbe correspondant à cette formule est représentée sur la figure 3-15. Les moyennes des diamètres pour les différents traitements y sont également représentés en fonction de la densité.

Remarque:

Le R^2 de l'ajustement obtenu à partir des moyennes des traitements est très bon ($R^2=0.98$). Le nombre d'observations prises en compte pour établir cet ajustement est de 441, soit au minimum 42 observations pour chaque point de la figure 3-15 précédente. Un échantillonnage de cet ordre est donc tout à fait suffisant pour ce type d'approche.

3.5/ Mise en place des feuilles

La production de feuilles n'est pas un composant du rendement. C'est malgré tout une variable intéressante à étudier car elle est très sensible aux variations de densités et permet d'en observer l'effet au cours de la croissance. De plus elle permet une approche de la production de matière verte donc de l'activité photosynthétique des plantes.

3.5.1/ Etude de la longueur des feuilles

L'étude de la longueur des feuilles est réalisée en fonction de leur hauteur relative (HR) pour juger de la même façon les plantes courtes et les plantes longues. Rappelons également que nous disposons de cette donnée pour toutes les plantes prélevées aux 1°, 5° et 6° dates, mais partiellement pour la 2° date

La figure 3-16 met en relation la longueur des feuilles en fonction de leur position relative (hauteur d'insertion/ hauteur plante). Pour cette représentation on utilise les données des plantes adultes (5° et 6° dates). Les données manquantes (pour la base de la tige, lorsque les feuilles sont tombées) sont complétées par les moyennes des données collectées lors des deux premiers prélèvements pour lesquelles on dispose des longueurs des feuilles à la base de la tige.

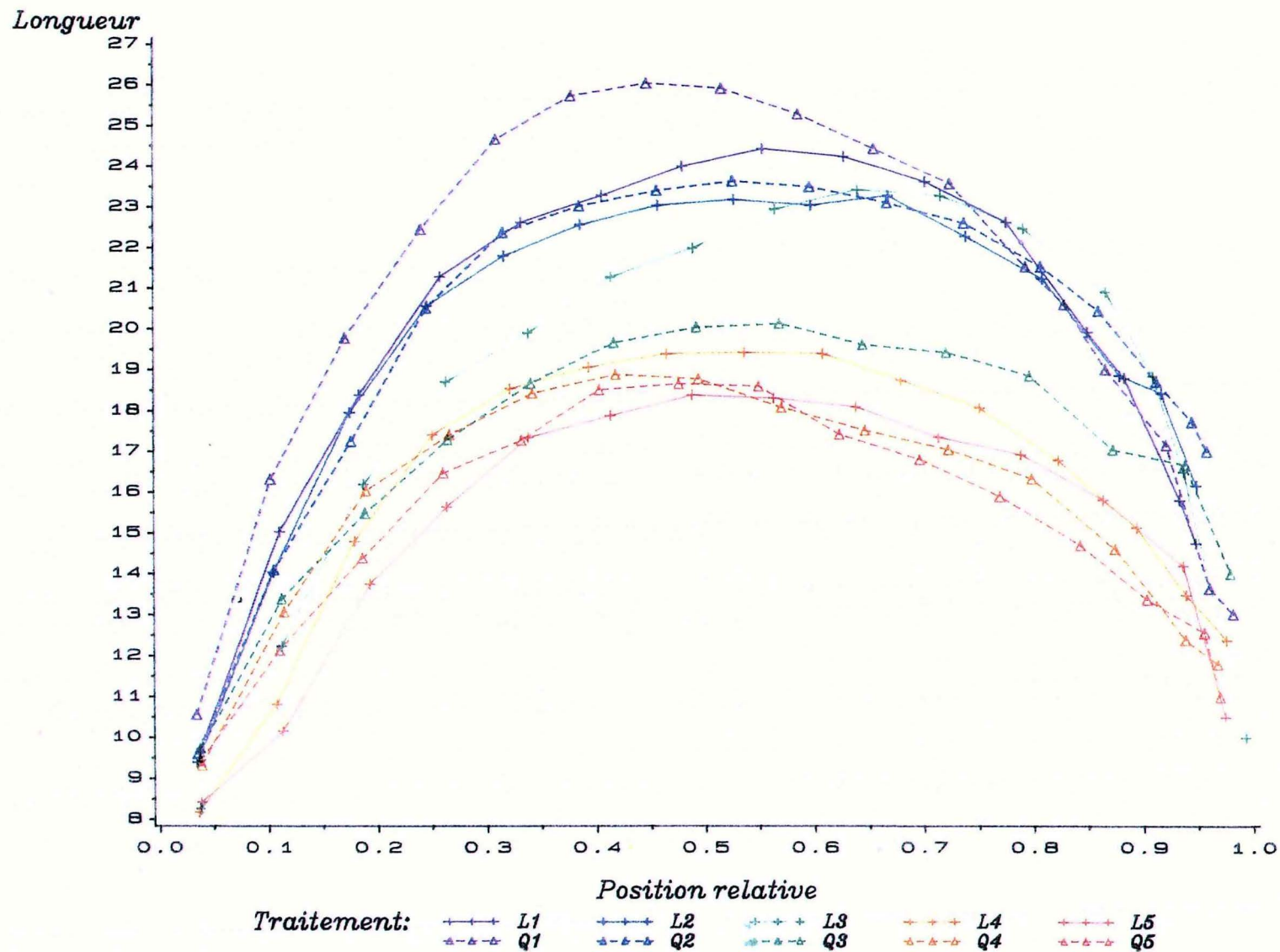


Figure 3-16: Evolution de la longueur moyenne des feuilles (en mm) en fonction de leur position relative sur la tige.

Pour tous les traitements, on observe une courbe en cloche. L'évolution de la longueur des feuilles en fonction de leur hauteur relative est respectée pour toutes les densités. La longueur de la feuille est minimale à la base de la plante. Elle croit pour atteindre un maximum dans la partie médiane et décroît en haut de la plante.

On peut remarquer de grandes différences entre les densités, différences qui se manifestent à tous les niveaux sur la tige: des premières feuilles jusqu'aux dernières.

L'effet du mode de semis diffère suivant les densités. Il ne semble pas possible de tirer des conclusions à ce niveau hormis que les feuilles de la base de la tige sont plus courtes pour le semis en ligne.

3.5.2/ Estimation de la surface foliaire des plantes

L'évaluation des surfaces foliaires permet une approche synthétique des longueurs des feuilles et du nombre d'entre-noeuds pour chaque plante. Pour le calcul de la surface foliaire à partir de la longueur des feuilles, on a déterminé le rapport moyen largeur/longueur pour un échantillon de 50 feuilles. Puisque la variabilité de ce rapport est relativement faible au sein de l'échantillon, on fixe comme hypothèse de calcul que Largeur/Longueur = 0,166 .

On a ensuite calculé précisément la surface d'une feuille de façon à déterminer le coefficient C défini par:

$$C = \text{surface de feuille} / (\text{Largeur} * \text{Longueur}) = 0,707$$

On a ainsi pu estimer la surface d'une feuille à partir de sa longueur au moyen de la formule suivante:

$$\text{surface feuille} = \text{longueur} * (\text{longueur} * 0,166) * 0,707$$

Connaissant le nombre de feuilles par tronçon et la longueur d'une feuille représentative, on estime la surface foliaire propre à chaque tronçon. La surface foliaire de la plante obtenu par la sommation sur tous les tronçons:

$$\text{Surf fol totale / plante} = \text{somme Surf}(t) * \text{NF}(t) \quad (t=1, T)$$

- où:
- t est le numéro de tronçon,
 - T est le dernier tronçon de la plante,
 - $\text{Surf}(t)$ est l'estimation de la surface des feuilles du tronçon considéré
 - $\text{NF}(t)$ est le nombre de feuilles du tronçon considéré

Cette formule est approximative, mais elle nous permet d'apprécier globalement la diminution de la surface foliaire en fonction de la densité effective (figure 3-17). On constate une diminution considérable et presque linéaire de la surface foliaire par plante en fonction de la densité pour les deux modes de semis. Les deux modes de semis présentent une évolution comparable, avec une surface foliaire supérieure pour le semis en ligne en ce qui concerne les densités les plus fortes. L'inverse s'observe par contre à très faible densité. Ces résultats demanderaient à être vérifiés et pourraient faire l'objet d'une étude plus précise et plus approfondie.

En fait, ces résultats permettent d'apprécier la surface foliaire au début de la floraison, lorsque toutes les feuilles sont présentes sur la plante. Au-delà de ce stade, les feuilles de la base de la tige deviennent sénescentes et commencent à tomber au cours de la floraison. Cette sénescence des feuilles est plus rapide pour les fortes densités. A ce moment, la surface foliaire des plantes semées en fortes densités décroît.

Il est également intéressant d'estimer la surface foliaire à la base de la tige pour avoir une idée de l'appareil photosynthétique en début de croissance (cette estimation a un sens dans la mesure où la densité a peu d'effet sur la hauteur à ce stade). Il est impossible d'établir la surface foliaire des plantes au stade rosette: le nombre de feuilles présente dans le bouton est très élevé mais toutes ne sont pas fonctionnelles. Le comptage des feuilles déployées pose le problème de la limite à partir de laquelle une feuille est suffisamment déployée pour être fonctionnelle. Par contre, on peut observer à posteriori la surface foliaire mise en place à la base de la plante. La figure 3-18 montre la surface foliaire mise en place sur les 15 premiers cm de tige en fonction de la densité. On constate, pour les 15 premiers cm de

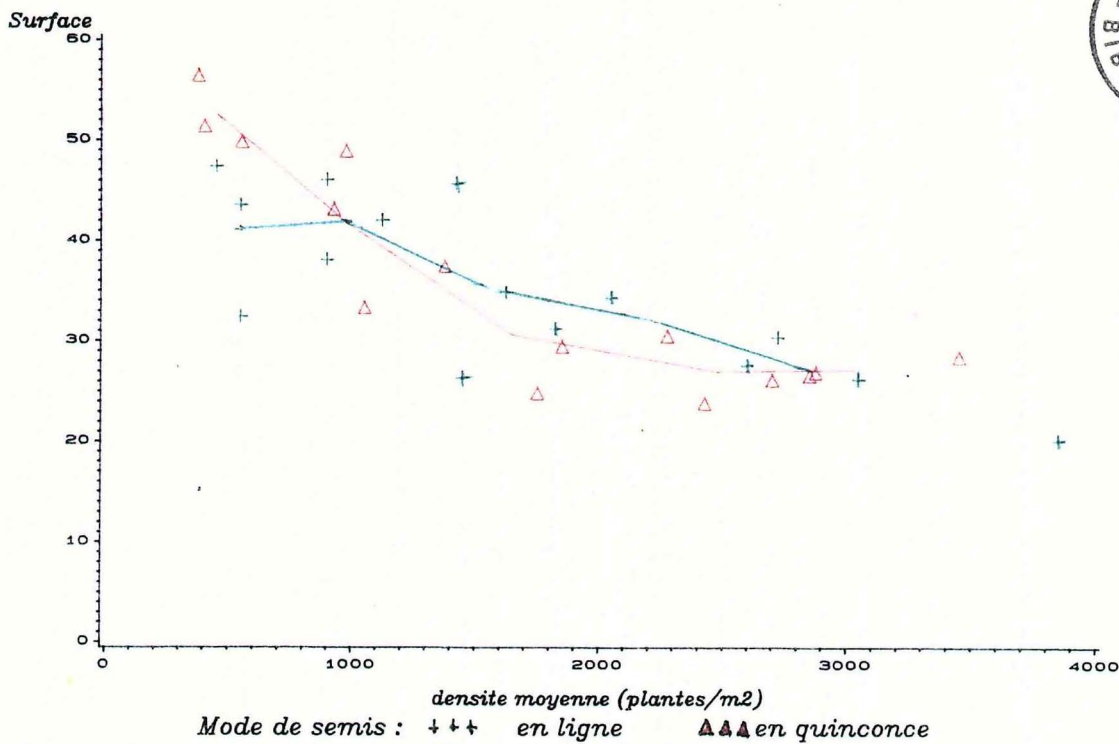


Figure 3-17: Surface foliaire par plante (en cm^2) en fonction de la densité de plantes par mètre carré. Les symboles représentent les moyennes par parcelle. Les points reliés par des droites représentent les moyennes par traitement.

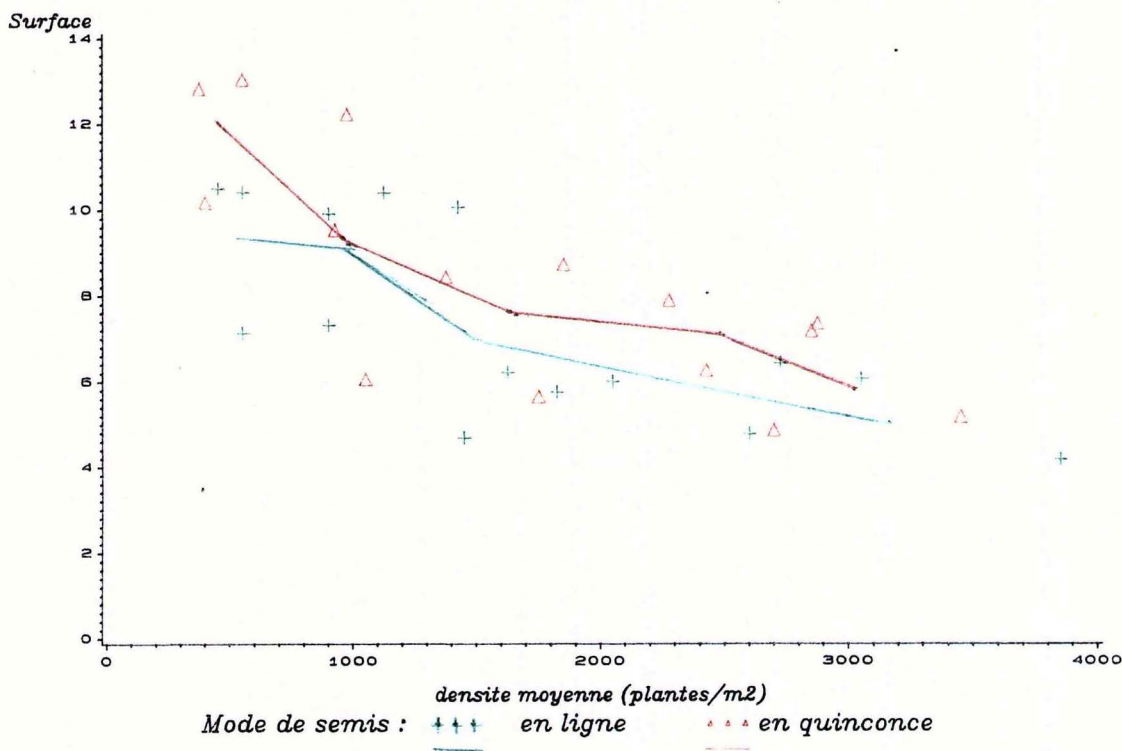


Figure 3-18: Surface foliaire (en cm^2) sur les 15 premiers centimètres de tige en fonction de la densité de plantes par mètre carré. Les symboles représentent les moyennes par parcelle. Les points reliés par des droites représentent les moyennes par traitement.

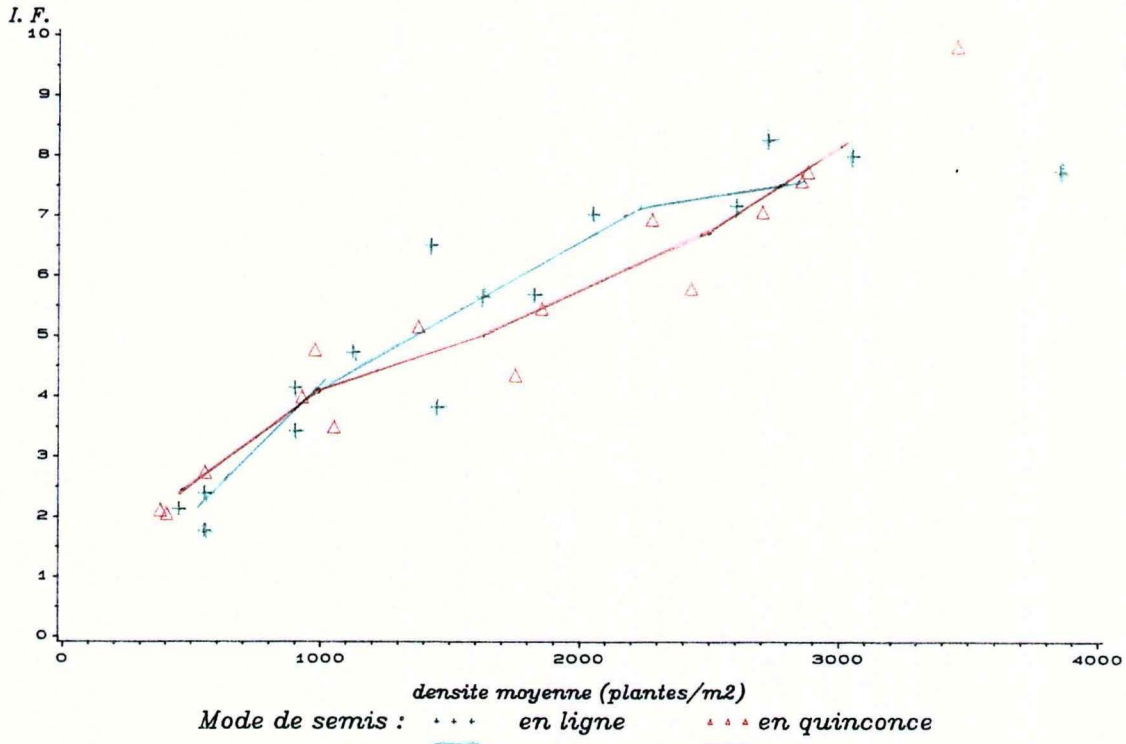


Figure 3-19: Indice foliaire en fonction de la densité de plantes par mètre carré. Les symboles représentent les moyennes par parcelle. Les points reliés par des droites représentent les moyennes par traitement.

tige, un effet tout à fait comparable à celui observé pour l'ensemble de la tige. Cependant il a été vu que les feuilles de la base sont plus courtes pour le semis en ligne. Il s'en suit une surface foliaire plus faible pour ce mode de semis sur les 15 premiers centimètres (alors qu'il semble que ce soit l'inverse qui se produise au niveau de la plante entière).

3.5.3/ Evaluation de l'indice foliaire

Malgré la diminution de la surface foliaire par plante avec la densité, l'indice foliaire croît très fortement avec cette dernière (figure 3-19) et ceci de façon à peu près linéaire (l'indice foliaire est défini par le rapport de la surface foliaire sur la surface au sol). L'interception du Rayonnement Photosynthétique Utilisable par la plante (RPU) ne croît cependant pas de façon linéaire avec l'indice foliaire: en première approximation l'interception du RPU est souvent décrite au moyen d'une exponentielle négative $I = 1 - \exp(-k IF)$. Cette interception pourrait être calculée précisément à partir de maquettes de plantes. L'interception lumineuse par les tiges devrait alors également être prise en compte dans cette étude.

3.6/ Inflorescence

3.6.1/ Observation des ramifications

L'analyse de variance nous révèle que l'effet du mode de semis sur le nombre de ramifications est significatif alors que le mode de semis n'a pas d'effet (tableau 7).

tableau 7 Analyse de variance du nombre de Ramifications de l'inflorescence
231 observations (dates 5 et 6)

SOURCE	d.d.l	Valeur F	Proba>F
DENSITE	4	48.04	0.0001
MODE	1	1.27	0.2609

$$R^2 = 0,468$$

La figure 3-20 montre la décroissance du nombre de ramifications en fonction de la densité. La dispersion du nuage de point est trompeuse: plusieurs points peuvent être représentés sous un même point (les moyennes et variances du nombre de ramifications figurent en annexe N°8). Si l'on travaille sur les moyennes par traitement, on obtient un excellent ajustement du nombre de ramifications en fonction de la densité de plantes au moyen d'une exponentielle négative:

$$\text{Nombre de ramifications} = 5.78 * (1 - \exp(-0.168 * \text{Surf}))$$

Le R^2 de l'ajustement de la moyenne par traitement du nombre de ramifications en fonction de la surface par plante est excellent ($R^2=0,929$).

Cet ajustement, exprimé en fonction de la densité, est représenté sur la figure 3-21. On peut y remarquer que la courbe fixe une valeur maximale de 6 ramifications pour des lins très clairsemés. C'est une limite fixée par les conditions de culture. Le nombre de ramifications moyen est seulement de deux vers 3000 plantes au mètre carré.

3.6.2/ Observation des boutons floraux

Le même type d'observations on été effectués pour le nombre de boutons floraux. En fait, on a compté ici les fleurs et les boutons floraux en cours de développement ainsi que les capsules déjà formés. Les boutons abortifs ne sont pas pris en compte. Les moyennes et variances par traitements figurent en annexe N°9. Les résultats de l'analyse de variance du nombre de boutons pour les traitements sont présentée dans le tableau 8 ci-dessous:

tableau 3-8 Analyse de variance du Nombre de BOUTONS de l'inflorescence
231 observations (dates 5 et 6)

SOURCE	d.d.l	Valeur F	Proba > F
DENSITE	4	56.18	0.0001
MODE	1	0.83	0.3618

$$R^2 = 0,504$$

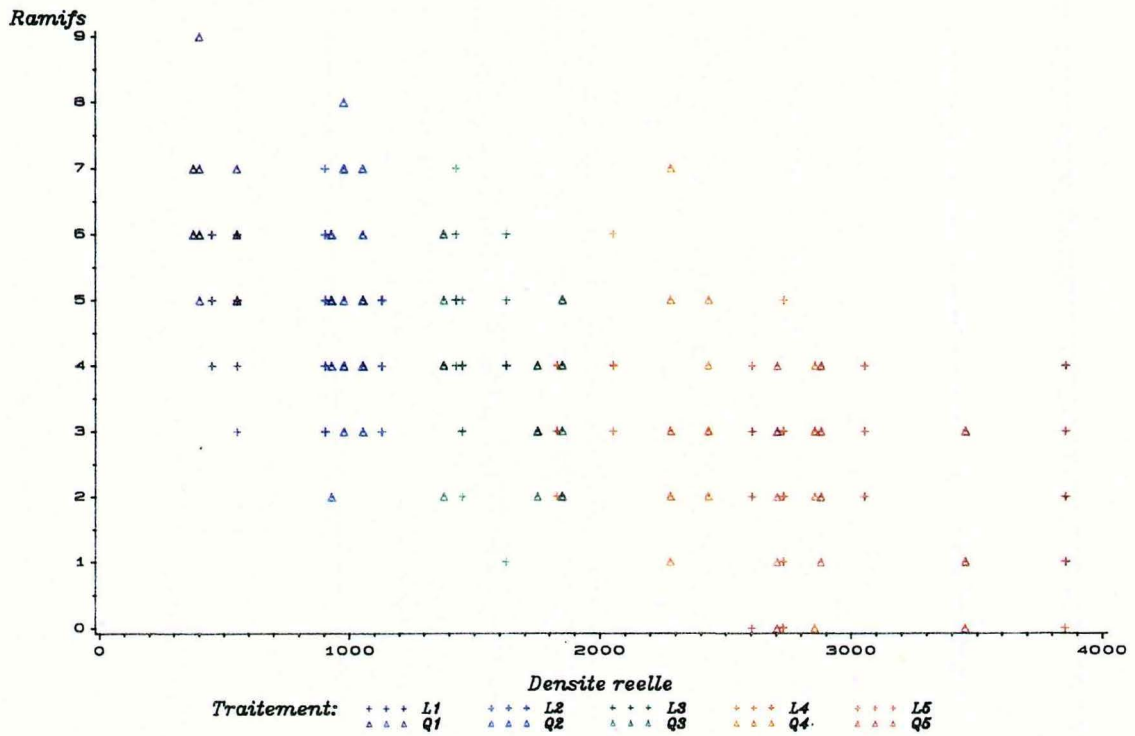


Figure 3-20: Nombre de ramifications de l'inflorescence en fonction de la densité de plantes par mètre carré.

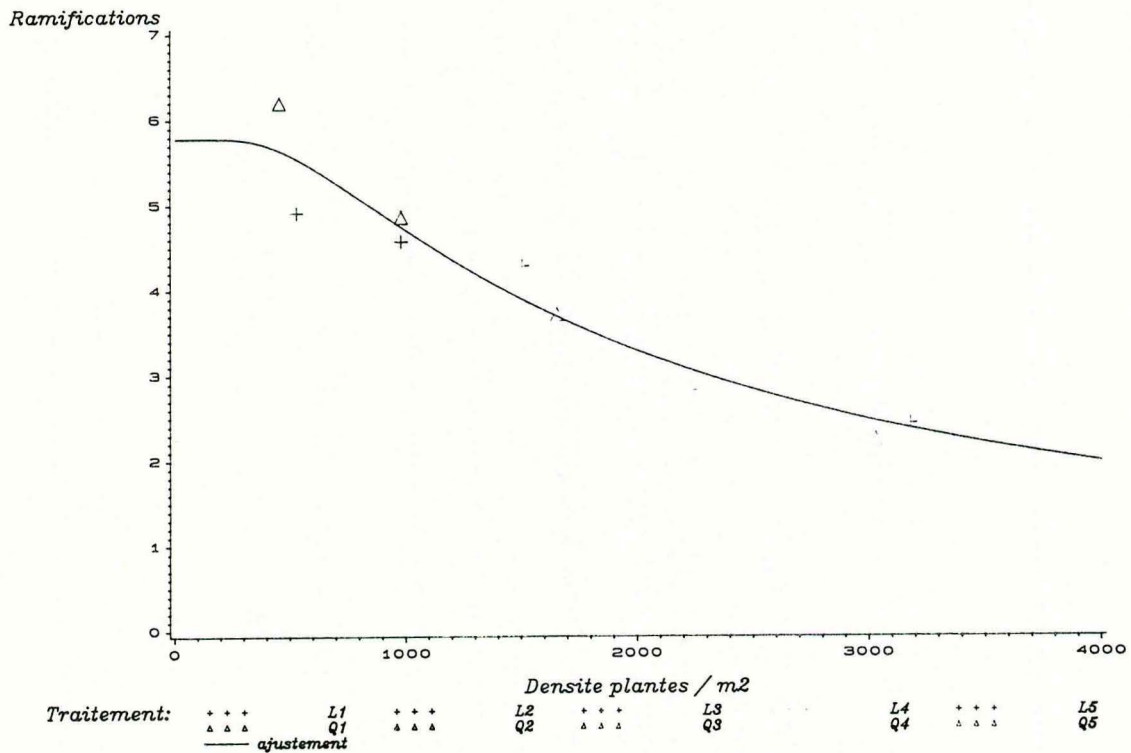


Figure 3-21: Nombre moyen de ramifications de l'inflorescence en fonction de la densité de plantes par mètre carré. Ajustement:
 Nbre Ramifications = $5.782 * (1 - \exp(-0.168 * \text{Surf}))$
 $R^2 = 0.929$

Il apparait que seul la densité de semis a un effet significatif sur la variable observée.

La figure 3-22 présente le nombre de boutons par plante en fonction de la densité au stade récolte de chaque parcelle. Malgré la superposition de points on note la tendance décroissante de la courbe et la diminution de la variabilité lorsque la densité augmente. L'ajustement du nombre de boutons en fonction de la surface élémentaire dont dispose chaque plante est aussi une exponentielle négative, de formule:

$$\text{Nombre de boutons} = 0.32 + 17.2 * (1 - \exp(6.87 \cdot 10^{-2} * \text{Surf}))$$

Cet ajustement des moyennes par traitement a un bon coefficient de corrélation ($R^2 = 0,934$). Sur la figure 3-23 on a représenté cet ajustement en l'exprimant en fonction de la densité des parcelles. Sur cette figure on retrouve la décroissance observée pour le nuage de points sur la figure 3-22 précédente. Des limites intéressantes apparaissent sur cette courbe d'ajustement. On observe une limite supérieure pour les faibles densités de 18 boutons par plante. A la densité maximale de plantes atteinte dans l'essai, le nombre moyen de boutons est inférieur à quatre.

3.6.3/ Relation entre nombre de boutons et nombre de ramifications

Le nombre de boutons floraux est bien entendu fonction du nombre de ramifications (cf. figure 3-24). Il ne lui est cependant pas proportionnel: des individus peu vigoureux n'auront qu'une ou deux ramifications qui ne porteront elles-même généralement qu'un bouton. Par contre un individu très vigoureux portera plus de ramifications qui, elles-même plus vigoureuses, porteront chacune 2 à 3 boutons. Un très bon ajustement (toutes données dates 5 et 6) du nombre de boutons en fonction du nombre de ramifications est donné par une logistique:

$$\text{Boutons} = 1 + \frac{K}{1 + ((K-1) * \exp(-r * \text{Ramifs}))}$$

...avec: $K = 26.483$

$r = 0.542$

$R^2 = 0.8135$

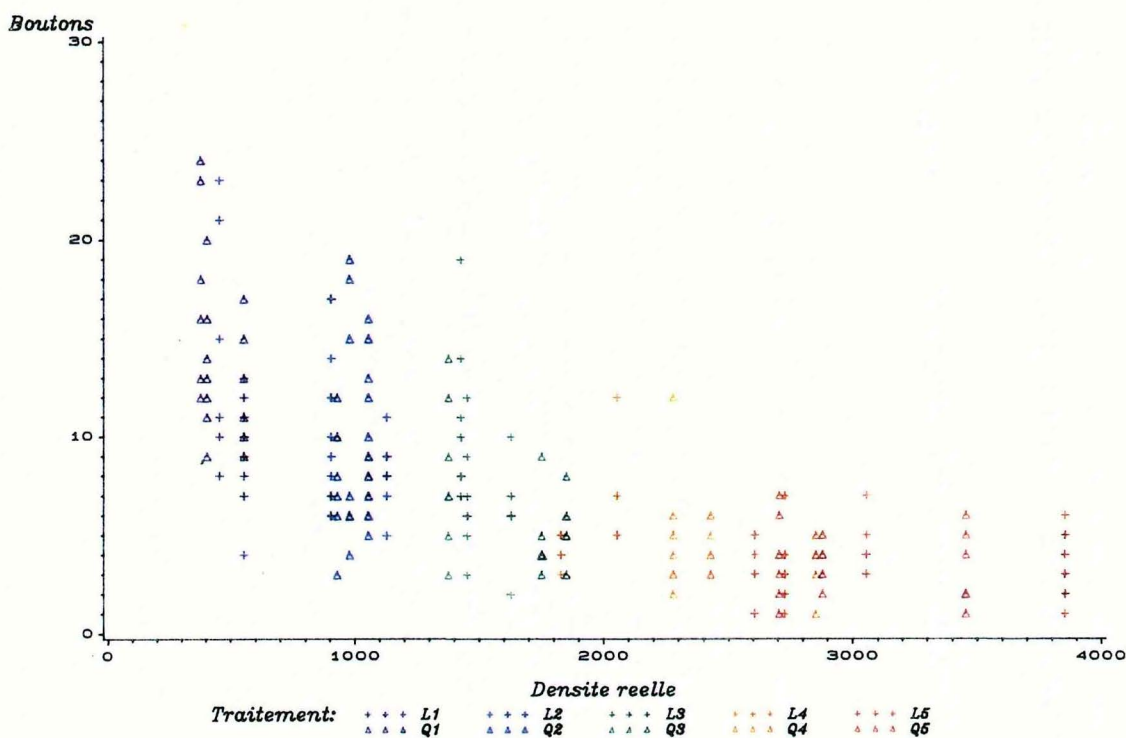


Figure 3-22: Nombre de boutons de l'inflorescence en fonction de la densité de plantes par mètre carré.

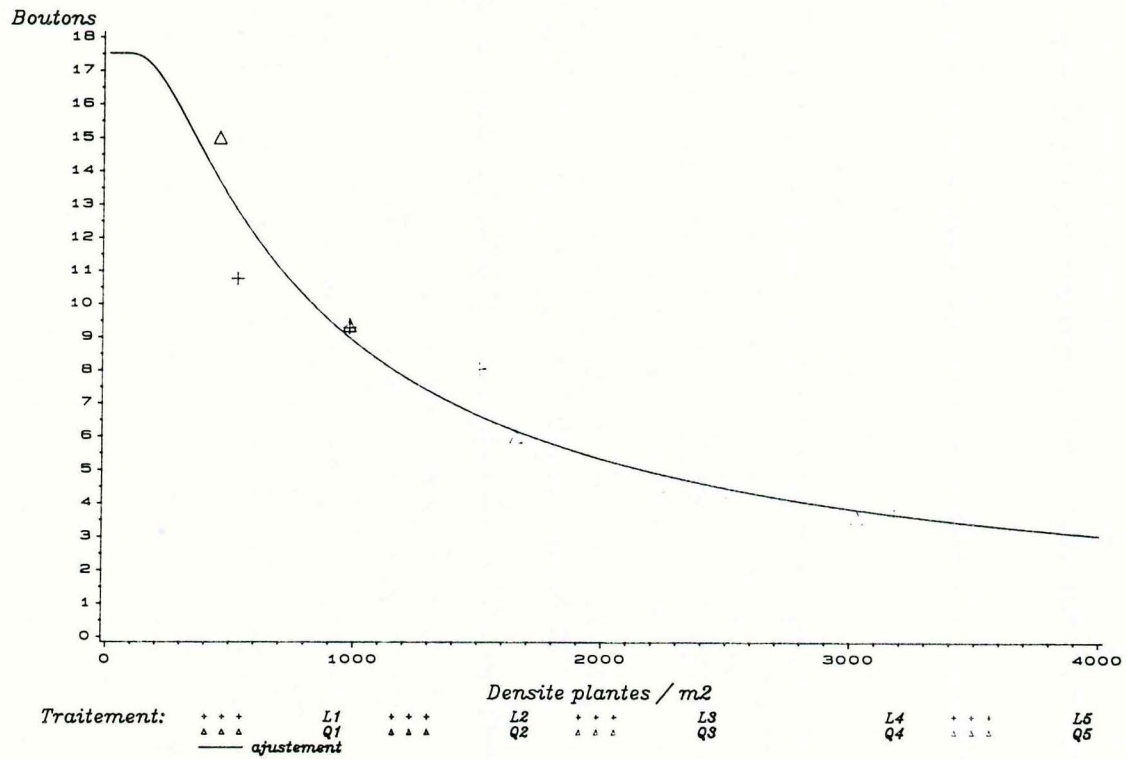
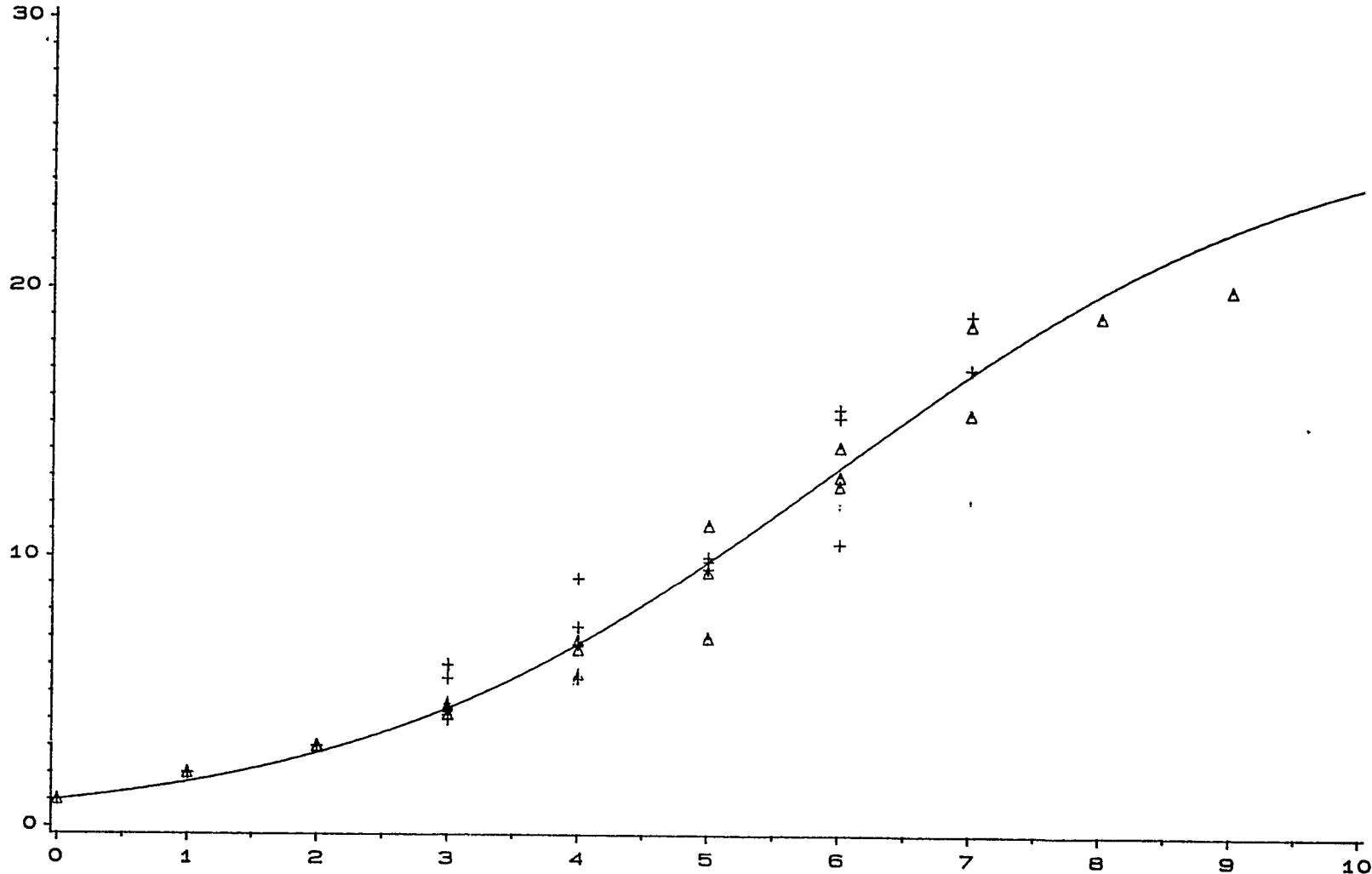


Figure 3-23: Nombre moyen de boutons de l'inflorescence en fonction de la densité de plantes par mètre carré. Ajustement:
 Nbre Boutons = $0.321 + 17.199 \cdot (1 - \exp(-6.867 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Surf}))$
 $R^2 = 0.934$

Boutons



Traitement:

+++
 Δ Δ Δ
 — ajustement

L1
 Q1

+++
 Δ Δ Δ

L2
 Q2

+++
 Δ Δ Δ

L3
 Q3

+++
 Δ Δ Δ

L4
 Q4

+++
 Δ Δ Δ

L5
 Q5

Ramifications

Figure 3-24: Nombre moyen de boutons par inflorescence en fonction du nombre moyen de ramifications. Ajustement:

$$\text{Nbre Boutons} = 1 + \frac{26.483}{1 + ((25.483 * \exp(-0.542 * \text{Nbre Ramif.}))$$

$$R^2 = 0.814$$

La valeur asymptotique qui est le nombre moyen de boutons que l'on peut obtenir chez les individus vigoureux (les plus ramifiés) est égale à $K+1 = 27.5$

Les nombres de ramifications et de boutons floraux sont très dépendant de la vigueur de la plante: une fois que la plante a assuré la mise en place de sa capsule apicale, les assimilats disponibles sont investis dans la formation de ramifications porteuses de 1 ou plusieurs boutons. Les conditions climatiques interviennent également sur le nombre de ramifications développées au niveau de l'inflorescence. Comme on peut s'y attendre la densité, qui a un effet important sur le diamètre des tiges et la longueur des feuilles, a une forte influence sur le nombre de ramifications et de boutons floraux formés. En fait, si l'ensemble tige et feuilles constituent l'appareil photosynthétique de la plante, la tige peut être considéré comme une réserve qui est sollicitée au moment du développement de l'inflorescence. Les plantes qui ont les diamètre les plus forts ont plus de ressources pour développer un nombre important de ramifications.

3.7/ Production fibreuse

3.7.1/ Observation du nombre de faisceaux de fibres

La tige présente une couronne fibreuse périlibérienne composée de 20 à 30 faisceaux de fibres plus ou moins jointifs. Le nombre et la taille des faisceaux dépendent du diamètre de la tige: plus la tige est fine, plus les faisceaux sont réduits en nombre et en taille.

Le nombre de ces faisceaux de fibres peut être relié à la production fibreuse. En effet, cette observation permet une approche qualitative de la production.

L'observation du nombre et de la taille des faisceaux de fibre se fait par coloration de sections de tiges au rouge de ruthénium. L'observation de la section se fait à la loupe binoculaire. Bien évidemment, il faut prendre la précaution d'observer toutes les tiges au même endroit, dans leur tiers médian.

Le rouge de ruthénium colore le contour des fibres en rouge. On peut alors observer la périphérie des faisceaux de fibres. Cependant les contours ne sont pas toujours très nets. Le comptage des vaisseaux du bois est beaucoup plus facile. En effet à chaque faisceau de fibre correspond un ensemble de vaisseaux du bois.

Nous avons effectué deux types d'observations du nombre de faisceaux:

- Une observation de 22 plantes représentatives de chaque traitements (soit au total: 220 plantes) pour juger de la différence entre les traitements.
- Une observation de 5 plantes de diamètre constant de 1,8 mm, pour chaque traitement afin de juger quelle part de la différence observée précédemment est due à l'effet du traitement.

a) Observations des différents traitements.

L'analyse de variance dont les résultats figurent ci-dessous (tableau 10) nous révèle que l'effet de la densité de semis est significatif. Par contre le mode de semis n'est significatif qu'au seuil de 10% pour le test F.

tableau 9 nombre de faisceaux de fibres
(effectif, moyenne, variance)

dens.	mode 1			mode 2			moyenne		
	Eff.	Moy.	Var.	Eff.	Moy.	Var.	Eff.	Moy.	Var.
1	22	31.0	7.0	22	30.8	6.4	44	30.9	6.5
2	22	27.6	7.7	22	29.6	5.2	44	28.6	7.3
3	22	29.4	7.6	22	29.6	12.0	44	29.5	9.6
4	22	28.0	4.3	22	27.6	7.6	44	27.8	5.9
5	22	27.5	4.2	24	28.8	6.1	46	28.2	5.5
moy.	110	28.7	7.7	112	29.3	8.3	222	29.0	8.0

tableau 10

Analyse de variance du nombre de faisceaux.
Effets des traitements.

Nombre d'observations: 222

 $R^2 = 0.216$

SOURCE	d.d.1	Valeur F	Proba>F
DENSITE	4	10.41	0.0001
MODE	1	2.84	0.0931
REPET	2	7.51	0.0007

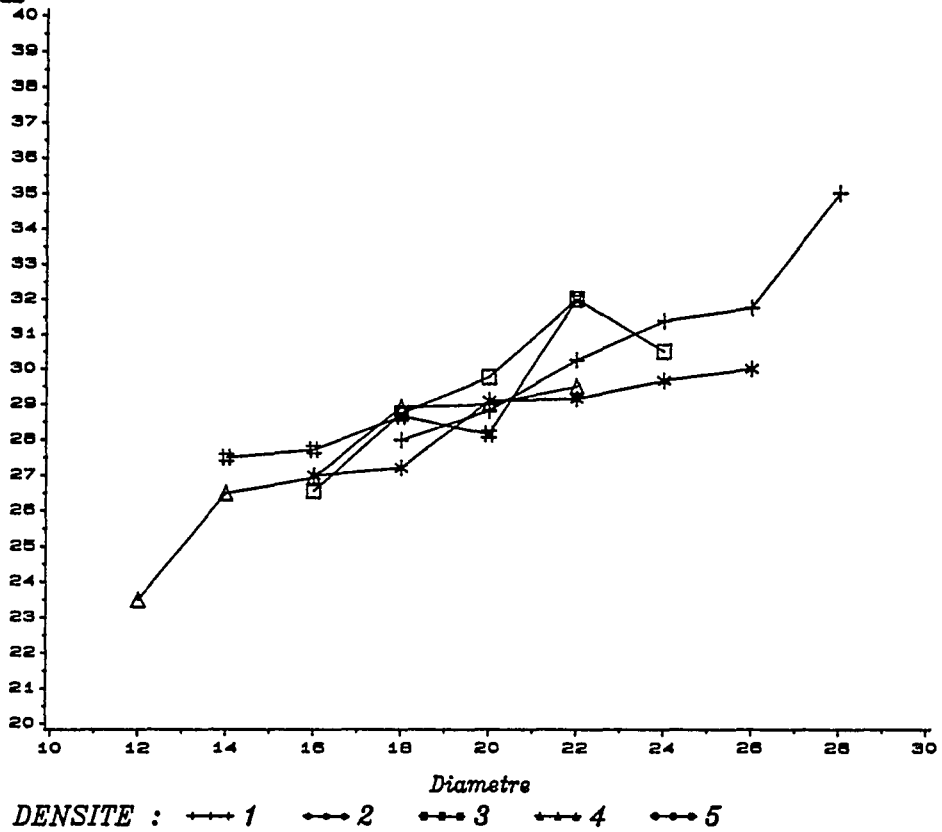
L'effet de la densité de semis peut s'analyser en se référant à la figure 3-25-a qui présente, pour les 5 densités de semis, l'évolution du nombre de faisceaux de fibres en fonction du diamètre des tiges. On y constate une relation linéaire entre le nombre de faisceaux et le diamètre pratiquement identique pour tous les traitements. La densité n'agit donc sur le nombre de faisceaux de fibres que parcequ'elle influe sur les diamètres.

L'effet du mode de semis est observable sur la figure suivante (figure 3-25-b). On y remarque le même comportement des deux modes de semis. Cependant pour un même diamètre, le mode de semis en quinconce donne des nombres de faisceaux en moyenne supérieurs au semis en ligne, tendance qui apparait plus nettement pour les forts diamètres. Les échantillons utilisés pour cette étude sont cependant peu importants (22 plantes par traitement) et il est difficile de conclure que les effets observés sont réellement dus au mode de semis. Ce point mériterait donc une étude complémentaire.

b) Observations à diamètre constant.

Le diamètre choisi pour l'observation des plantes à un diamètre constant est de 1,8 mm. C'est un diamètre présent dans toutes les densités. Le tableau 11 ci-dessous présente les moyennes et variances par traitements du nombre de faisceaux observés.

Nombre de faisceaux



Nombre de faisceaux

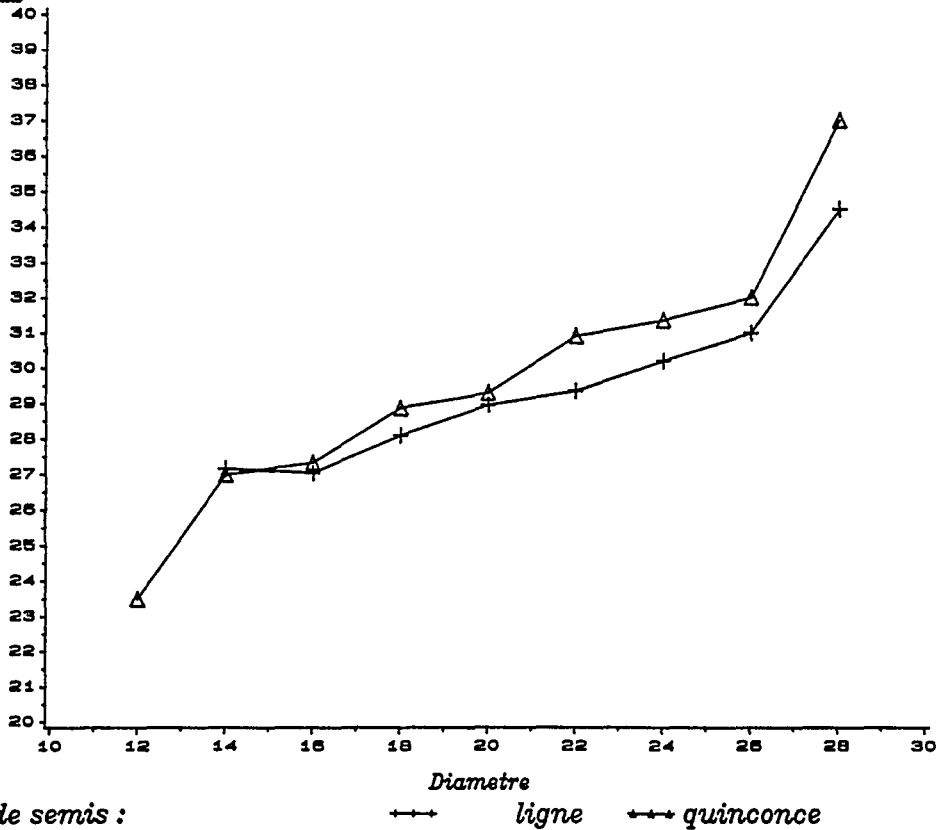


Figure 3-25: Nombre de faisceaux de fibres en fonction du diamètre à 5 centimètres.

- a- par densité de semis;
- b- par mode de semis.

tableau 3-11

Nombre de faisceaux de fibres pour les tiges
de diamètre 1,8 mm

Dens.	mode 1		mode 2		moyenne	
	MOY	VAR	MOY	VAR	MOY	VAR
1	28.8	2.2	29.4	3.3	29.1	2.5
2	28.8	1.7	28.6	9.8	28.7	5.1
3	27.4	0.3	27.6	4.8	27.5	2.3
4	28.4	6.8	29.0	3.5	28.7	4.7
5	28.0	1.0	27.2	5.7	27.6	3.2
moy	28.3	2.3	28.4	5.2	28.3	3.7

tableau 12

Analyse de variance du nombre de faisceaux de
fibres pour des plantes de diamètre constant
($\phi=1.8\text{mm}$).

nombre d'observations: 50

$$R^2 = 0.116$$

Source	d.d.1	Valeur F	Proba>F
DENSITE	4	1.44	0.2380
MODE	1	0.02	0.8827

La figure 3-26 présente l'évolution du nombre de faisceaux en fonction de la densité. Aucune tendance ne ressort, ni pour le mode de semis, ni pour la densité, ce que confirme l'analyse de variance (tableau 12). En particulier, la supériorité du semis en quinconce sur le semis en ligne en ce qui concerne le nombre de faisceaux n'apparaît pas ici (mais il semblerait que cette supériorité, si elle existe, apparaisse surtout pour les forts diamètres). Un échantillonnage plus important serait, là encore, nécessaire pour confirmer cette indépendance du nombre de faisceaux vis à vis de la densité et du mode de semis.

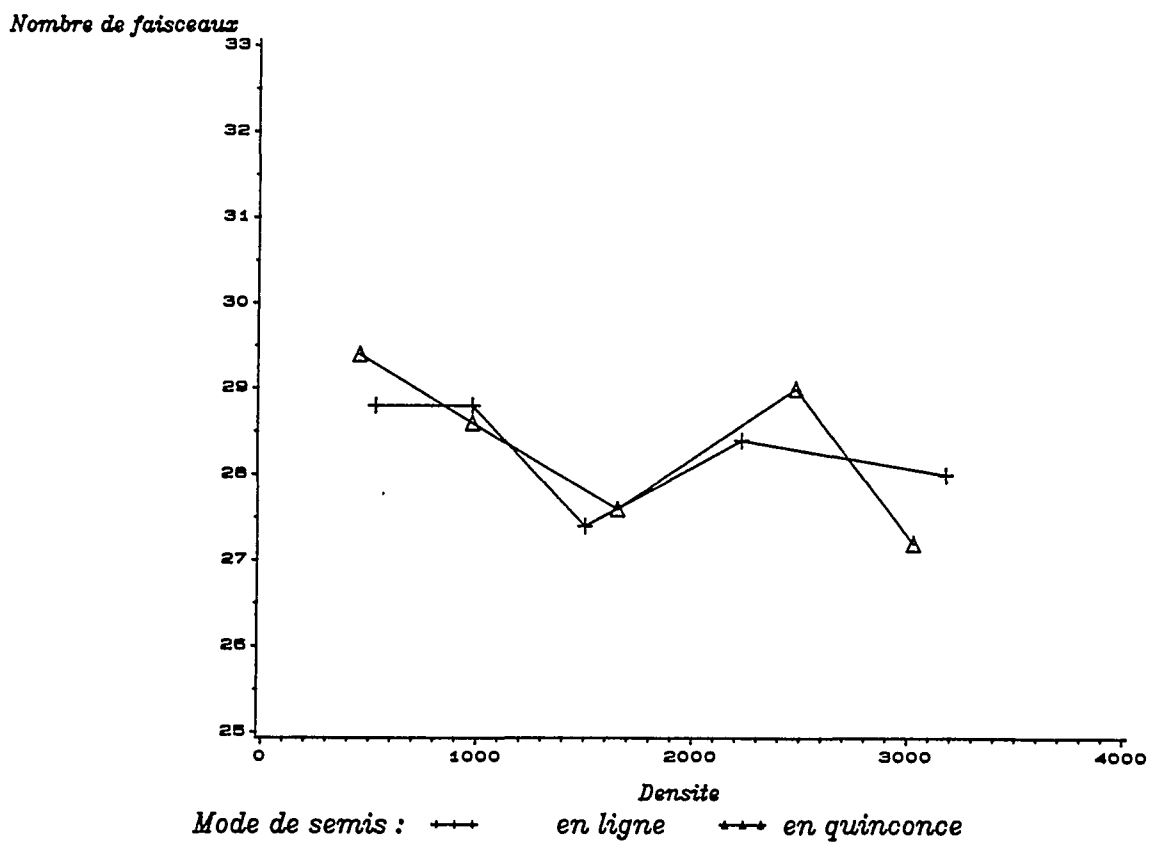


Figure 3-26: Nombre de faisceaux de fibres chez des plantes de diamètre constant (1,8 mm) en fonction de la densité de plantes par mètre carré.

3.7.2/ Microbroyage

Lors du teillage industriel du lin, les fibres courtes sortent avec les étoupes, tandis que les fibres longues, partie noble de la récolte constituent le lin teillé ou filasses et suivront le circuit "brin long" en filature.

Les récoltes de chaque parcelle sont trop peu importantes pour être traitée dans un teillage. En effet, les teilleuses sont d'énormes machines. Pour avoir un résultat significatif, le poids d'un échantillon que l'on doit traiter est d'une centaine de Kg. Le microbroyage permet un d'obtenir des résultats pour des petits échantillons: on traite des échantillons de 100 g de lin battu (écapsulé). Par contre, le résultat obtenu est différent puisque l'on obtient un rendement en fibres totales. La dénomination fibres totales rassemble l'ensemble des fibres longues et des fibres courtes de la tiges.

Le microbroyage consiste à faire passer un échantillon de lin dans deux séries de broyeur de dentures différentes. Dans le premier, le lin est étiré par un seul passage entre des rouleaux constitués par des cylindres à grosses dentures. Dans le second broyeur constitué par des cylindres à plus petites dentures, on effectue un nombre de passages variable. Le nombre de passage d'un échantillon de 100 grammes de lin battu est fixé par la différence entre deux passages successifs qui doit être inférieure ou égale à 0,20 g. Par ces différents passages et un secouage énergique entre chaque passage, les fibres de lin sont débarrassées des anas.

Le tableau 13 présente les résultats obtenus après microbroyage des différentes parcelles. Les résultats des traitements présentent une certaine variabilité.

tableau 13

Pourcentage de fibres totales après microbroyages

dens	mode 1				mode 2				MOY gen
	r1	r2	r3	moy	r1	r2	r3	moy	
1	31,1	28,0	27,6	28,6	28,0	27,9	28,6	28,2	28,4
2	27,7	28,1	29,5	28,4	26,7	27,6	31,6	28,6	28,5
3	28,0	28,9	28,0	28,3	28,6	30,6	29,7	29,6	29,0
4	29,5	28,7	29,0	29,0	29,0	31,8	30,9	30,6	29,8
5	33,0	34,5	28,4	32,0	31,2	32,2	28,9	30,8	32,9

tableau 14

Analyse de variance du % Fibres totales après microbroyage.
Effets des traitements.

Nombre d'observations: 30

$$R^2 = 0.408$$

SOURCE	d.d.l	Valeur F	Proba>F
DENSITE	4	3.48	0.0240
MODE	1	0.24	0.6318
REPET	2	0.51	0.6083

L'analyse de variance du tableau 14 révèle que la densité de semis à un effet significatif sur le résultat obtenu. Par contre, les effets du mode de semis et de la répétition ne sont pas significatifs.

Sur la figure 3-27, on a représenté le pourcentage de fibres totales en fonction de la densité de plantes au mètre carré pour les différents traitements. On observe une tendance croissante du % fibres avec la densité.

Cette tendance a été ajustée, tous traitements confondus, au moyen d'une régression linéaire. Le coefficient de corrélation de cet ajustement est assez faible (R^2 égal à 0,33).

$$\text{Rdt fibre} = 27.62 + \text{densité} * 1.063 \cdot 10^{-3}$$

$$R^2 = 0.334$$

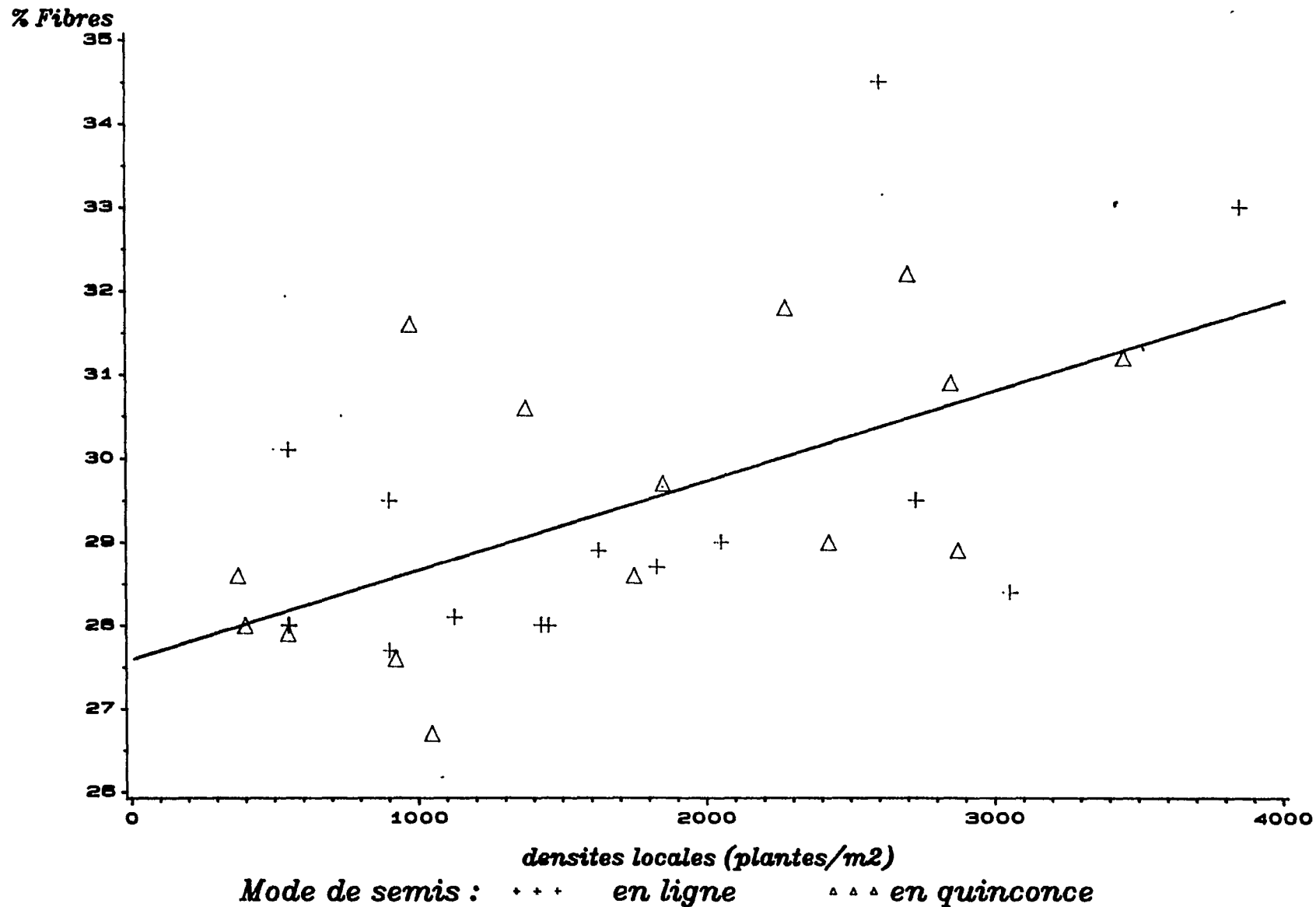


Figure 3-27: Pourcentage de fibres totales dans les pailles écapsulées en fonction de la densité de plantes par mètre carré.

Ajustement linéaire:

$$\% \text{ fibres} = 27.62 + D_{\text{obs}} * 1.063 \cdot 10^{-3}$$

$$R^2 = 0.334$$

Cette étude demanderait à être confirmée sur des échantillons nettement plus importants. Une étude sur la production fibreuse devrait en outre intégrer la qualité des fibres. On a pu constater en effet que les fibres que les plantes semées à forte densité possédaient des fibres plus fines et que la part de fibres longues était plus faible. Malheureusement ces observations n'ont pas été quantifiées pour cet essai. Ce résultat aurait été obtenu en travaillant les échantillons dans une teilleuse.

3.7.3/ Production fibreuse ramenée à la surface

Les rendements de fibres présentés précédemment sont des pourcentages de fibres totales dans 100 grammes de lin battu. Dans la suite de cette étude, nous allons étudier les productions fibreuses ramenées à la surface cultivée, grâce aux données suivantes:

- le nombre de tiges écapsulées dans 100 grammes de lin battu, donnée dont on dispose pour chaque traitement.
- le nombre de plantes par m^2 pour chaque parcelle.

Ainsi, la production de pailles écapsulées par unité de surface (m^2) est donnée par:

$$\text{production de pailles} = \frac{100 * \text{Densité}}{\text{Nbre tiges}/100g}$$

... et la production de fibres par m^2 par:

$$\text{production fibre}/M^2 = \frac{\text{poids fibres dans 100g} * \text{Densité (Pltes}/m^2)}{\text{nombre tiges dans 100g}}$$

a) Poids moyen de tiges écapsulées.

Le poids moyen d'une tige diminue avec la densité. Mais les deux mode de semis donnent des résultats sensiblement identiques.

tableau 15

Poids moyen (en g.) d'une tige écapsulée.

	dens.1	dens.2	dens.3	dens.4	dens.5
mode 1 en ligne	1.02	0.64	0.49	0.50	0.45
mode 2 en quinc.	0.91	0.72	0.52	0.46	0.41

On ajuste très bien ($R^2 = 0,897$) le poids moyen d'un individu en fonction de la surface moyenne dont il dispose.

$$\text{Poids}(g) = A + B \cdot (1 - \exp(-C \cdot \text{Surf})) \quad (\text{Surf} = \text{cm}^2)$$

... avec: $A = 0.2364$

$B = 0.9609$

$C = 6.306 \cdot 10^{-2}$

Après avoir ajusté le poids moyen d'une tige en fonction de la surface, on peut en faire la représentation en fonction de la densité (figure 3-28).

b) Production de pailles écapsulées par m^2

Malgré la diminution du poids moyen d'une tige, la production au m^2 augmente fortement avec la densité. Cette production de pailles écapsulées est représentée sur la figure 3-29. La courbe d'ajustement est obtenue à partir de l'ajustement du poids moyen d'une tige réalisé au paragraphe précédent. On multiplie le poids moyen des plantes (courbe théorique de l'ajustement) par la densité.

c) Production de fibres par surface.

La production de fibres totales par plante peut être calculée à partir des relations obtenues précédemment. Une relation plus simple peut cependant être obtenue en ajustant directement le poids de fibres par plante en fonction de la surface disponible par plante au moyen d'une exponentielle négative:

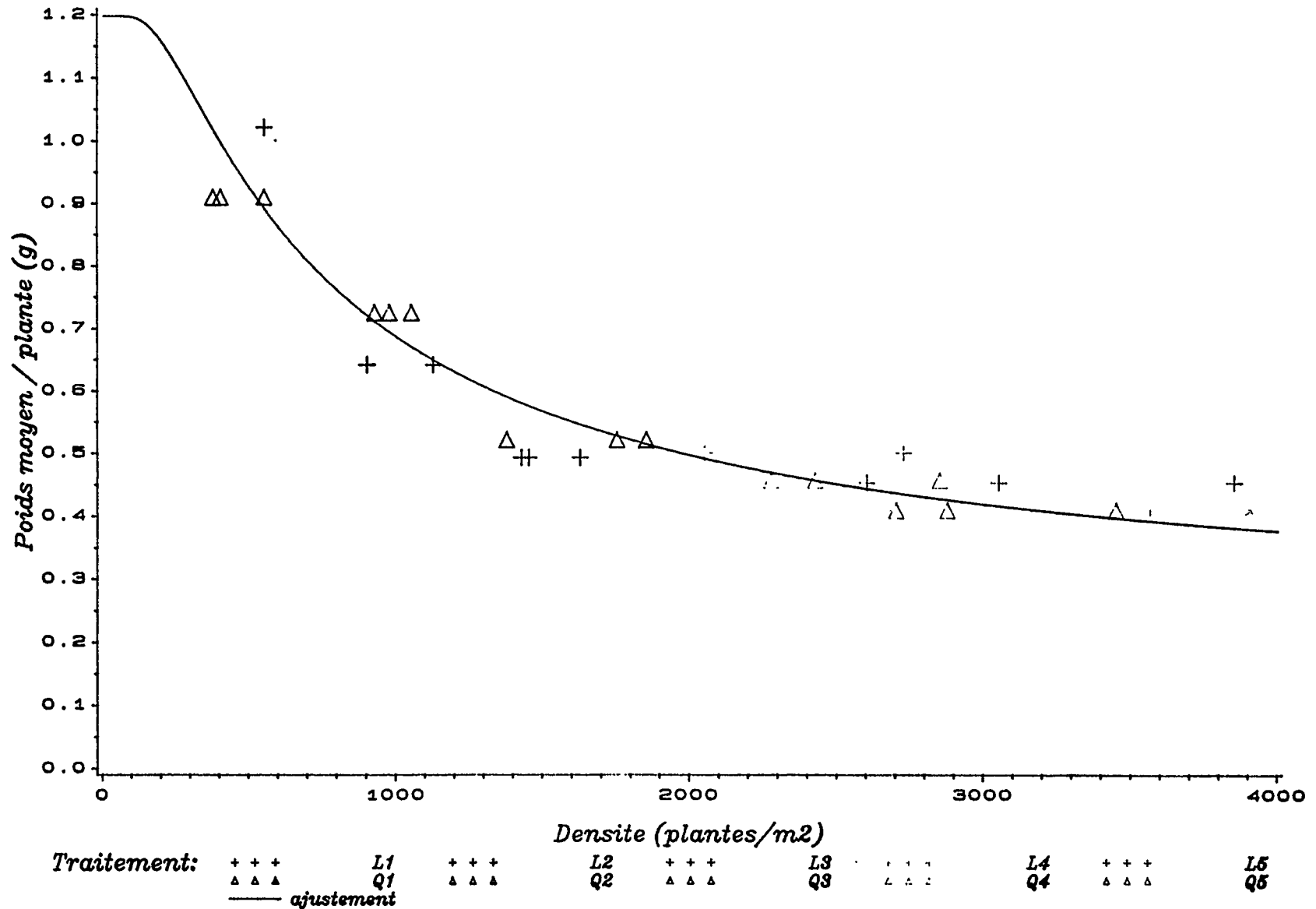


Figure 3-28: Poids moyen d'une tige écapsulée (g) en fonction de la densité de plantes par mètre carré.

$$\text{Poids moyen/tige} = 0.236 + 0.961(1 - \exp(-630.6/D_{\text{obs}}))$$

$$\text{Poids fibre par plante (g)} = A + B*[1-\exp(-C*\text{Surf})]$$

...avec $A = 8.74 \cdot 10^{-2}$

$$B = 0.272$$

$$R^2 = 0.86$$

$$C = 5.025 \cdot 10^{-2}$$

$$\text{Surf en cm}^2)$$

La production par mètre carré de linière correspondante est représentée sur la figure 3-30.

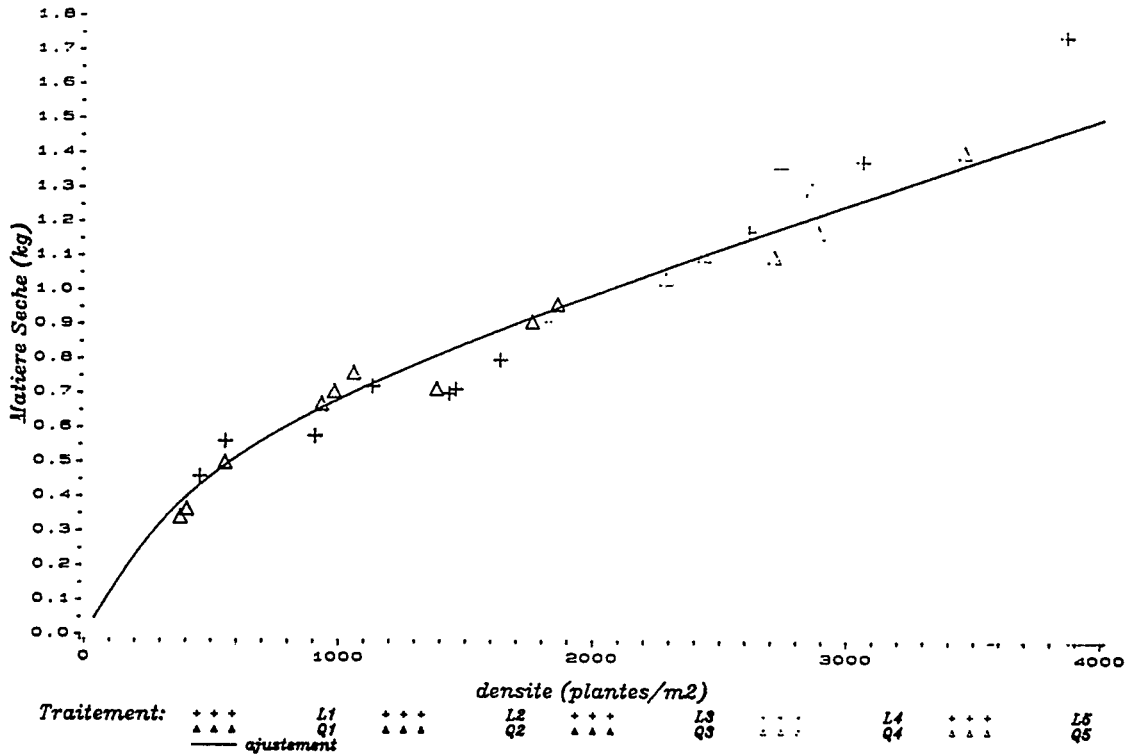


Figure 3-29: Production (kg) de pailles écapsulées par mètre carré en fonction de la densité de plantes. La courbe théorique est une représentation par mètre carré de l'ajustement de la figure 3-28.

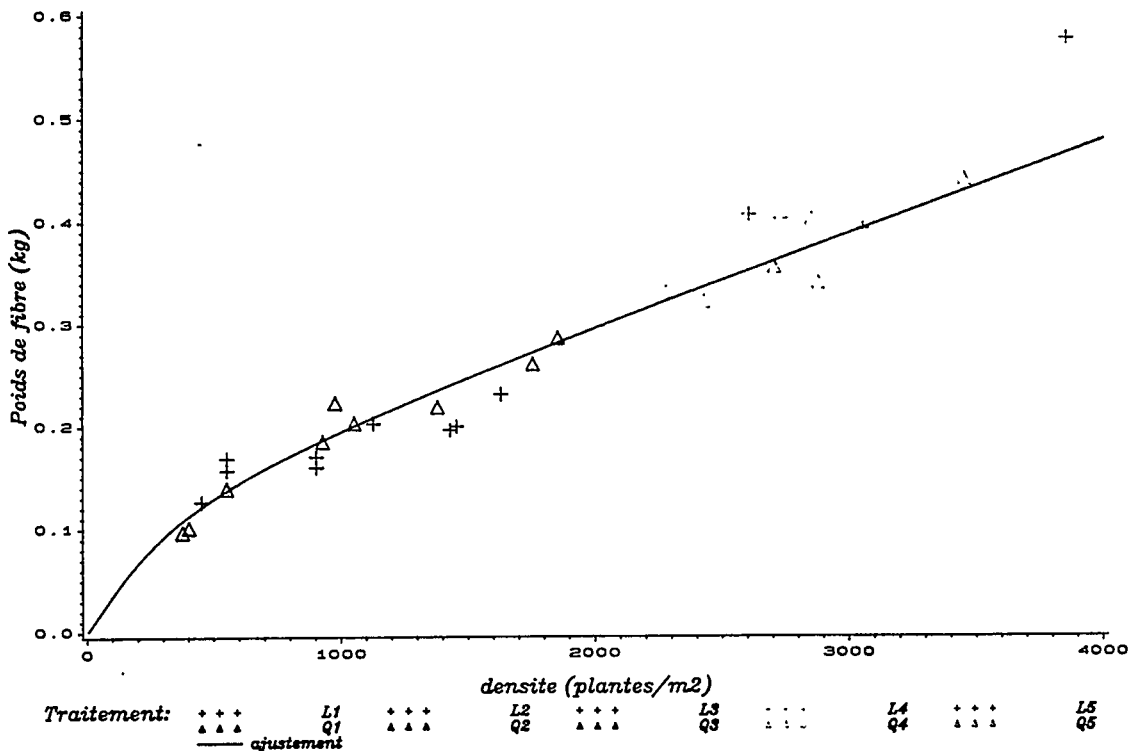


Figure 3-30: Production (kg) de fibres totales par mètre carré en fonction de la densité de plantes. Ajustement:
 $\text{fibre/m}^2 = d_{\text{obs}} * (8.736 \cdot 10^{-2} + 0.272(1 - \exp(5025/D_{\text{obs}})))$
 $R^2 = 0.86$

4) ANALYSE BIOMETRIQUE

L'étude préliminaire de 1988 a permis d'établir des relations internes et des corrélations entre certaines variables. Nous allons donc tester ces relations avec les observations recueillies cette année. Les données de cet essai nous permettront également de prendre en compte des nouvelles variables pour établir des modèles:

- la densité de semis,
- le mode de semis,
- la longueur des feuilles.

Nous regarderons également si les relations que l'on peut établir pour un modèle général sont les mêmes pour les différents traitements.

4.1/ Nombre d'entre-noeuds

4.1.1/ Corrélation avec d'autres variables

L'étude 1988 a montré que le nombre d'entre-noeuds formés est corrélé avec la densité d'entre-noeuds à la base de la tige et avec le diamètre à 5 cm.

Pour voir quelles sont les corrélations intéressantes entre le nombre total d'entre-noeuds et d'autres variables observées, on pratique l'analyse de covariance. Avec cette analyse nous permet de voir quelles sont les variables qui sont le plus reliée à la variable expliquée.

a) présentation des résultats de l'analyse de covariance.

Pour cette étude du nombre d'entre-noeuds, on a effectué l'analyse de covariance en tenant compte de l'effet de la densité. L'effet du mode de semis n'a par contre pas été incorporé dans cette analyse car l'analyse de variance présentée dans le chapitre précédent nous a montré qu'il n'avait d'effet significatif sur le nombre d'entre-noeuds. Dans cette analyse on prendra la densité observée des plantes (DP) plutôt que la densité de semis¹.

tableau 16

Analyse de covariance
Variable: nombre d'entre-noeuds.

210 observations

$R^2 = 0.684$

SOURCE	degrès de liberté	Valeur de F	Proba > F
T20	1	240.30	0.0001
DIAMETRE	1	14.07	0.0002
LF4	1	4.51	0.0349
D_obs	1	26.89	0.0001

L'analyse de covariance (tableau 16) indique une corrélation significative entre le nombre d'entre-noeuds (N.entn) d'une part et les régresseurs utilisés: densité observée des plantes (DP), densité d'entre-noeuds sur les 20 premiers cm de tige (T20), diamètre des tiges à 5 cm des cotylédons (\emptyset) et longueur moyenne des feuilles du 4^o tronçon (LF4).

1) -C'est la densité effective de plantes qui a un sens du point de vue de la compétition. Cette densité est fortement corrélée avec la densité de semis (cf. § 31). Néanmoins, la relation trouvée, qui est certainement très générale, n'aura pas les mêmes paramètres d'une année à l'autre. L'analyse effectuée avec les densités observées de plantes donnera donc les mêmes résultats que si l'on avait pris les densités de semis, mais ces résultats seront plus facilement extrapolables.

Sur les figures 4-1-a, 4-1-b, et 4-1-c, les nombres d'entre-noeuds sont représentés en fonction de différents régresseurs: le diamètre des tiges, la densité d'entre-noeuds sur les 20 premiers cm de tige (T20), la longueur moyenne des feuilles du 4° tronçon (LF4). Les nuages de points obtenus pour chaque densité prise isolément indiquent des corrélations très lâches pour l'ensemble des régresseurs à l'exception de T20. Les tendances qui peuvent apparaitre sont par ailleurs trop erratiques pour que l'on puisse tirer des conclusions quand à l'interaction entre la densité et l'effet de chacun des régresseurs. Les corrélations avec chaque régresseur seront donc, dans un premier temps, calculées après regroupement des différents traitements, ce qui a l'avantage d'élargir la plage de variation propre à chaque régresseur. On notera que, après regroupement, les liaisons restent relativement faibles mais qu'elles sont suffisamment linéaires pour que le calcul des coefficients de corrélation linéaire aient un sens.

b) Recherche des corrélations entre Entn et les différents régresseurs

La recherche des corrélations entre le nombre d'entre-noeuds et la longueur des feuilles n'est possible que pour les dates 5 et 6, ce qui nous donne 210 données utilisables. Le tableau 17 ci-dessous présente les R^2 correspondant aux différentes combinaisons linéaires des régresseurs. On constate que le meilleur régresseur est la densité d'entre-noeuds sur les 20 premiers centimètres de tige. La corrélation avec le diamètre est faible, et celle avec la longueur des feuilles extrêmement faible. Les corrélations multiples ne sont pratiquement pas modifiées par la prise en compte ou non de LF4 (à l'exception de la corrélation avec le diamètre qui est améliorée par l'adjonction du régresseur LF4). La même analyse pourrait être faite avec LF3. Le coefficient de corrélation entre le nombre d'entre-noeuds et LF3 ($R^2 = 0,028$) est cependant encore plus faible que celui obtenu avec LF4.

Les seuls régresseurs étudiés seront donc T20 et le diamètre. Pour l'étude de ces deux régresseurs on dispose d'un jeu de données plus important incluant les prélèvements des dates 4, 5 et 6. Les résultats concernant ce jeu de données (cf seconde partie du tableau 17) sont concordants avec les résultats obtenus précédemment avec néanmoins des corrélations meilleures pour le diamètre et moins bonne pour T20.

- C -

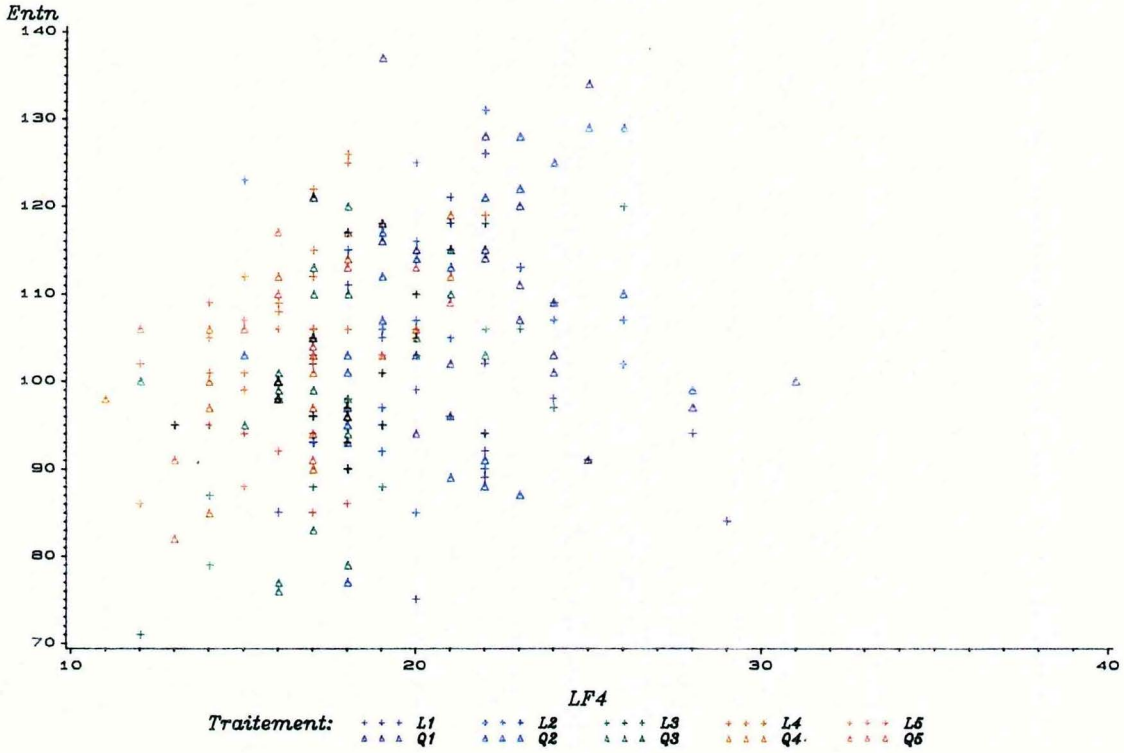


Figure 4-1: Nombre d'entrenoeuds -a- en fonction de T20;
-b- en fonction du diamètre;
-c- en fonction de LF4.

tableau 17

Corrélations entre le nombre d'entre-noeuds et les variables \emptyset , LF4 et T20

210 observations (dates 5 et 6 pour lesquelles on dispose de LF4)

Nombre de variables dans le modèle	variables du modèle	R^2 du modèle
1	LF4	0.06
1	DIAMETRE	0.19
1	T20	0.63
2	LF4 DIAMETRE	0.25
2	T20 DIAMETRE	0.63
2	T20 LF4	0.63
3	T20 LF4 DIAMETRE	0.64

441 observations des dates 4,5 et 6.

Nombre de variables dans le modèle	variables du modèle	R^2 du modèle
1	DIAMETRE	0.308
1	T20	0.519
2	DIAMETRE T20	0.537

4.1.2/ Recherche d'un modèle prédictif du nombre d'entre-noeuds

a) Relation du type de celle obtenue en 1988.

L'étude 1988 montrait une assez bonne relation entre N_{entn} et les deux régresseurs T20 et \emptyset . On notera que le R^2 pour T20 est élevé, ce qui est concordant avec les résultats 88. La corrélation avec le diamètre est par contre nettement plus faible que l'an passé où l'on avait délibérément choisi des individus présentant des diamètres extrêmes et non des plantes prélevées au hasard dans un essai. Le but d'un tel prélèvement par classe de diamètre était d'observer des différences de croissance de plantes de diamètre différents.

Lors de l'étude préliminaire, il avait été trouvé un assez bon ajustement hyperbolique satisfaisant à l'équation des dimensions¹ entre N.entn et le produit $\emptyset * T$:

$$N.entn = 43 + (101 * (D*T / (2,6+DT))$$

Si on applique cet ajustement sur les données 1989, on voit que la divergence n'est pas très grande (voir figure 4-2-a). L'ajustement des paramètres de cette relation hyperbolique pour les 441 données de cette année donne des résultats un peu différents:

$$N.entn = 52,7 + (106,4 * (D*T / (5,2+DT))$$

Sur la figure 4-2-b, on a représenté cet ajustement et le pointé des observations. Le R^2 de l'ajustement est égal à 0,47. On peut observer sur cette 4-2-b que les points correspondant aux différentes densités se répartissent de façon à peu près parallèle. L'effet de la densité, qui n'apparaissait pas clairement au niveau de chaque régresseur ressort donc lorsque l'on travaille sur leur produit. Pour affiner l'analyse, on doit prendre en compte l'effet densité. Plutôt que rechercher un ajustement différent pour chaque densité, nous allons rechercher dans ce qui suit un modèle général incluant l'effet de la densité. Pour établir ce modèle, il faut, dans un premier temps analyser l'effet de la densité sur les deux variables explicatives (\emptyset et T) puis corriger cet effet de la densité pour retrouver une relation générale.

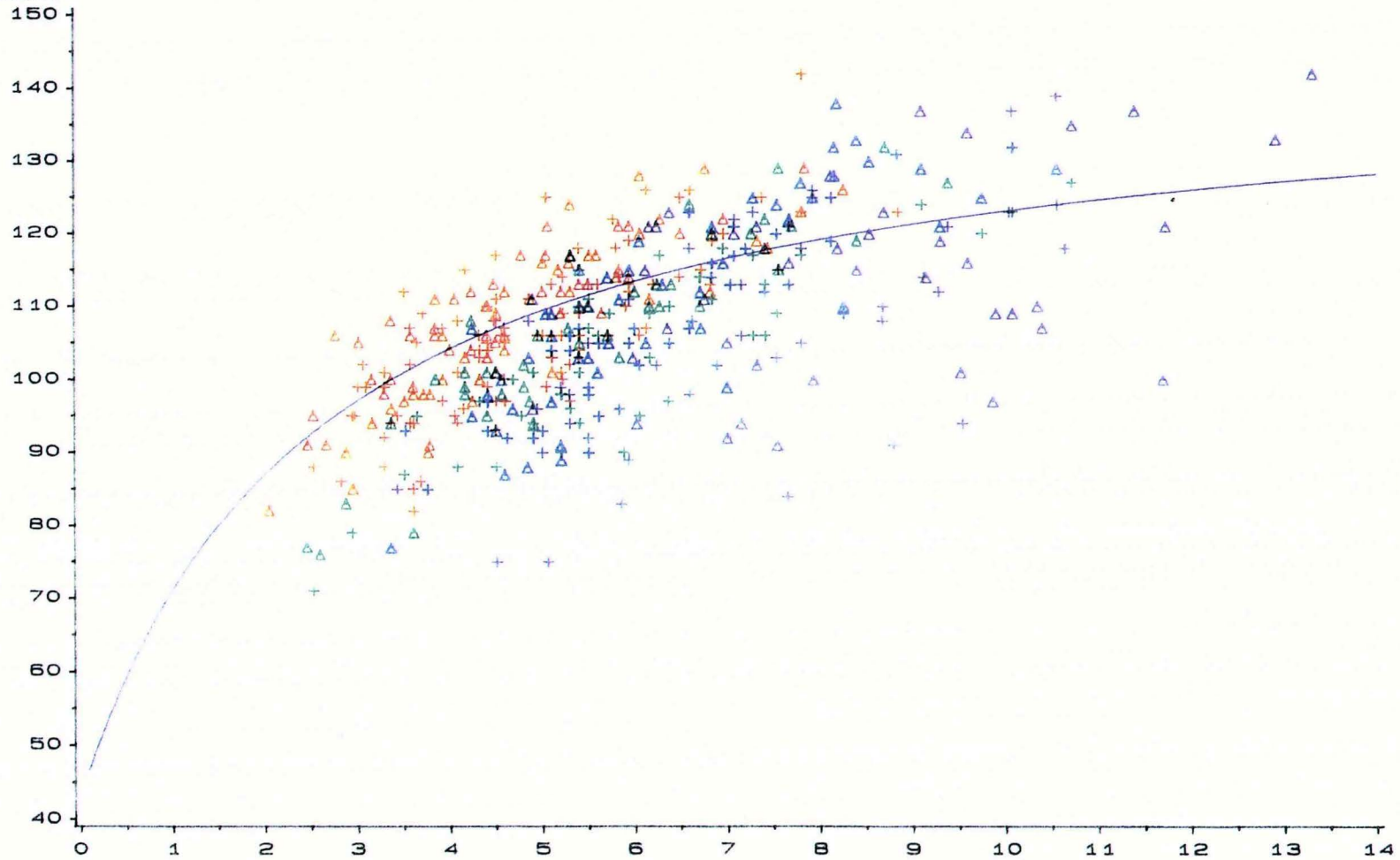
b) Correction de l'effet densité sur le diamètre et T20

Il a été vu que le diamètre moyen des plantes pour une densité donnée s'ajustait très bien ($R^2 = 0.984$) avec une exponentielle (cf. § 342 et figure 3-15).

$$\text{diamètre} = 14,87 + 15,67 * (1 - \exp(-698,7 / \text{densité}))$$

¹N.entn est un nombre sans dimension; le produit $\emptyset*T$ est également sans dimension.

Nb. Entn



Traitement:

+++
△△△
— Ajustement

L1
Q1

+++
△△△

L2
Q2

+++
△△△

L3
Q3

+++
△△△

L4
Q4

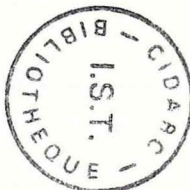
+++
△△△

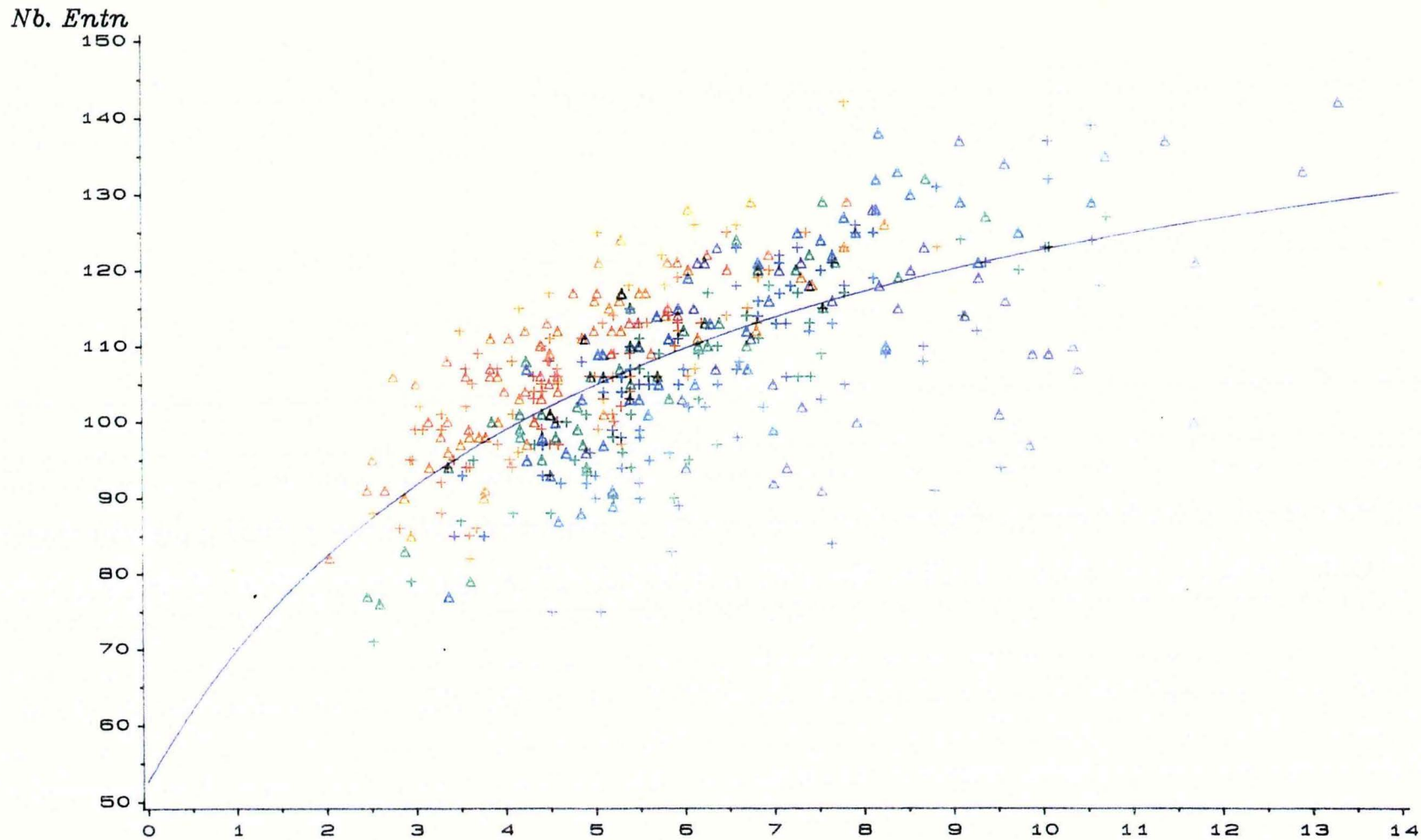
L5
Q5

Diametre*T20

Figure 4-2: Nombre d'entrenoeds en fonction du produit diametre*T20.

-a- ajustement obtenu sur les données de 1988;





Traitement: + + + L1 + + + L2 + + + L3 + + + L4 + + + L5
 Δ Δ Δ Q1 Δ Δ Δ Q2 Δ Δ Δ Q3 Δ Δ Δ Q4 Δ Δ Δ Q5
 — Ajustement

Figure 4-2: Nombre d'entrenoeds en fonction du produit diametre*T20.

-b- ajustement obtenu sur les données de l'essai mis en place.

$$N_{\text{entn}} = 52.7 + (106.4 * (\emptyset * T20 / 5.2 + \emptyset * T20))$$

$$R^2 = 0.465$$

Cet ajustement nous permet de soustraire l'effet densité au niveau des diamètres mesurés. Pour ce faire on calcule le diamètre moyen théorique correspondant à la densité effective de chaque prélèvement grâce à la formule précédente, puis le diamètre théorique pour une densité fixée (par exemple la densité 0). La différence entre ces deux valeurs moyennes, qui constitue l'effet densité, est alors retranchée à la valeur de chaque observation de diamètre. Les valeurs obtenues ne subissent plus l'effet de la densité. Ce faisant, on recentre les nuages de points correspondant à chaque densité autour de la moyenne théorique pour une densité fixée (ici la densité nulle).

On procède de la même manière en ce qui concerne T20: la valeur moyenne de T20 est liée à la densité de façon très linéaire:

$T20 = 2.932 - 13.33 \cdot 10^{-4} * \text{densité}$ ($R^2=0,824$) cf. figure 4-3. On peut donc très facilement recentrer les valeurs prises par T20 autour de la valeur pour une densité nulle $T20(d0) = 2.932$

c) Analyse des corrélations après correction de l'effet de la densité

tableau 18

modèle de régression linéaire pour la variable dépendante N.entn.avec annulation de l'effet de la densité.

441 observations (dates 4,5 et 6)

nombre de variables du modèle	variables du modèle	R^2
1	$\emptyset(d0)$	0.39
1	T(d0)	0.53
2	$\emptyset(d0)$ T(d0)	0.61

Ainsi que l'on pouvait s'y attendre, les corrélations entre le nombre d'entrenoeds avec le diamètre d'une part et T20 sont légèrement améliorées par la correction de l'effet densité. Mais on constate que c'est surtout la corrélation multiple avec les deux régresseurs corrigés qui est améliorée: avec les variables corrigées la prise en compte du diamètre permet d'améliorer notablement la corrélation

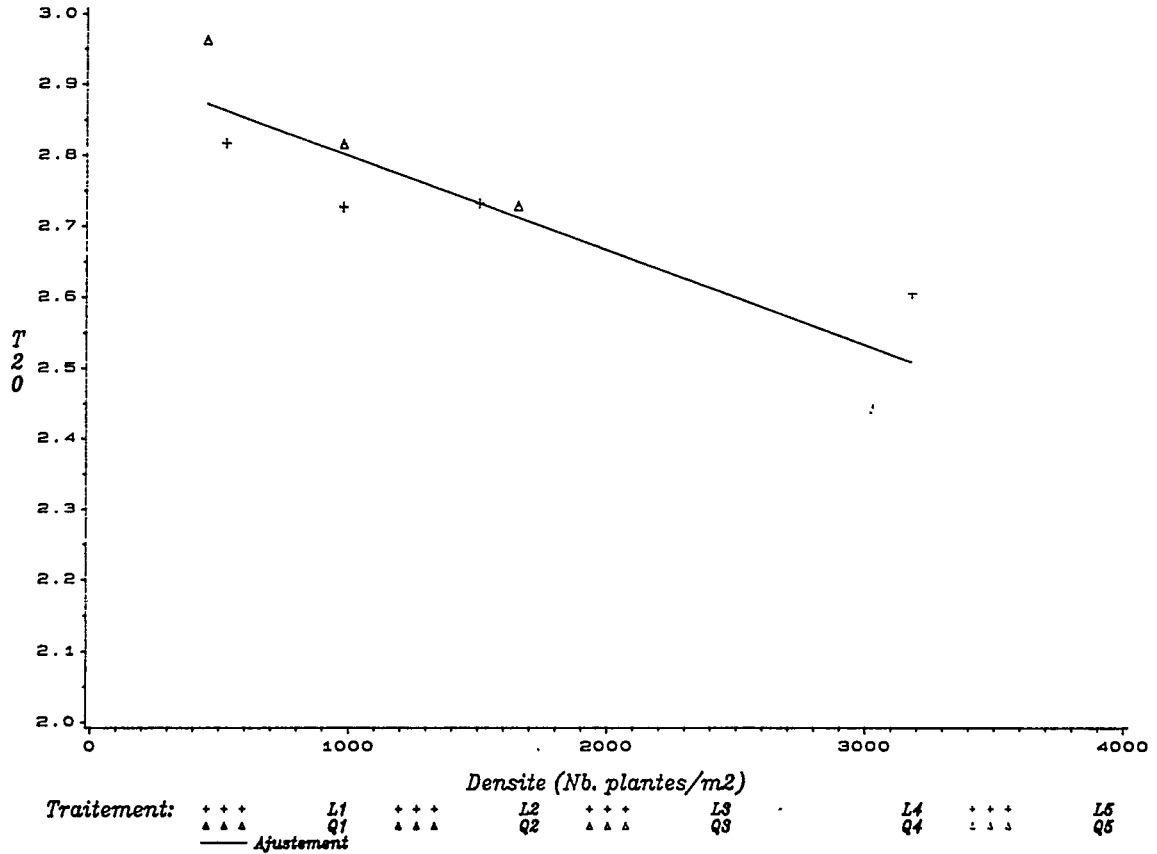


Figure 4-3: Evolution de T20 en fonction de la densité de plantes par mètre carré. Régression linéaire:
 $T20 = 2.932 - 13.33 \cdot 10^{-4} \cdot D_{obs}$
 $R^2 = 0.824$

existante avec T20 corrigé, ce qui n'était pas le cas avec les variables non corrigées.

De la même manière le coefficient de corrélation obtenu avec le produit $T20(\bar{d}o) * \phi(\bar{d}o)$ est supérieur ($R^2 = 0.57$) à celui obtenu avec chacun des régresseurs pris séparément ce qui n'était pas le cas avec les variables non corrigées. La figure 4-4 montre en effet que la correction a pour effet de linéariser la relation entre le nombre d'entre-nœuds et le produit des deux variables. On notera cependant que la régression multiple avec ces deux régresseurs ($R^2 = 0.61$) donne des meilleurs résultats que la régression simple avec le produit. La figure 4-5 montre que le modèle linéaire correspondant à cette corrélation multiple nous donne une relation très bien linéarisée et tout à fait indépendante de la densité.

La même démarche pourrait être appliquée en prenant la densité d'entre-nœuds sur 15 centimètres au lieu de 20. La corrélation est cependant moins bonne avec T15 qu'avec T20 ($R^2 = 0,517$ au lieu de 0,591 pour les 231 observations des dates 5 et 6). D'une manière générale, la prédiction du nombre total d'entre-nœuds sera d'autant meilleure que la densité d'entre-nœuds sera effectuée sur une portion importante de tige. Il nous faut cependant une mesure que l'on peut effectuer à un stade jeune. T20 ne peut être établi que lorsque les entre-nœuds comptés ont terminé leur élongation. Cette mesure ne peut être effectuée que lorsque les plantes ont une hauteur apicale de 30 à 40 cm. Une mesure plus tardive (T30) ne présenterait guère d'intérêt dans la mesure où toutes les feuilles peuvent alors en général être comptées.

4.2/ Hauteur des tiges

4.2.1/ Analyse de covariance

L'analyse de variance nous a révélé que l'effet de la densité de semis était significatif, alors que le mode n'a pas d'effet sur la hauteur. Ici, nous allons donc effectuer l'analyse de covariance avec la densité et les différentes variables mesurées. Cette analyse de covariance est réalisée pour les données des dates 4, 5 et 6. On

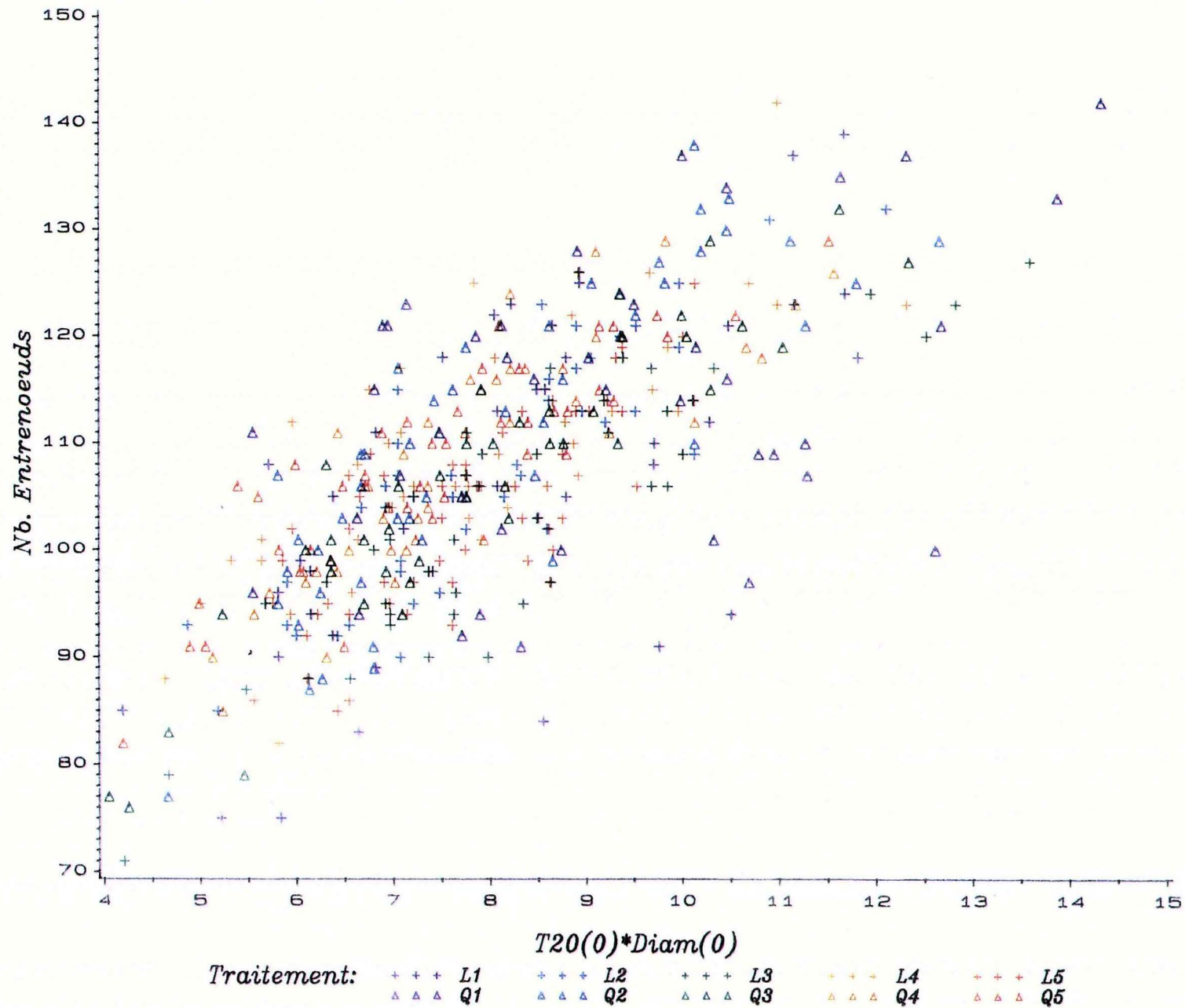


Figure 4-4: Nombre d'entrenoeads en fonction des variables T20 et \emptyset ramenées à leur valeur théorique pour une densité nulle.

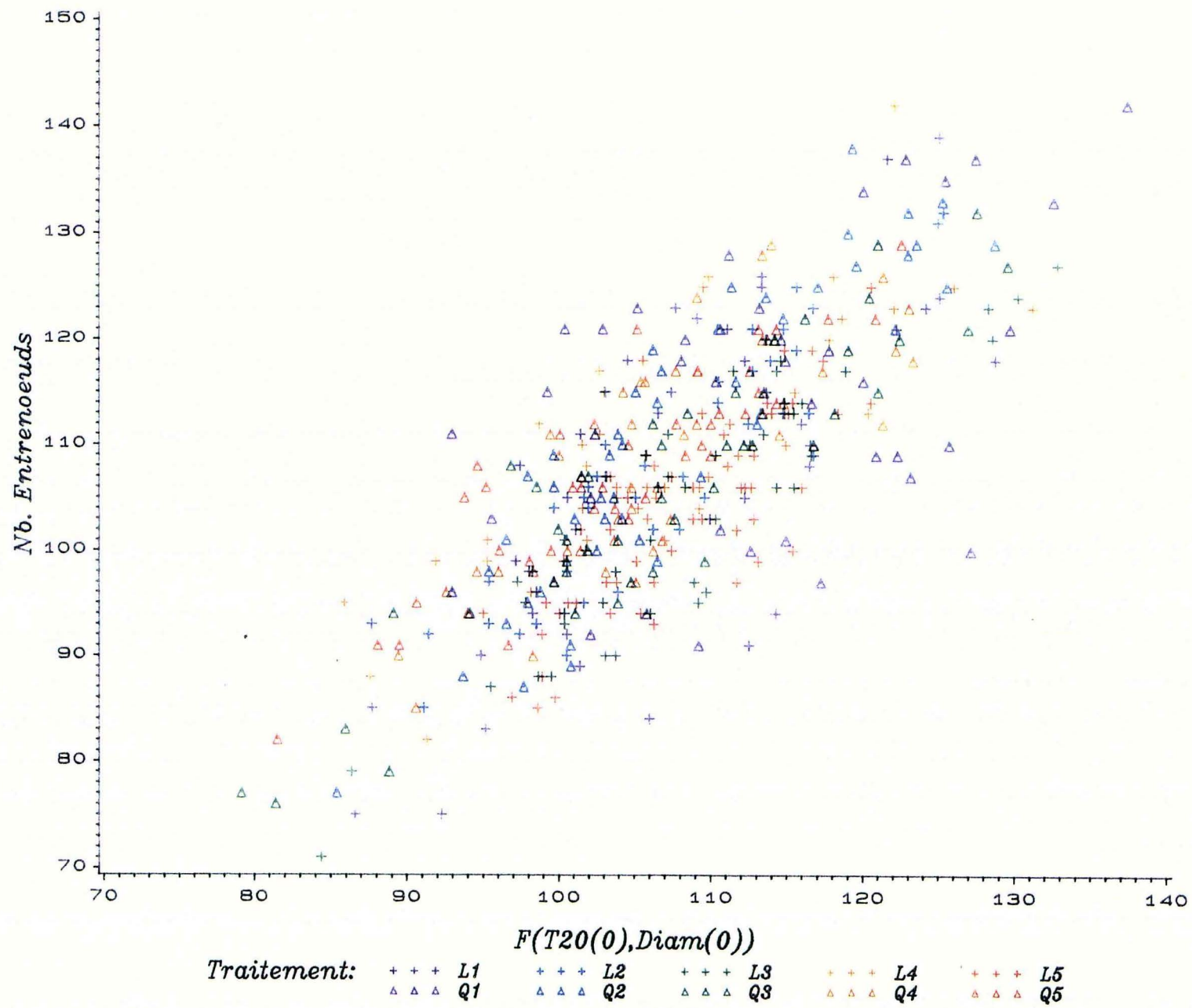


Figure 4-5: Nombre d'entrenoeds en fonction d'une combinaison linéaire des variables T20 et \emptyset ramenées à leur valeur théorique pour une densité nulle.

dispose de 210 observations si l'on inclu la mesure de la feuille du 4° tronçon et 441 observations si l'on n'utilise pas LF4.

Nb: Pour les dates 5 et 6 les densités sont connues pour chaque prélèvement et c'est donc ces densités que l'on utilise. Pour les observations de la date 4 on ne dispose par contre que des densités moyennes estimées pour chaque parcelle à partir des prélèvements ultérieurs.

Tableau 19 Analyse de covariance de la variable dépendante: HAUTEUR

210 données des dates 5 et 6

SOURCE	d.d.l	Valeur F	Proba > F
T20	1	1.45	0.2296
DIAMETRE	1	16.51	0.0001
LF4	1	1.76	0.1862
D_obs	1	0.35	0.5567

441 données : dates 4, 5 et 6

$$R^2 = 0.306$$

SOURCE	d.d.l	Valeur F	Proba > F
DIAMETRE	1	129.01	0.0001
T20	1	2.02	0.1555
D_obs	1	9.87	0.0018

L'analyse de covariance pour les données des dates 5 et 6 (les seules pour lesquelles on a LF4) montre que, parmi les régresseurs testés (T20, diamètre, LF4, densité de plantes), seul le diamètre a un effet significatif.

Par contre, lorsque l'on regroupe les données disponibles pour les dates 4, 5 et 6, on constate que la densité a un effet significatif¹. Le calcul des coefficients de corrélation montre cependant que la corrélation entre la hauteur et la densité de plantes est très faible et n'apporte pratiquement rien au modèle. D'une manière générale, les valeurs des coefficients de corrélation simples et multiples pour l'ensemble des régresseurs confirme que le diamètre est la seule variable à retenir dans cette analyse (les corrélations multiples faisant intervenir les autres régresseurs n'améliorent d'ailleurs pas le R^2 du modèle de façon intéressante).

tableau 20

Modèle de régression linéaire pour la variable dépendante: HAUTEUR

441 observations (dates 4, 5 et 6)

Nombre de variables dans le modèle	Variables du modèle	R^2 du modèle
1	D_obs	0.05
1	T20	0.08
1	DIAMETRE	0.29

2	T20 D_obs	0.10
2	DIAMETRE T20	0.29
2	DIAMETRE D_obs	0.30

3	DIAMETRE T20 D_obs	0.31

On peut donc chercher une relation pour relier la hauteur des plantes et le diamètre. Nous avons vu que ces deux variables peuvent être reliées par un modèle linéaire avec un coefficient de corrélation moyen ($R^2=0,287$).

Un ajustement par une relation hyperbolique avait été proposé dans l'étude préliminaire de 1988. En ce qui concerne les données observées dans cet essai, ce type de relation ne permet pas un ajustement

¹Le fait d'utiliser des densités moyennes pour la date 4 diminue la variance propre à la densité ci qui pourrait expliquer ces divergences.

meilleur qu'une simple régression linéaire ($R^2 = 0.274$ alors que la régression linéaire donne un R^2 de 0.287). Cet ajustement est pourtant préférable dans la mesure où il fait apparaitre une borne limite en ce qui concerne la hauteur des plantes (cf. figure 4-6).

$$\text{Hauteur} = 87.6 * (\phi / 0.483 + \phi)$$

Un ajustement avec une logistique permet d'améliorer très légèrement le R^2 , avec un palier très légèrement supérieur:

$$\text{Hauteur} = \frac{K}{1 + [(K-H_0)/H_0] * \exp(-r * \phi)}$$

... avec $K = 89.6$

$H_0 = 53.3$

$r = 0.45$

$R^2 = 0.291$

4.2.2/ Modèle explicatif de la hauteur des plantes

En conclusion, la hauteur finale des plantes est très peu prévisible à partir d'observations à un stade jeune (au stade 20 cm par exemple). Néanmoins il a été vu que pendant la phase linéaire de croissance (ce qui correspond aux plantes prélevées à la date 3), la hauteur des plantes était nettement plus affectée par la densité qu'en fin de croissance. Le tableau 21 montre par ailleurs que la corrélation hauteur-diamètre pour la date 3 est relativement bonne: $R^2 = 0.48$. On constate en outre que la corrélation multiple Hauteur-(Diamètre, T20) est notablement supérieure à la corrélation hauteur-diamètre, bien que la corrélation Hauteur-T20 soit faible ($R^2 = 0.06$): pour la date 3, la variable T20 améliore sensiblement la corrélation.

Pour la date 3 on peut ainsi utiliser un modèle prédictif linéaire $\text{Hauteur}_3 = 42.66 + 21.85 * \text{Diamètre} - 11.51 * T20$ qui donne de bons résultats ($R^2 = 0.585$).

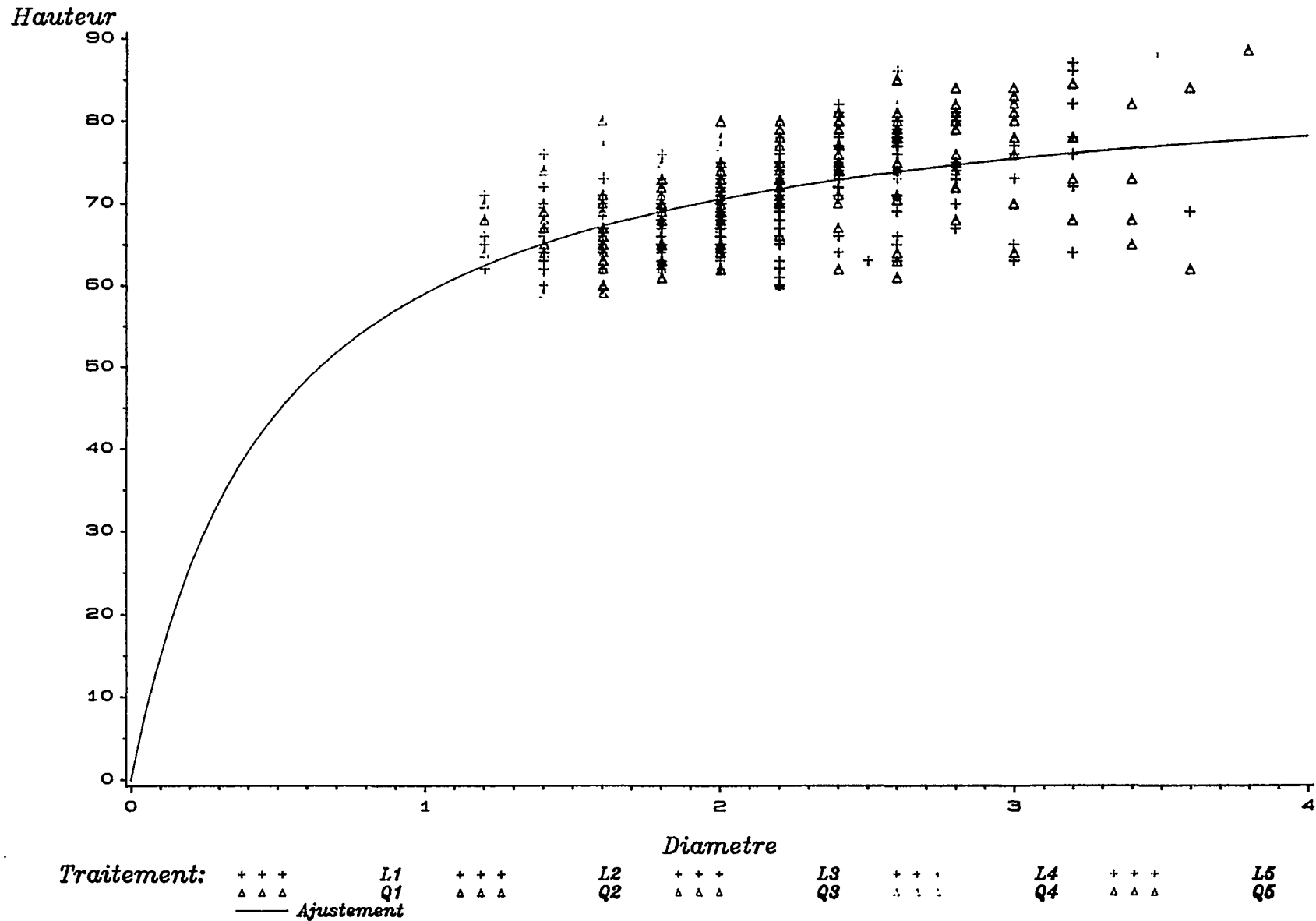


Figure 4-6: Hauteur des plantes (cm) en fonction de leur diamètre (mm).

Ajustement: $Hauteur = 87.6 * (\varnothing / (0.483 + \varnothing))$

tableau 21

Modèle de régression linéaire pour la variable dépendante: HAUTEUR

Nombre de variables dans le modèle	Variables du modèle	DATE 3	DATES 4, 5, 6
		210 obs	441 obs
		R ²	R ²
1	T20	0.06	0.06
1	D_obs	0.12	0.08
1	DIAMETRE	0.48	0.29
2	T20 D_obs	0.12	0.10
2	DIAMETRE D_obs	0.50	0.29
2	DIAMETRE T20	0.58	0.30
3	DIAMETRE T20 D_obs	0.59	0.31

On a vu que des relations qui apparaissent nettement pour la date 3 s'estompent par la suite. Cette remarque doit être mise en relation avec l'évolution de la variance de la hauteur: la variance de la hauteur pour chaque traitement est beaucoup plus importante pour la date 3 que pour les dates suivantes (voir tableau des moyennes et variances de la hauteur en annexe N°5). Autrement dit, on assiste à une uniformisation des hauteurs en fin de croissance. Ceci peut s'expliquer principalement par le fait qu'à la date 3 le nombre d'entre-nœuds n'ayant pas commencé leur élongation est plus important chez les individus de petite taille (et en particulier ceux des plus fortes densités) que les autres. Mais il est également possible qu'un phénomène actif intervient dans cette uniformisation des tailles: les tailles des derniers entre-nœuds et du pédoncule floral sont en effet très variables d'un individu à l'autre et il est possible que leur élongation variable permette aux individus les plus courts de se "faire une place au soleil" ou, plus précisément, placer leur fleur apicale au niveau du toit de la végétation pour qu'elle soit pollinisée. Ce dernier point est confirmé par le fait que l'on ait observé des nombres d'entre-nœuds très variables pour le dernier tronçon de tige. Cependant, cette observation ne peut pas être précisée ici. Dans les données dont on dispose, la précision de longueur du dernier tronçon n'est pas suffisante. On ne connaît pas précisément la taille des derniers entre-nœuds pour en faire l'étude. L'évolution dans le temps du "toit" de la végétation au cours de la période de floraison, pour

les différents traitements, est une donnée qui nous manque pour comprendre l'élongation des derniers entre-noeuds de l'axe principal.

4.3/ Inflorescence

L'analyse de variance a montré un effet non significatif du mode de semis sur le nombre de ramifications produites et sur le nombre de boutons, mais un effet très significatif de la densité de semis. De fait, le calcul des corrélations simples et multiples avec le diamètre nous montre que l'effet de la densité sur le Nombre de Boutons et sur le Nombre de Ramifications passe par le diamètre:

4.3.1/ Analyse de covariance

tableau 22 Modèles de régression linéaire pour les variables:
Nombre de RAMIFICATIONS et Nombre de BOUTONS

effectif: 231 observations (dates 5 et 6)

Variable Expliquée	Nombre de variables dans le modèle	Variabiles du modèle	R ² du modèle
Nombre de	1	D_obs	0.457
	1	D̄IAMETRE	0.707
RAMIFICATIONS	2	D_obs DIAMETRE	0.731
Nombre de	1	D_obs	0.468
	1	D̄IAMETRE	0.851
BOUTONS	2	D_obs DIAMETRE	0.860

La corrélation multiple avec le diamètre et la densité n'est pratiquement pas différente de la corrélation simple avec le diamètre. Ceci est du au fait que les relations entre les variables Ramifications et Boutons et la densité sont liées à des distributions différentes du diamètre dans les différents traitements, ainsi que le font clairement ressortir les figures 4-7 et 4-8. Le R² étant élevé (0,71 pour les ramifications et 0,85 pour les boutons) on a une bonne prédictabilité des deux variables par le diamètre. Dans les 2 cas un modèle linéaire est tout à fait satisfaisant.

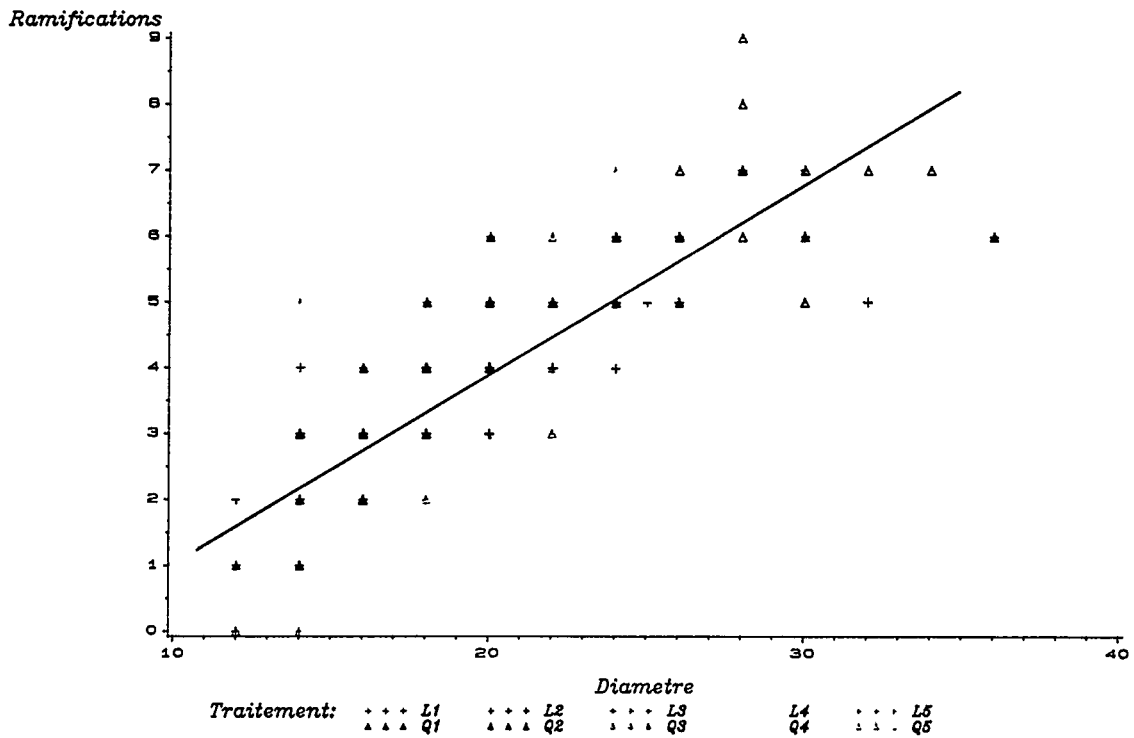


Figure 4-7: Nombre de ramifications par plante en fonction de leur diamètre. Régression linéaire:
 Nbre de Ramifications = -1.81 * 0.286*Ø
 R² = 0.706

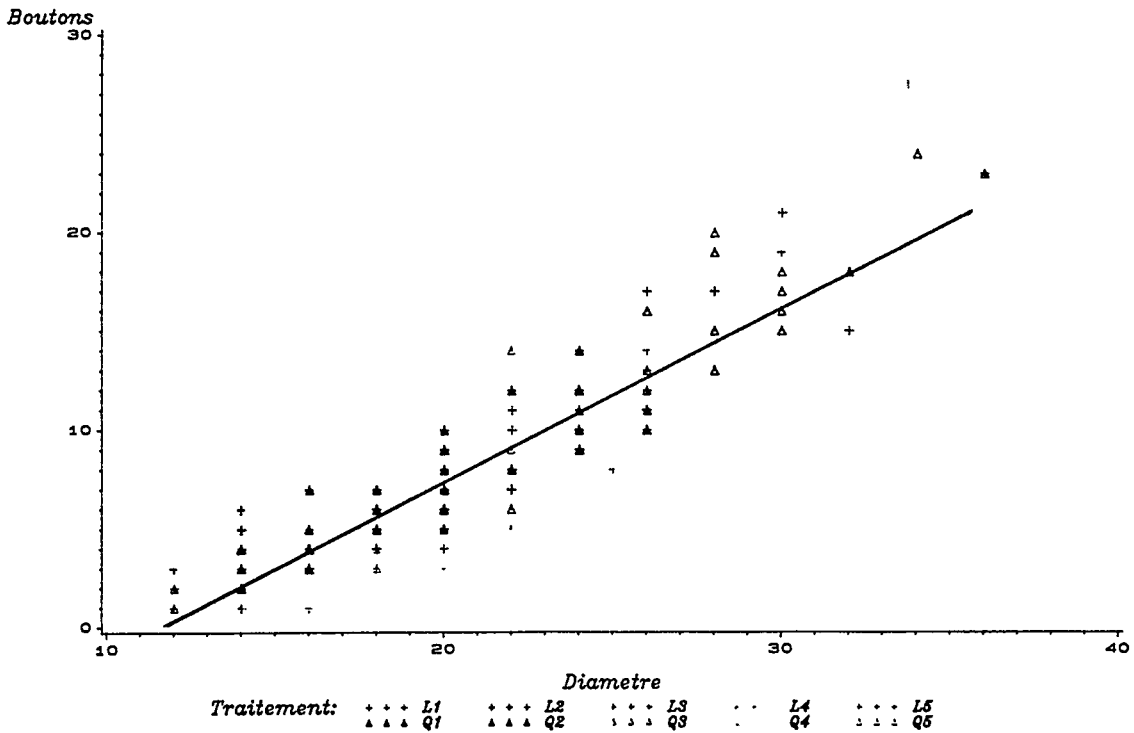


Figure 4-8: Nombre de boutons par inflorescence en fonction du diamètre des tiges. Régression linéaire:
 Nombre de boutons = -9.86 * 0.868*Ø
 R² = 0.85

4.3.2/ Régressions linéaires des nombres de ramifications et de boutons

tableau 23 Estimation des paramètres d'un modèle linéaire reliant le nombre de Ramifications et le Diamètre

Variable	d.d.l	Paramètre estimé	T pour H0: Paramètre=0	Proba > T
INTERCEP	1	-1.81	-7.274	0.0001
DIAMETRE	1	0.286	23.486	0.0001

R^2 du modèle = 0.706

$$\text{Nombre de RAMIFICATIONS} = -1,81 + 0,286 \cdot \text{diamètre}$$

Estimation des paramètres d'un modèle linéaire reliant le nombre de Boutons et le Diamètre

VARIABLE	d.d.l	Paramètre estimé	T pour H0: Paramètre=0	Proba > T
INTERCEP	1	-9.86	-20.148	0.0001
DIAMETRE	1	0.868	36.158	0.0001

R^2 du modèle = 0,851

$$\text{Nombre de BOUTONS} = -9,86 + 0,868 \cdot \text{diamètre}$$

4.4/ Production fibreuse

4.4.1/ Prédiction de la production de pailles

Si on suppose que le poids moyen d'une tige écapsulée est proportionnel à son volume, on peut essayer de tester la régression: Poids moyen d'une tige en fonction du produit $K \cdot (\text{diamètre}^2 \cdot \text{hauteur})$. On obtient un ajustement tout à fait satisfaisant ($R^2 = 0.82$). Cet ajustement est représenté sur la figure 4-9.

$$\text{Poids plante} = 0,01733 * \phi^2 * H$$

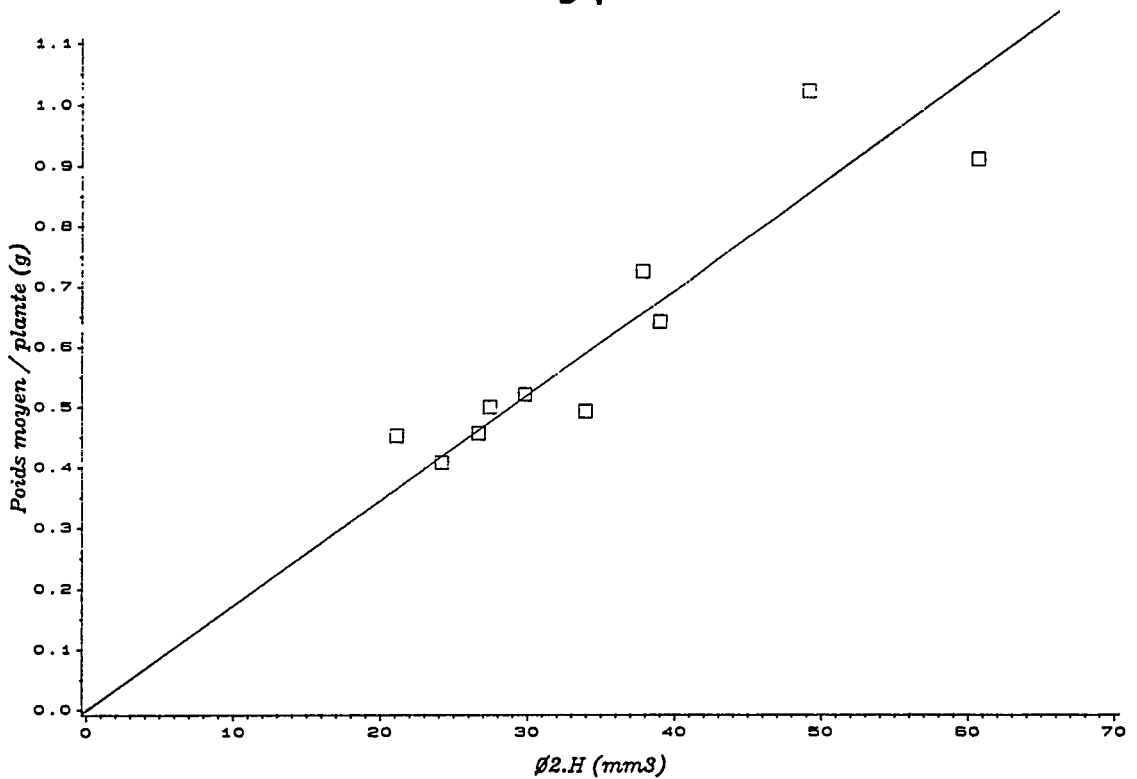


Figure 4-9: Poids moyen d'une tige écapsulée en fonction du produit $\phi^2 \cdot H$. Régression linéaire:

Poids /tige écapsulée = $0.01733 \cdot \phi^2 \cdot \text{Hauteur}$

$R^2 = 0.82$

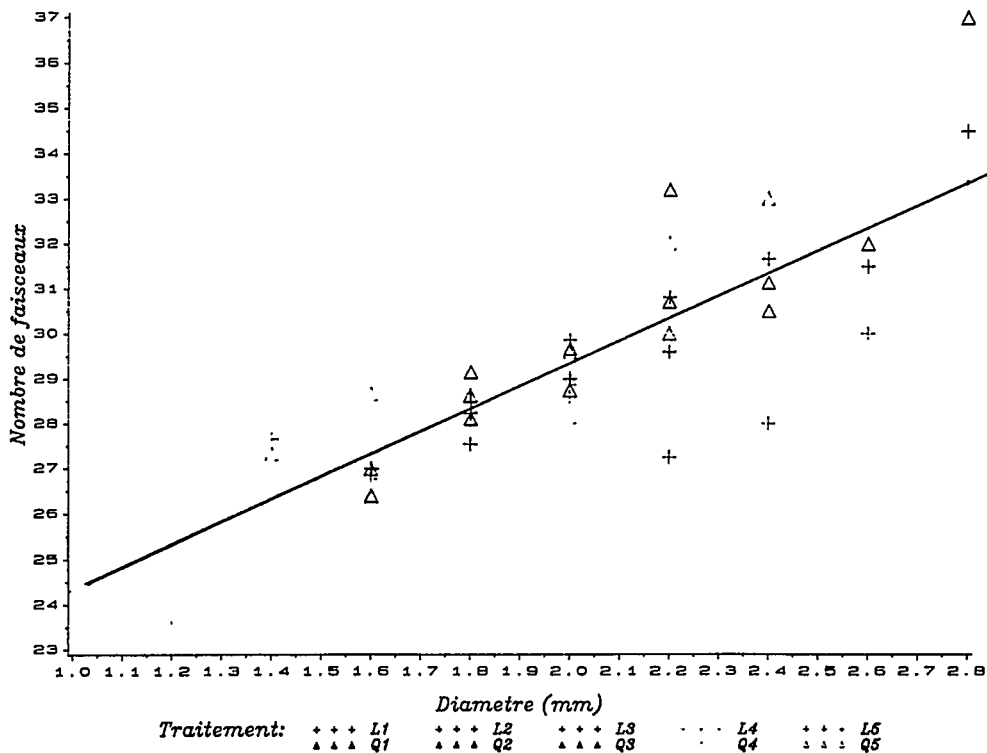


Figure 4-10: Nombre de faisceaux de fibres en fonction du diamètre de la tige. Régression linéaire:

Nbre de faisceaux = $19.44 + 4.919 \cdot \phi$

$R^2 = 0.70$



On a ainsi un moyen de prédiction de la production de pailles écapsulées: l'erreur sur le diamètre sera assez faible puisque l'on peut relier le diamètre au cours de la croissance et le diamètre final. La qualité de la prédiction dépendra donc surtout de l'estimation que l'on pourra faire de la hauteur finale de la plante.

4.4.2/ Prédiction de la production fibreuse

A partir de la prédiction de la production de pailles grâce à la relation précédente et connaissant le rendement fibreux par traitement, on peut obtenir une prévision de la production fibreuse. Cette prévision pourrait certainement être améliorée et généralisée si l'on connaissait le rendement fibreux en fonction du diamètre. En effet, il est vraisemblable que les rendements fibreux ne diffèrent suivant les traitements que parce que les diamètres sont eux-mêmes affectés par la densité. Si cette supposition s'avérait exacte, c'est une relation Rendement-fibreux/diamètre (et non rendement-fibreux/densité) qu'il faudrait utiliser. On ne dispose malheureusement pas ici des éléments nécessaires pour vérifier ce point. En effet, nous ne connaissons pas la distribution des diamètres dans les échantillons ayant subi le microbroyage. Un complément utile de cette étude consisterait à mesurer les rendements fibreux pour des échantillons de diamètre constant et ceci pour les différents traitements.

4.4.3/ Ajustement du nombre de faisceaux en fonction du diamètre

En ce qui concerne le nombre de faisceaux de fibres, on voit qu'il est relié de façon assez linéaire au diamètre (cf. figure 4-10):

$$\text{Nb faisceaux} = 19.44 + 4.919 * \emptyset$$

$$R^2 = 0.70$$

Cette relation apparait sensiblement la même pour tous les traitements (analyse de variance). Ceci est confirmé par le fait, à diamètre constant, on n'observe pas de tendance significative du nombre de faisceaux en fonction de la densité pour l'un ou l'autre mode de semis (figure 3-26). Si la densité a un effet sur le nombre de faisceaux par tige, c'est donc bien parce qu'elle fait varier le diamètre des plantes.

5) CONCLUSIONS

Une étude préliminaire réalisée par le laboratoire de modélisation du CIRAD pour l'institut technique du lin avait mis en évidence un certain nombre de relations biométriques chez le lin fibre. Elle avait également montré une influence de la densité de plantes au mètre carré sur la morphologie des plantes. Cette étude a pour but d'une part de quantifier l'effet de la densité sur la croissance et le développement des plantes et d'autre part de préciser la nature des relations biométriques préalablement observées pour différentes densités. Enfin, le mode de semis a été incorporé dans cette étude. En effet, un mode de semis "en plein" présente l'avantage sur le mode de semis traditionnel en lignes de limiter les risques de verse.

Certains points ressortent très clairement de cette étude. Un des points essentiel concerne la mortalité des plantes: on a en effet pu mettre en évidence un phénomène très important d'auto-éclaircissage des plantes. Ainsi, pour une densité de semis de 11500 graines par mètre carré, on a obtenu une densité de seulement 3000 plantes par mètre carré en fin d'essai. La valeur de cette densité finale apparant très faible comparativement à la densité de semis et il est vraisemblable qu'un semis plus précoce dans des conditions plus normales aurait conduit à des densités finales supérieures. Il ressort néanmoins de cette étude qu'un phénomène d'auto-éclaircissage limite la densité à un seuil maximal (3300 plantes/m² dans les conditions de notre essai) et que cet auto-éclaircissage peut très correctement être décrit par une simple formule exponentielle.

En ce qui concerne l'effet de la densité sur la croissance et le développement du lin, on retiendra les points suivants:

- Le nombre d'entre-noeuds formés a tendance à diminuer lorsque la densité augmente. Cet effet est faible (diminution de 7 % du nombre d'entre-noeuds à la densité maximale par rapport à la densité la plus faible). Il montre néanmoins que la compétition entre plantes fait

sentir ses effets précocement puisque les entrenoeuds sont déjà formés au stade 10 à 15 cm.

- La croissance des plantes est légèrement ralentie aux fortes densités, mais la hauteur des plantes tend à s'uniformiser en fin d'essai.

- Si l'effet de la densité sur la hauteur des plantes est relativement faible, l'effet sur le diamètre de la tige est très net et apparaît dès les premières observations (les plantes ne mesurent alors que 19 cm en moyenne).

- Enfin, la longueur des feuilles décroît avec la densité à chaque niveau de la tige.

Ces éléments sont très importants car ils nous permettent d'analyser le fonctionnement de la plante:

La façon dont agit cette compétition dans les premiers stades peut être analysée en fonction des observations suivantes:

Le processus de formation des entrenoeuds est peu affecté par la compétition: d'une part le nombre d'entrenoeuds formés est relativement stable et d'autre part leur distribution est poissonnienne à toutes les densités. Ni le rythme de formation des entrenoeuds ni la durée de la période végétative ne sont donc, a priori, fortement altérés par la compétition.

La compétition pour les ressources du milieu influe relativement peu sur la hauteur des plantes. Cependant les premiers entrenoeuds sont en moyenne plus longs à forte densité. En conséquence, en tout début de croissance, la plantule investit plus dans l'élongation des premiers entrenoeuds (probablement pour rechercher la lumière) pour les fortes densités. En revanche, le nombre d'entrenoeuds ayant terminé leur élongation est légèrement plus faible.

Si la hauteur des plantes et la formation des entrenoeuds subissent relativement peu l'effet de la densité, le diamètre des tiges ainsi que la longueur des feuilles sont beaucoup plus plastiques.

Ce comportement de la plante s'explique très bien en termes de stratégie adaptative: il est primordial pour la plante de croître suffisamment en hauteur pour bénéficier de suffisamment de lumière tout au long de sa croissance d'une part et amener en fin de croissance son inflorescence suffisamment haut pour que la pollinisation des fleurs soit correcte d'autre part. Dans les premiers stades, elle doit donc former un nombre suffisant d'entrenoeuds et allonger ses premiers entrenoeuds pour ne pas être étouffée par ces voisines. La satisfaction de ces priorités se fait au détriment du diamètre et de la longueur des feuilles.

Pendant le stade d'élongation, la compétition continue à se manifester par l'auto-éclaircissage des plantes. Son effet chez les survivants se manifeste toujours par la réduction de la taille des feuilles et, dans une moindre mesure, par une diminution des hauteurs de tige. Les entrenoeuds formés ont alors tendance à être plus courts pour les plantes aux fortes densités qui ont un système photosynthétique réduit.

En fin de croissance, les derniers entrenoeuds terminent leur élongation, avec un certain retard pour les plantes les moins vigoureuses. Lorsque ces dernières terminent l'élongation de leurs derniers entrenoeuds, la hauteur des plantes tend alors à s'uniformiser.

Au stade floraison, toutes les ressources de la plante sont mobilisées pour la production de graines. Chez les plantes chétives une seule fleur pourra être mise en place. Chez les plantes plus vigoureuses la formation de fleurs pourra par contre être très importante (jusqu'à 24 fleurs dans cet essai). La floraison est donc très conditionnée par la vigueur des plantes et on a pu mettre en évidence une très bonne corrélation entre le nombre de fleurs et le diamètre des plantes.

Un autre résultat important de cette étude concerne la production fibreuse: On a montré que la densité agit sur le nombre moyen de faisceaux de fibres par plante, mais qu'à diamètre constant ce nombre est pratiquement inchangé pour les différentes densités. Le rendement fibreux augmente avec la densité. En effet, le nombre moyen de

faisceaux de fibres par plantes diminue lorsque la densité augmente, mais le poids de fibres rapporté au poids de la plante est plus élevé pour les faibles diamètres de tige (et donc pour les fortes densités). Rapporté à la surface, la production fibreuse évolue de façon linéaire avec la densité. Dans les conditions de l'expérience, la densité maximale de semis est ainsi celle qui donne la meilleure production.

Un paramètre du lin fondamental qui ressort de cette étude est le diamètre des tiges. C'est en effet le paramètre qui réagit de la façon la plus nette avec la densité. C'est par ailleurs un bon indicateur du développement des plantes et de la production fibreuse: ainsi, les plantes possédant un faible diamètre auront en moyenne une hauteur et un nombre d'entrenoeuds légèrement plus faibles, mais un rendement fibreux supérieur. Enfin, le diamètre est un facteur déterminant quant aux risques de verse.

Orientation des études futures:

Pour comprendre le développement du lin, il convient d'intégrer les effets du milieu sur les paramètres étudiés, et leur relation. Cette étude peut être envisagée sous deux formes:

- soit une étude en condition de milieu contrôlé, par la mise en place d'essais en chambres de culture (phytotron)
- soit par l'établissement d'une base de données en conditions de culture. Il conviendrait alors, pour chaque parcelle de faire une analyse biométrique détaillée et de relier ces données aux conditions de milieu (conditions de sol, climatiques, édaphiques...). La base de ces données "en conditions réelles" devra bien évidemment être suffisamment grande pour permettre d'isoler les effets des différents facteurs externes.

L'expérimentation mise en place cette année n'a pas permis d'étudier l'effet de la verse. Dans des études à venir, il faudra bien évidemment estimer les risques de verse en fonction du milieu de culture et déterminer les conditions de culture pour minimiser ces risques.

Par une bonne connaissance des phases de développement et de croissance du lin dans des conditions différentes, on pourra en

déterminer les conditions optimales de culture et optimiser les interventions du liniculteur:

- en recherchant les densités et mode de semis adéquates en fonction du milieu
- en proposant un programme d'optimisation de la fumure c'est à dire optimisation de la dose d'engrais et de la date d'apport en fonction des besoins des plantes
- en rationalisant l'utilisation des raccourcisseurs de tiges
- en développant l'usage de l'irrigation et en optimisant les apports d'eau

LISTE DES VARIABLES UTILISEES:

<i>Densité</i>	<i>Classe de densité de semis</i>
<i>D_obs</i>	<i>Densités des plantes observées au stade récolte.</i>
<i>D_sem</i>	<i>Densités de graines semées.</i>
<i>entn</i>	<i>Entre-noeud de l'axe principal sur la tige.</i>
<i>Hauteur</i>	<i>Hauteur des plantes</i>
<i>I_fol</i>	<i>Indice foliaire estimé.</i>
<i>L1</i>	<i>Traitement: densité N°1 semée en Ligne.</i>
<i>L2</i>	<i>Traitement: densité N°2 semée en Ligne.</i>
<i>L3</i>	<i>Traitement: densité N°3 semée en Ligne.</i>
<i>L4</i>	<i>Traitement: densité N°4 semée en Ligne.</i>
<i>L5</i>	<i>Traitement: densité N°5 semée en Ligne.</i>
<i>LF(t)</i>	<i>Longueur moyenne des feuilles du tronçon t</i>
<i>LF4</i>	<i>Longueur moyenne des feuilles du 4° tronçon de tige.</i>
<i>L_entn</i>	<i>Longueur moyenne d'un entre-noeud.</i>
<i>mode</i>	<i>Mode de semis des parcelles (en ligne ou en quinconce)</i>
<i>NF(t)</i>	<i>Nombre de feuilles (ou d'entre-noeuds) du tronçon t considéré.</i>
<i>N_bout</i>	<i>Nombre de boutons floraux sur l'inflorescence.</i>
<i>N_entn</i>	<i>Nombre total d'entre-noeuds sur l'axe principal.</i>
<i>N_fai</i>	<i>Nombre de faisceaux de fibres.</i>

<i>N_ram</i>	<i>Nombre de ramifications de l'inflorescence.</i>
<i>Q1</i>	<i>Traitement: densité N°1 semée en Quinconce.</i>
<i>Q2</i>	<i>Traitement: densité N°2 semée en Quinconce.</i>
<i>Q3</i>	<i>Traitement: densité N°3 semée en Quinconce.</i>
<i>Q4</i>	<i>Traitement: densité N°4 semée en Quinconce.</i>
<i>Q5</i>	<i>Traitement: densité N°5 semée en Quinconce.</i>
<i>Surf</i>	<i>Surface disponible par plante.</i>
<i>S_fol</i>	<i>Surface foliaire estimée.</i>
<i>t</i>	<i>Numéro d'ordre des troncons de 5 cm de l'axe principal.</i>
<i>T20</i>	<i>Densité d'entre-noeuds sur les 20 premiers cm de tige.</i>
\emptyset	<i>Diamètre des tiges à 5 cm des cotylédons</i>
<i>% fibres</i>	<i>Pourcentage de fibres totales dans les pailles écapsulées</i>

ANNEXE N°1

EXPLICATION DU TEST F.

Le test F est un test global qui indique si les traitements considérés dans leur ensemble ont eu quelque effet sur les mesures qui constituent les données.

Le seuil de signification est la probabilité que le résultat soit le seul fait du hasard, les traitements n'y étant pour rien. Si le F dépasse la valeur fixée par le degrés de liberté par pur hasard seulement une fois sur cent ($Proba > F = 0.01$) on dit alors que le test est très significatif. Si le hasard fait que le F dépasse son seuil une fois sur mille seulement, on dit que le test est très hautement significatif. Dans ces deux cas, la probabilité que le résultat soit le fruit du hasard étant très faible, on rejette l'hypothèse nulle selon laquelle le traitement n'a pas d'effet. Au contraire, si la probabilité d'être $> F$ est supérieure à 0.05, on accepte au seuil de 5% l'hypothèse nulle. Dans ce cas, le traitement n'a pas d'effet significatif; la différence observée est le fruit du hasard.

ANNEXE N°2

RESULTATS DES MESURES DE DENSITES REELLES
DES DIFFERENTES PARCELLES

MOYENNE DES 10 TRAITEMENTS

(effectifs, plantes/m²)

	densité de semis	mode 1		mode 2		modes confondus	
		eff	dens	eff	dens	eff	dens
D 1	570	8	525	8	447	16	486
D 2	1283	8	975	8	984	16	980
D 3	2887	8	1503	8	1631	16	1567
D 4	5132	8	2213	8	2469	16	2341
D 5	11547	8	3181	8	3025	16	3103



MOYENNES DES MESURES DES DENSITES
 POUR LES DIFFERENTS TRAITEMENTS:
 RESULTATS PAR REPETITIONS

[effectifs (nbre de prélèvements) et Densité mesurée (plantes/m²)]

	repet	Densité 1		Densité 2		Densité 3		Densité 4		Densité 5	
mode 1	r1	3	550	3	892	3	1450	3	2717	3	3850
	r2	3	542	3	1117	3	1617	3	1817	3	2600
	r3	2	463	2	888	2	1413	2	2050	2	3050
mode 2	r1	3	400	3	1058	3	1750	3	2425	3	3450
	r2	3	550	3	925	3	1367	3	2267	3	2708
	r3	2	363	2	963	2	1850	2	2838	2	2863
modes confo- -dus	r1	6	475	6	975	6	1600	6	2571	6	3650
	r1	6	546	6	1021	6	1492	6	2042	6	2654
	r3	4	413	4	925	4	1631	4	2444	4	2956

Analyse de variance des densités observées en fonction
 des traitements (Densités de semis, mode de semis et répétition).

80 observations.

$$R^2 = 0,911$$

SOURCE	Degrès de liberté	Valeur de F	Probabilité de dépassement de F
Densité de semis	4	181.33	0.0001
Mode de semis	1	0.21	0.6483
Répétition	2	7.19	0.0014

ANNEXE N°3

Tableau récapitulatif des Nombres d'entre-noeuds
dates 3, 4, 5, 6 et récolte

(effectif, moyenne, variance)

dens	mode 1			mode 2			modes confondus		
	eff	moy	var	eff	moy	var	eff	moy	var
D 1	113	111.9	191.0	113	116.1	136.6	226	114.0	167.4
D 2	213	110.4	88.6	220	112.9	117.3	433	111.7	104.5
D 3	113	107.0	132.3	113	109.4	122.0	226	108.2	128.1
D 4	120	108.4	94.6	113	108.4	99.0	233	108.4	96.3
D 5	220	105.3	59.2	213	107.4	89.6	433	106.3	75.1
Moy.	779	108.4	107.8	772	110.7	119.6	1551	109.5	115.0

ANNEXE N°4

RESULTATS DES TESTS DE POISSONS

Ajustement des distributions de nombre
d'entre-noeuds à une loi de Poisson

Traitement : 11 Densité N° 1 Mode: en ligne

effectif : 113
moyenne : 111.938
variance : 189.297

lambda = 1.115E+02 +- 1.957E+00

chi2 : 2.478E+01 d.d.l. : 11
probabilite de depassement : 9.804E-03

rejet au seuil de 5%

Ajustement des distributions de nombre
d'entre-noeuds à une loi de Poisson

Traitement : 12 Densité N° 2 Mode: en ligne

effectif : 213
moyenne : 110.423
variance : 88.197

lambda = 1.104E+02 +- 1.411E+00

chi2 : 1.595E+01 d.d.l. : 22
probabilite de depassement : 8.178E-01

acceptation au seuil de 5%

Ajustement des distributions de nombre
d'entre-noeuds à une loi de Poisson

Traitement : 13 Densité N° 3 Mode: en ligne

effectif : 113
moyenne : 106.991
variance : 131.159

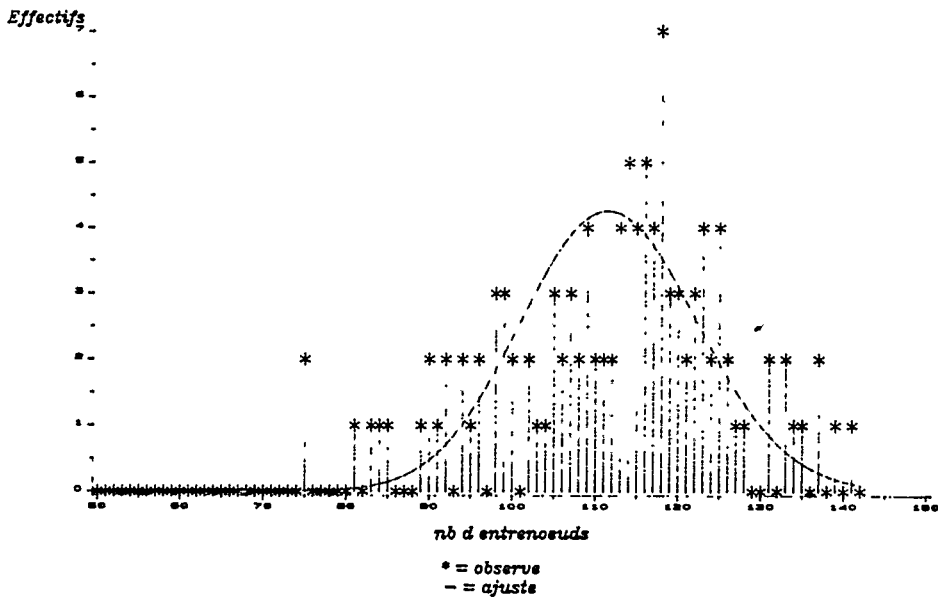
lambda = 1.069E+02 +- 1.907E+00

chi2 : 1.432E+01 d.d.l. : 12
probabilite de depassement : 2.803E-01

acceptation au seuil de 5%

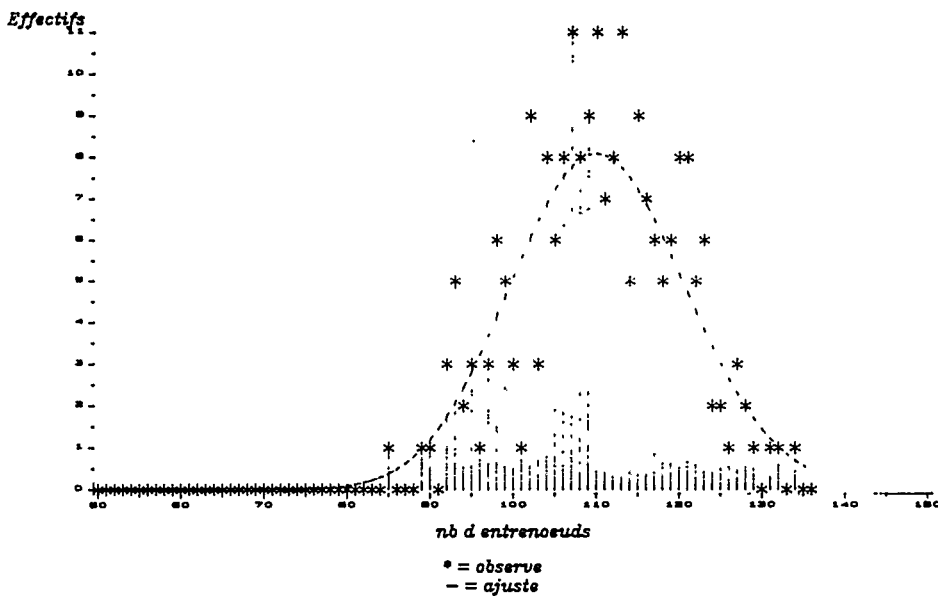
Nombre d'entreneuds / densite 1 semis en ligne

Loi de POISSON moy=111.9 var=189.3
P. dep =1% Rejet



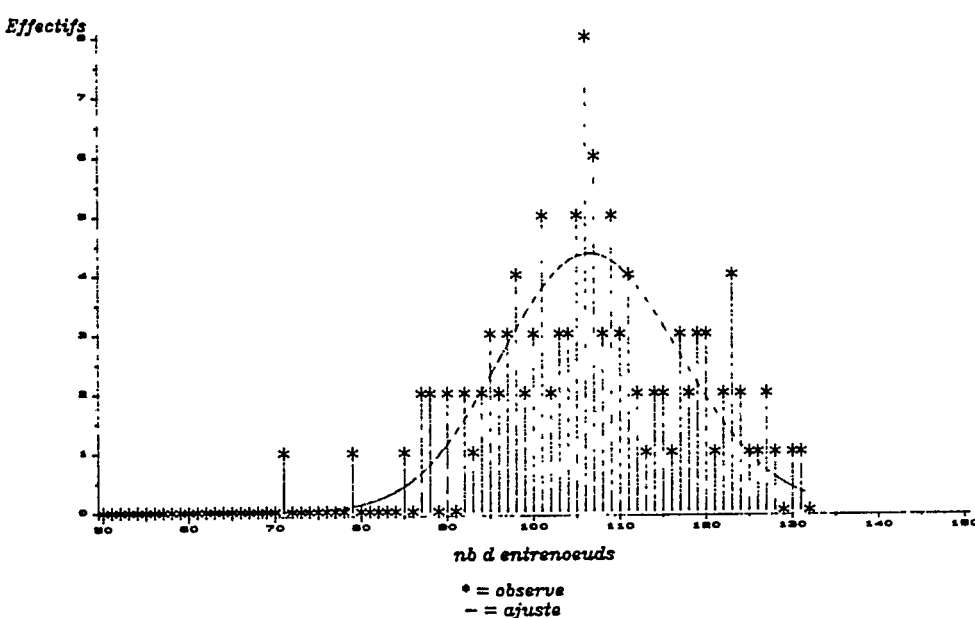
Nombre d'entreneuds / densite 2 semis en ligne

Loi de POISSON moy=110.4 var=88.2
P. dep =82% Accepte



Nombre d'entreneuds / densite 3 semis en ligne

Loi de POISSON moy=107. var=131.2
P. dep =28 % Accepte



Ajustement des distributions de nombre
d'entre-noeuds à une loi de Poisson

Traitement : 14 Densité N° 4 Mode: en ligne

effectif : 120
moyenne : 108.367
variance : 93.816

$\lambda = 1.083E+02 \pm 1.860E+00$

chi2 : 6.151E+00 d.d.l. : 13
probabilite de depassement : 9.404E-01

acceptation au seuil de 5%

Ajustement des distributions de nombre
d'entre-noeuds à une loi de Poisson

Traitement : 15 Densité N° 5 Mode: en ligne

effectif : 220
moyenne : 105.264
variance : 58.930

$\lambda = 1.052E+02 \pm 1.355E+00$

chi2 : 3.280E+01 d.d.l. : 21
probabilite de depassement : 4.843E-02

rejet au seuil de 5%

Ajustement des distributions de nombre
d'entre-noeuds à une loi de Poisson

Traitement : 21 Densité N° 1 Mode: en quinconce

effectif : 113
moyenne : 116.115
variance : 135.376

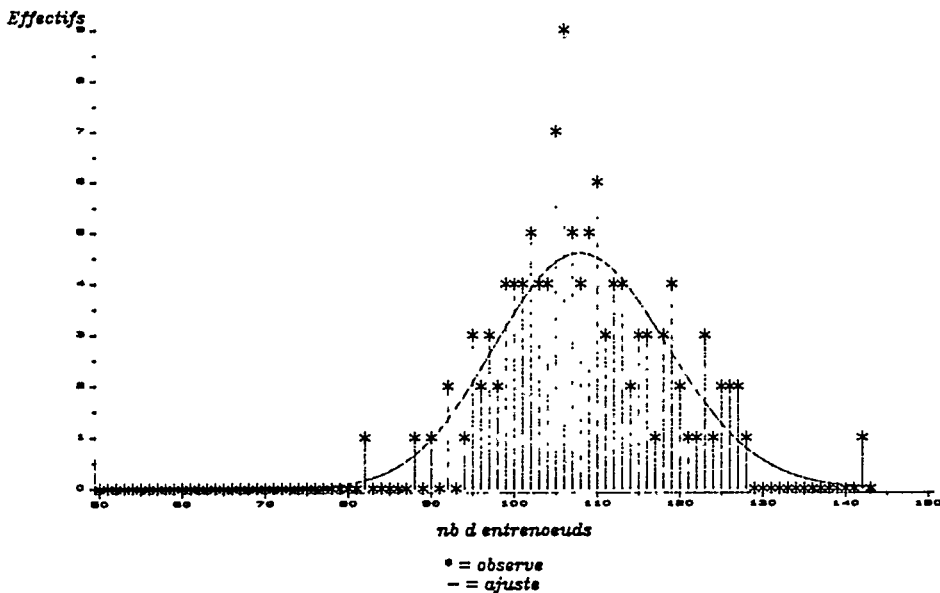
$\lambda = 1.161E+02 \pm 1.986E+00$

chi2 : 7.274E+00 d.d.l. : 12
probabilite de depassement : 8.389E-01

acceptation au seuil de 5%

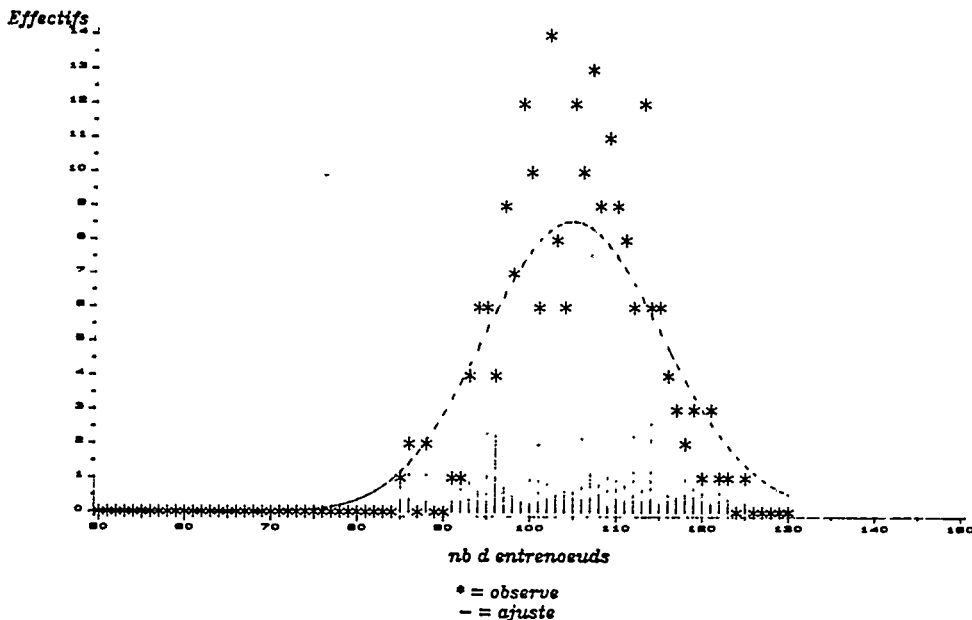
Nombre d'entrepreneurs / densite 4 semis en ligne

 Loi de POISSON moy=108.4 var=93.8
 P. dep =94 % Accepte



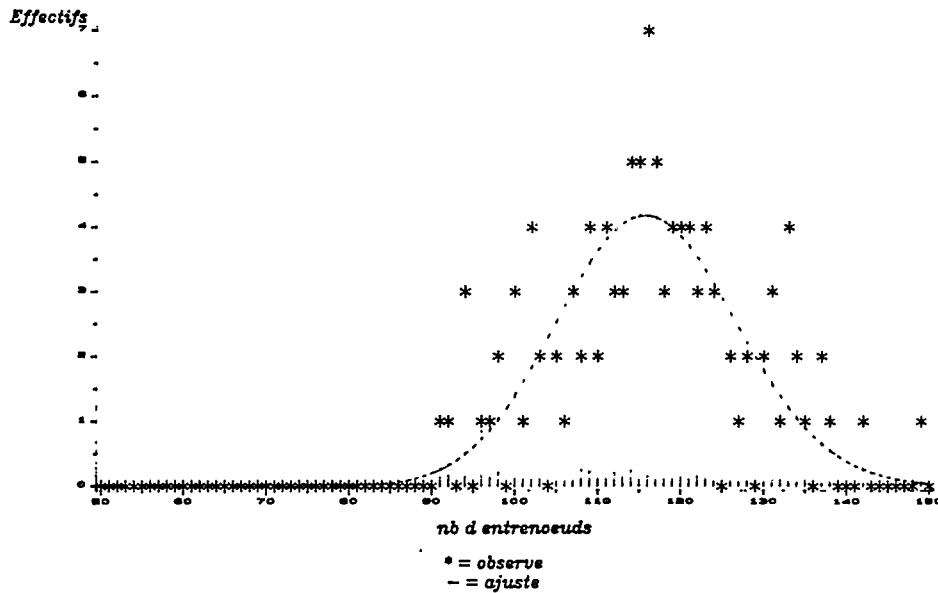
Nombre d'entrepreneurs / densite 5 semis en ligne

 Loi de POISSON moy=105.2 var=58.9
 P. dep =4.6 % Rejet



Nombre d'entrepreneurs / densite 1 semis en quinconce

 Loi de POISSON moy=116.1 var=135.4
 P. dep =84 % Accepte



Ajustement des distributions de nombre
d'entre-noeuds à une loi de Poisson

Traitement : 22 Densité N° 2 Mode: en quinconce

effectif : 220
moyenne : 112.909
variance : 116.755

lambda = 1.129E+02 +- 1.404E+00

chi2 : 1.524E+01 d.d.l. : 23
probabilite de depassement : 8.856E-01

acceptation au seuil de 5%

Ajustement des distributions de nombre
d'entre-noeuds à une loi de Poisson

Traitement : 23 Densité N° 3 Mode: en quinconce

effectif : 113
moyenne : 109.425
variance : 120.917

lambda = 1.094E+02 +- 1.928E+00

chi2 : 7.38E+00 d.d.l. : 12
probabilite de depassement : 8.309E-01

acceptation au seuil de 5%

Ajustement des distributions de nombre
d'entre-noeuds à une loi de Poisson

Traitement : 24 Densité N° 4 Mode: en quinconce

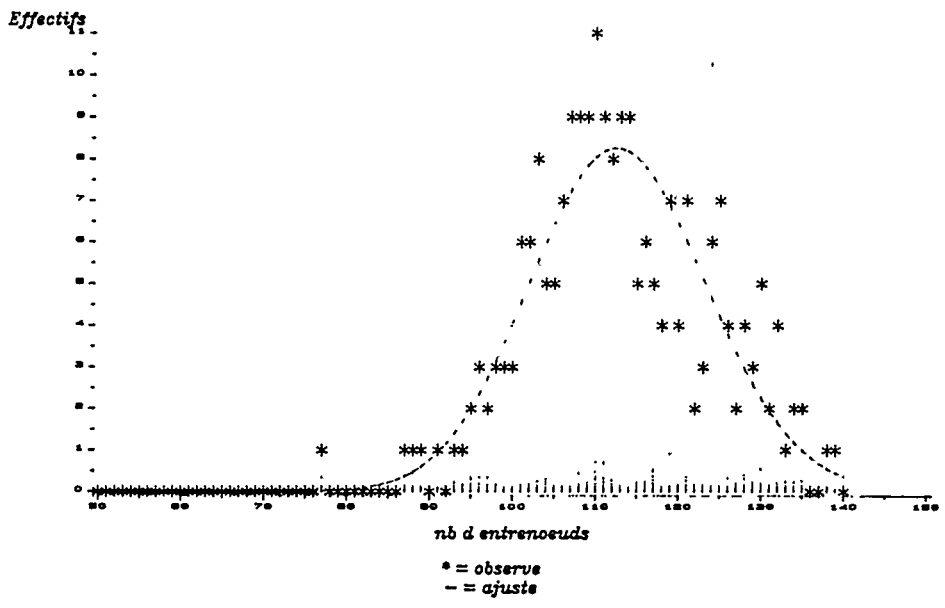
effectif : 113
moyenne : 108.381
variance : 98.165

lambda = 1.083E+02 +- 1.919E+00

chi2 : 9.149E+00 d.d.l. : 12
probabilite de depassement : 6.901E-01

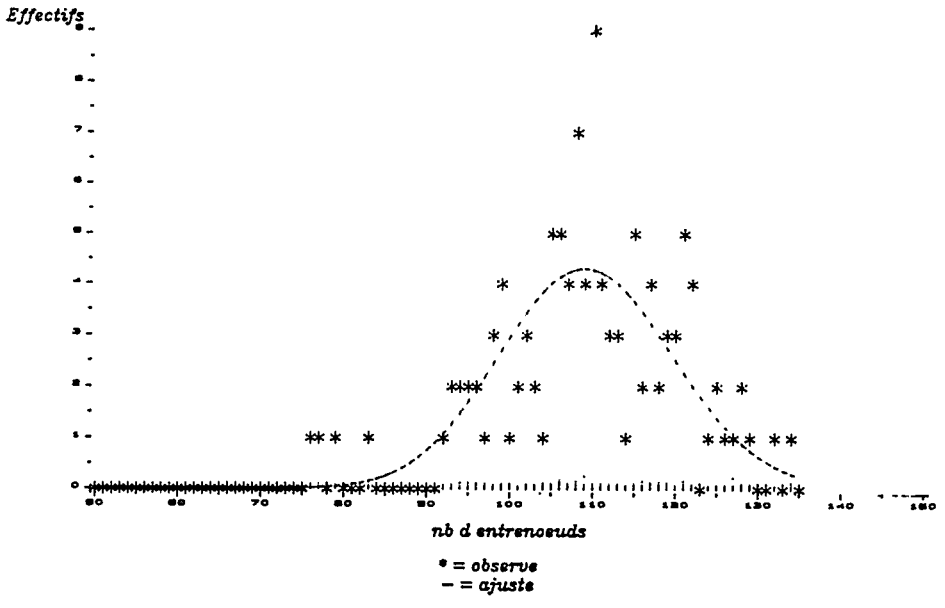
acceptation au seuil de 5%

Loi de POISSON, moy=112.9 var=116.8
P. dep =88 % Accepte



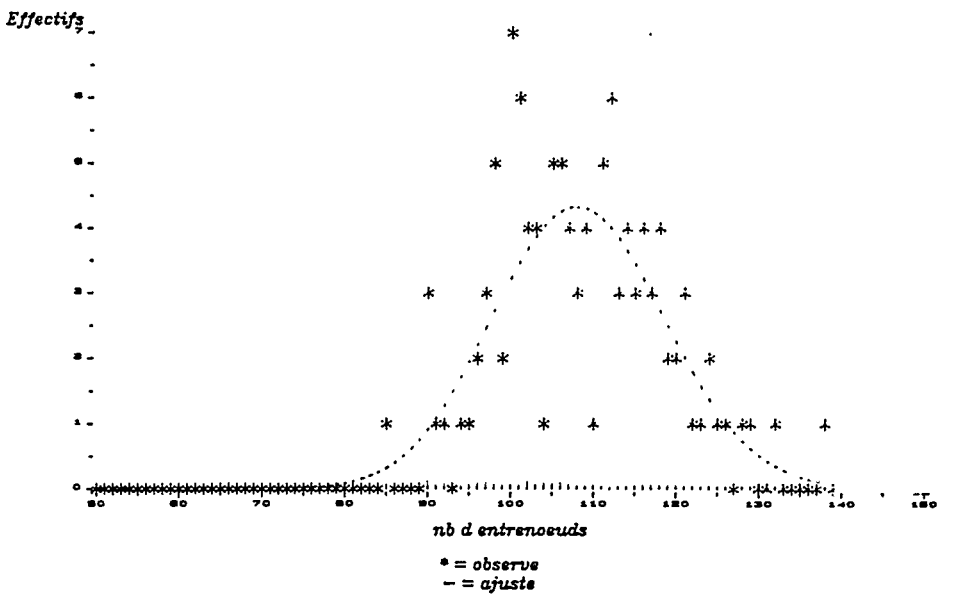
Nombre d'entrepreneurs / densite 3 semis en quinconce

Loi de POISSON, moy=109.4 var=120.9
P. dep =83 % Accepte



Nombre d'entrepreneurs / densite 4 semis en quinconce

Loi de POISSON, moy=108.4 var=98.2
P. dep =69 % Accepte



Ajustement des distributions de nombre
d'entre-noeuds à une loi de Poisson

Traitement : 25 Densité N° 5 Mode: en quinconce

effectif : 213
moyenne : 107.394
variance : 89.187

$\lambda = 1.073E+02 \pm 1.391E+00$

chi2 : 1.917E+01 d.d.l. : 20
probabilite de depassement : 5.105E-01

acceptation au seuil de 5%

Ajustement des distributions de nombre
d'entre-noeuds à une loi de Poisson

Traitement : Densité N° 1 Modes confondus

effectif : 226
moyenne : 114.027
variance : 166.698

$\lambda = 1.140E+02 \pm 1.392E+00$

chi2 : 3.572E+01 d.d.l. : 22
probabilite de depassement : 3.245E-02

rejet au seuil de 5%

Ajustement des distributions de nombre
d'entre-noeuds à une loi de Poisson

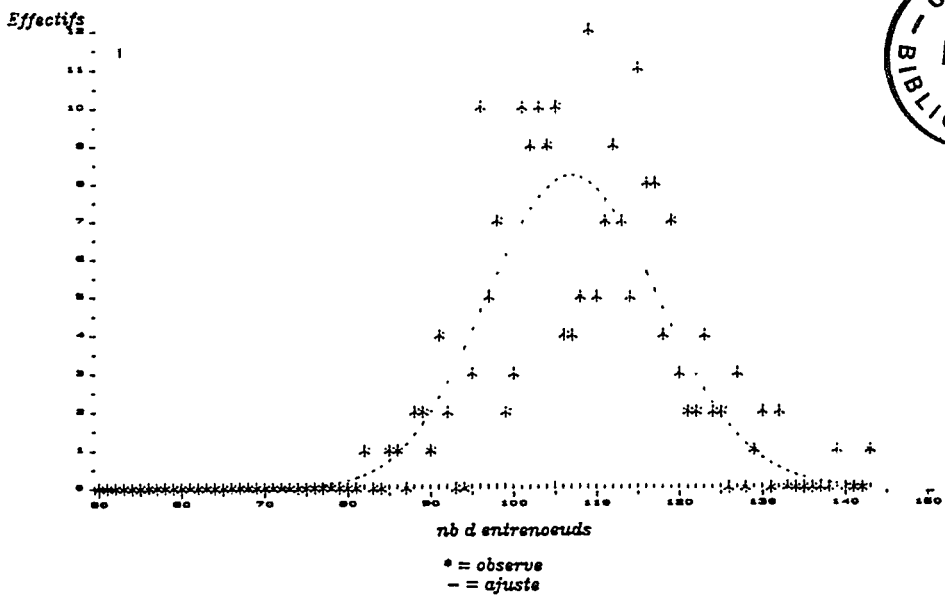
Traitement : Densité N° 2 Modes confondus

effectif : 433
moyenne : 111.686
variance : 104.252

$\lambda = 1.116E+02 \pm 9.954E-01$

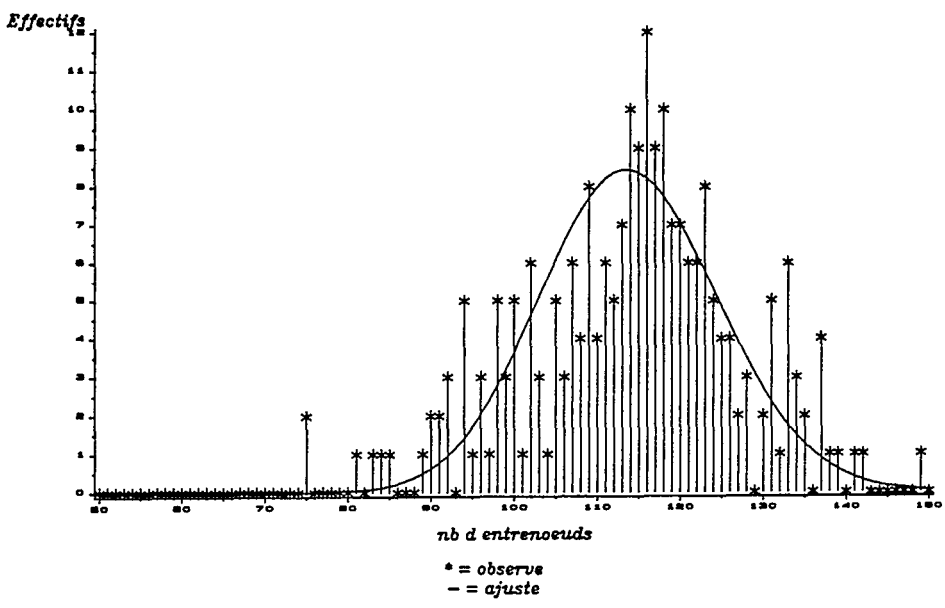
chi2 : 1.852E+01 d.d.l. : 35
probabilite de depassement : 9.899E-01

acceptation au seuil de 5%



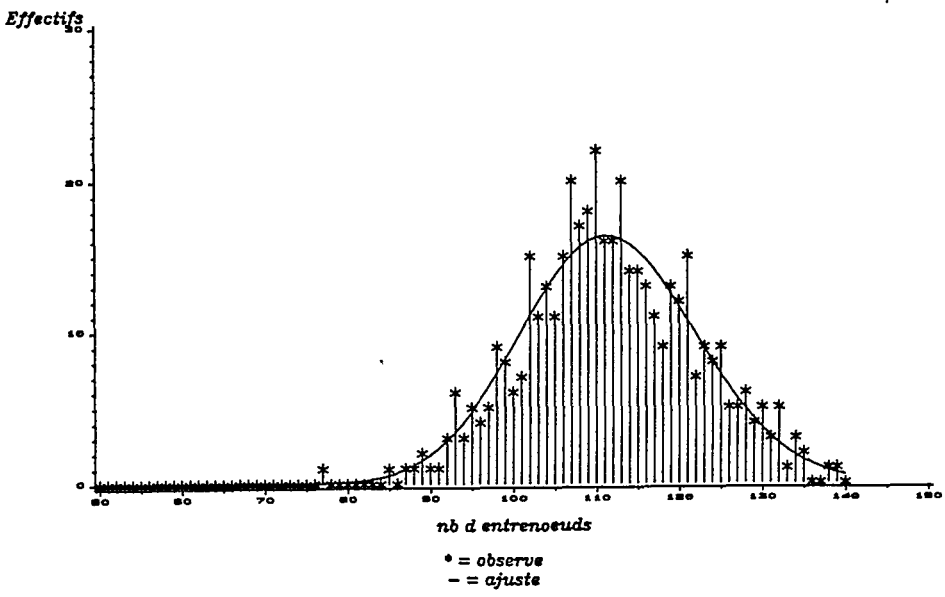
Nombre d'entreneouds / densite 1

Loi de POISSON moy=114.0 var=166.7
 P. dep =3.2% Rejete



Nombre d'entreneouds / densite 2

Loi de POISSON moy=111.7 var=104.2
 P. dep =99 % accepte



Ajustement des distributions de nombre
d'entre-noeuds à une loi de Poisson

Traitement : Densité N° 3 Modes confondus

effectif : 226
moyenne : 108.208
variance : 127.519

lambda = 1.082E+02 +- 1.356E+00

chi2 : 2.036E+01 d.d.l. : 22
probabilite de depassement : 5.600E-01

acceptation au seuil de 5%

Ajustement des distributions de nombre
d'entre-noeuds à une loi de Poisson

Traitement : Densité N° 4 Modes confondus

effectif : 233
moyenne : 108.373
variance : 95.925

lambda = 1.083E+02 +- 1.336E+00

chi2 : 1.486E+01 d.d.l. : 24
probabilite de depassement : 9.247E-01

acceptation au seuil de 5%

Ajustement des distributions de nombre
d'entre-noeuds à une loi de Poisson

Traitement : Densité N° 5 Modes confondus

effectif : 433
moyenne : 106.312
variance : 74.949

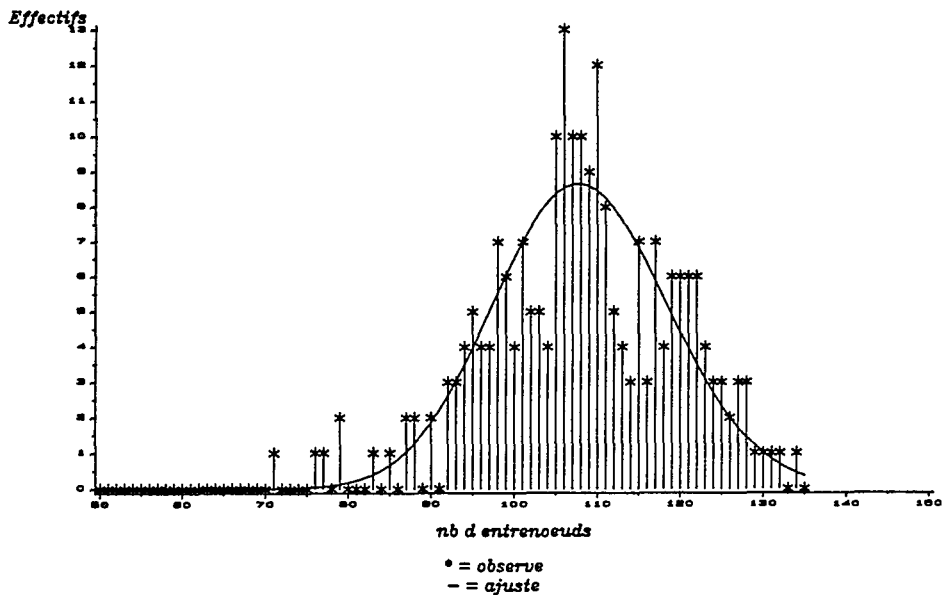
lambda = 1.063E+02 +- 9.711E-01

chi2 : 4.312E+01 d.d.l. : 33
probabilite de depassement : 1.115E-01

acceptation au seuil de 5%

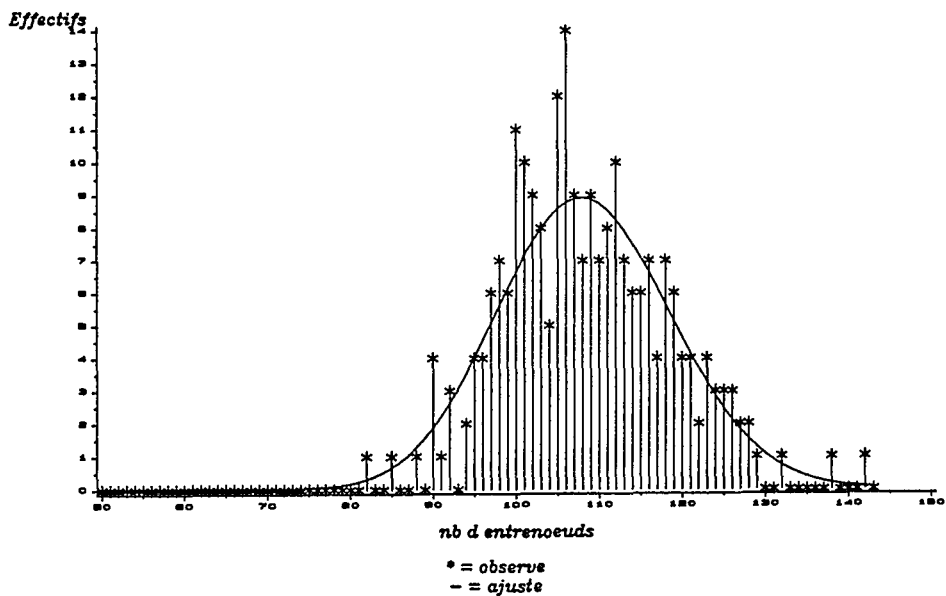
Nombre d'entrepreneurs / densite 3

Loi de POISSON moy=108.2 var=127.5
P. dep -56 % accepte



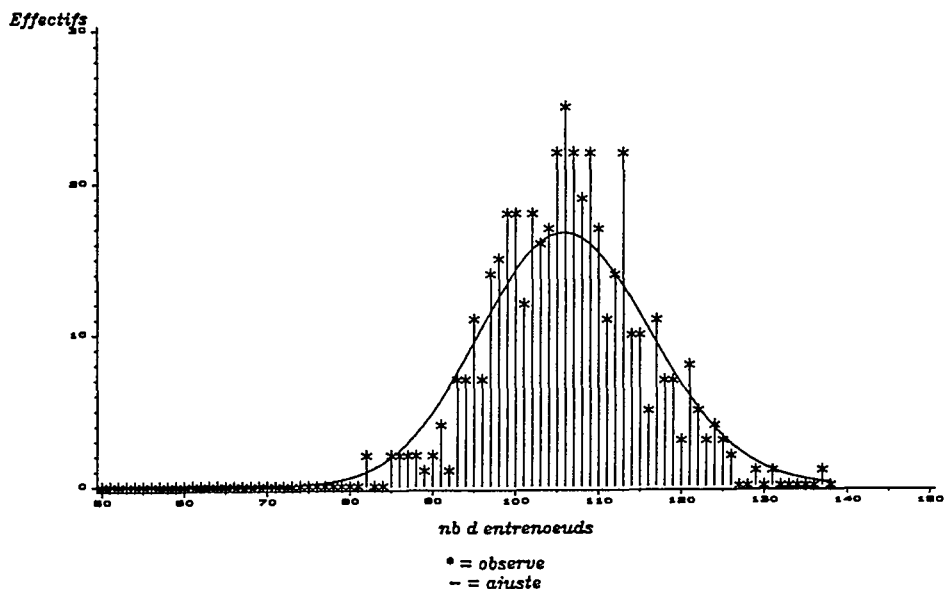
Nombre d'entrepreneurs / densite 4

Loi de POISSON moy=108.4 var=95.9
P. dep -92 % accepte



Nombre d'entrepreneurs / densite 5

Loi de POISSON moy=106.3 var=74.9
P. dep -11 % accepte



Ajustement des distributions de nombre
d'entre-noeuds à une loi de Poisson

Traitement : Densités confondues Mode: en ligne

effectif : 779
moyenne : 108.371
variance : 107.694

lambda = 1.083E+02 +- 7.310E-01

chi2 : 3.469E+01 d.d.l. : 40
probabilite de depassement : 7.075E-01

acceptation au seuil de 5%

Ajustement des distributions de nombre
d'entre-noeuds à une loi de Poisson

Traitement : Densités confondues Mode: en quinconce

effectif : 772
moyenne : 110.684
variance : 119.486

lambda = 1.106E+02 +- 7.421E-01

chi2 : 2.572E+01 d.d.l. : 41
probabilite de depassement : 9.701E+01

acceptation au seuil de 5%

Ajustement des distributions de nombre
d'entre-noeuds à une loi de Poisson

Tous traitements: Densites confondues et Modes confondus

effectif : 1551
moyenne : 109.522
variance : 114.901

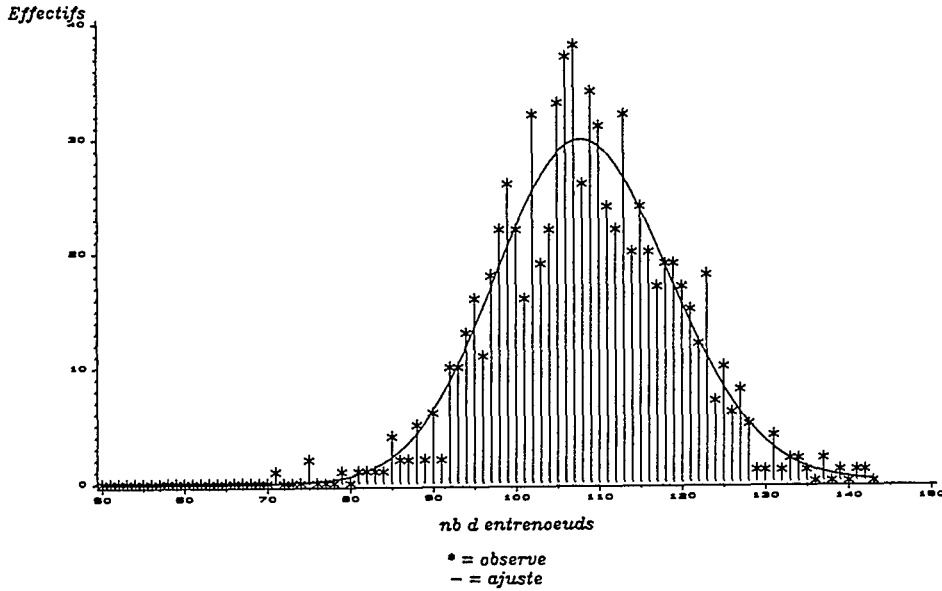
lambda = 1.095E+02 +- 5.208E-01

chi2 : 4.013E+01 d.d.l. : 47
probabilite de depassement : 7.503E-01

acceptation au seuil de 5%

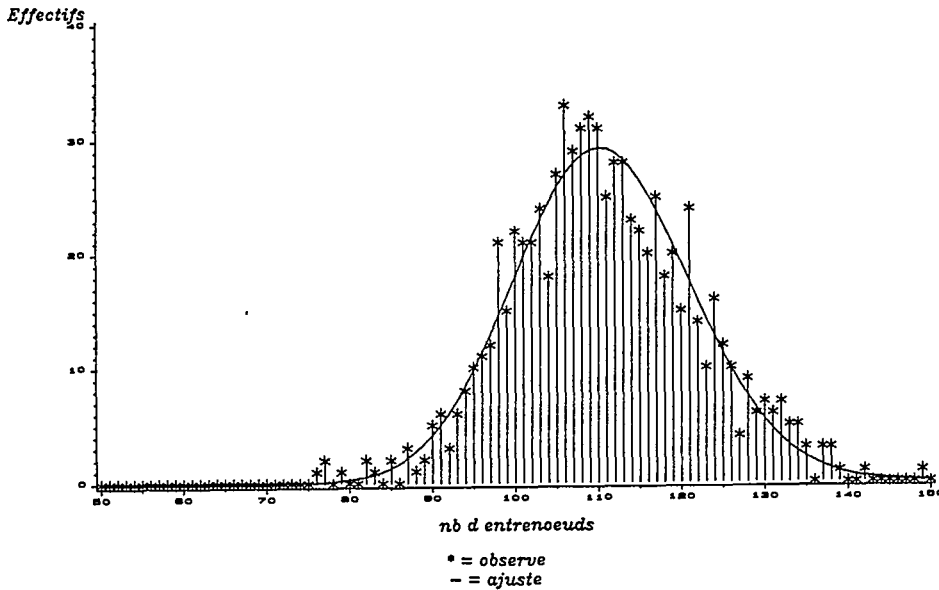
Nombre d'entreneouds / semis en ligne

Loi de POISSON moy=108.4 var=107.7
P. dep =71 % accepte



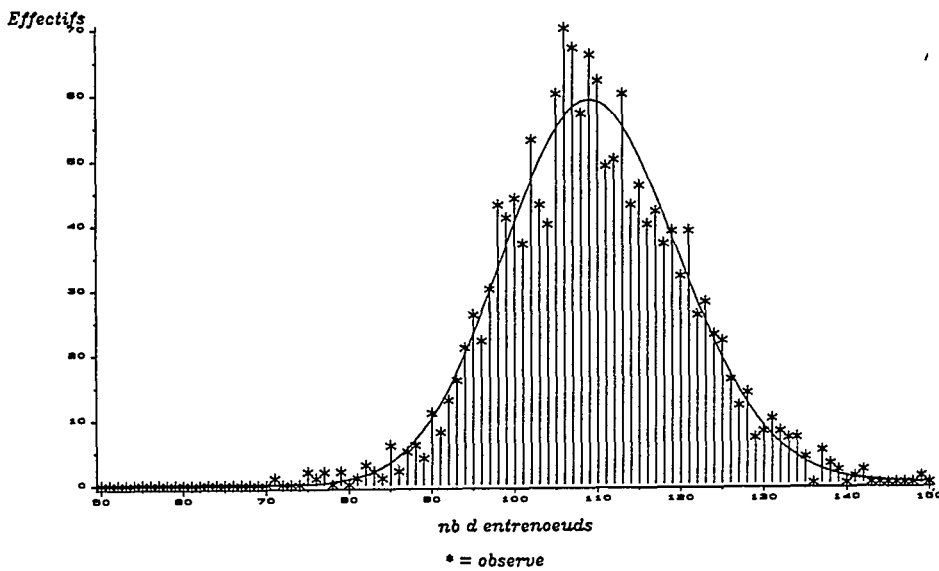
Nombre d'entreneouds / semis en quinconce

Loi de POISSON moy=110.7 var=119.5
P. dep =97 % accepte



Nombre d'entreneouds / tous traitements confondus

Loi de POISSON moy=109.5 var=114.9
P. dep =75 % accepte



ANNEXE N°5

Tableaux récapitulatifs des Hauteurs des plantes
dates 3, 4, 5, 6 et récolte

DATE 1 (effectif, moyenne, variance)

dens	mode 1			mode 2			moyennes modes confondus		
	eff	moy	var	eff	moy	var	eff	moy	var
1	21	19.5	23.6	21	20.6	15.5	42	20.1	19.4
2	21	18.6	19.2	21	19.3	10.0	42	19.0	14.3
3	21	18.0	7.7	21	19.0	18.1	42	18.5	12.9
4	21	19.2	29.7	21	19.5	14.1	42	19.3	21.4
5	21	18.3	10.5	21	20.4	14.5	42	19.4	13.3
moy	105	18.7	17.8	105	19.8	14.2	210	19.2	16.2

DATE 2 (effectif, moyenne, variance)

dens	mode 1			mode 2			moyennes modes confondus		
	eff	moy	var	eff	moy	var	eff	moy	var
1	21	37.0	31.6	21	35.9	122.5	42	36.5	75.5
2	21	34.0	39.6	21	37.2	23.9	42	35.6	33.5
3	21	35.3	19.8	21	37.6	31.7	42	36.5	26.5
4	21	33.0	37.9	21	37.4	25.2	42	35.2	35.7
5	21	30.6	50.5	21	35.5	32.6	42	33.1	46.7
moy	105	34.0	39.2	105	36.7	46.1	210	35.4	44.3

DATE 3 (effectif, moyenne, variance)

dens	mode 1			mode 2			moyennes modes confondus		
	eff	moy	var	eff	moy	var	eff	moy	var
1	21	61.3	130.5	21	64.1	153.0	42	62.7	140.4
2	21	59.5	69.0	21	63.1	38.5	42	61.3	55.8
3	21	56.1	41.0	21	59.1	103.1	42	57.6	72.5
4	21	52.7	73.5	21	56.7	95.9	42	54.7	86.7
5	21	52.7	47.6	21	55.7	26.8	42	54.2	38.6
moy	105	56.5	81.9	105	59.7	91.8	210	58.1	89.1

DATE 4

(effectif, moyenne, variance)

dens	mode 1			mode 2			moyennes modes confondus		
	eff	moy	var	eff	moy	var	eff	moy	var
1	21	74.9	53.7	21	76.2	48.5	42	75.5	50.3
2	21	73.4	41.9	21	74.3	36.7	42	73.9	38.5
3	21	70.0	35.3	21	72.5	36.9	42	71.2	36.8
4	21	72.7	34.0	21	73.8	24.7	42	73.2	28.9
5	21	69.7	21.5	21	70.9	15.6	42	70.3	18.5
moy	105	72.1	40.0	105	73.5	34.4	210	72.8	37.5

DATES 5, 6 et récolte

(effectif, moyenne, variance)

dens	mode 1			mode 2			moyennes modes confondus		
	eff	moy	var	eff	moy	var	eff	moy	var
1	71	70.2	22.4	71	74.3	32.3	142	72.2	31.5
2	171	69.3	19.1	178	73.7	19.6	349	71.5	24.2
3	71	70.4	29.0	71	69.6	17.9	142	70.0	23.4
4	78	71.0	10.8	71	68.9	15.1	149	70.0	13.9
5	178	67.6	13.9	171	69.8	16.4	349	68.7	16.2
moy	569	69.2	19.4	562	71.5	24.1	1131	70.3	22.9

ANNEXE N°6

Tableau récapitulatif des Diamètres à 5 cm
dates 3, 4, 5, et 6

DATE 1

(effectif, moyenne, variance)

dens	mode 1			mode 2			moyennes modes confondus		
	eff	moy	var	eff	moy	var	eff	moy	var
1	21	18.0	15.2	21	19.0	15.0	42	18.5	15.0
2	21	16.5	14.8	21	16.8	7.4	42	16.6	10.8
3	21	14.4	4.2	21	15.5	6.8	42	15.0	5.7
4	21	13.9	3.8	21	15.1	6.6	42	14.5	5.5
5	21	12.0	3.9	21	13.7	7.3	42	12.9	6.2
moy	105	14.9	12.5	105	16.0	11.4	210	15.5	12.2

DATE 2

(effectif, moyenne, variance)

dens	mode 1			mode 2			moyennes modes confondus		
	eff	moy	var	eff	moy	var	eff	moy	var
1	21	23.1	7.0	21	23.1	15.0	42	23.1	10.8
2	21	21.0	15.0	21	20.6	12.9	42	20.8	13.7
3	21	20.1	12.6	21	20.6	6.4	42	20.3	9.3
4	21	18.2	14.4	21	19.7	12.9	42	18.9	13.9
5	21	14.9	14.0	21	16.6	7.3	42	15.7	11.1
moy	105	19.5	20.0	105	20.1	15.0	210	19.8	17.5

DATE 3

(effectif, moyenne, variance)

dens	mode 1			mode 2			moyennes modes confondus		
	eff	moy	var	eff	moy	var	eff	moy	var
1	21	25.9	14.6	21	27.1	7.8	42	26.5	11.3
2	21	23.0	11.0	21	23.8	6.8	42	23.4	8.8
3	21	21.0	10.2	21	20.8	7.4	42	20.9	8.6
4	21	18.5	4.8	21	18.2	12.8	42	18.3	8.6
5	21	18.9	8.9	21	18.6	9.7	42	18.4	9.1
moy	105	21.4	17.9	105	21.7	20.0	210	21.5	18.9

DATE 4

(effectif, moyenne, variance)

dens	mode 1			mode 2			moyennes modes confondus		
	eff	moy	var	eff	moy	var	eff	moy	var
1	21	27.9	11.8	21	28.9	23.0	42	28.4	17.2
2	21	23.5	12.4	21	22.4	10.6	42	23.0	11.6
3	21	22.9	17.0	21	22.1	14.2	42	22.5	15.4
4	21	20.9	11.0	21	21.1	11.0	42	21.0	10.8
5	21	19.5	3.6	21	20.6	10.1	42	20.0	6.9
moy	105	23.0	18.9	105	23.0	22.3	210	23.0	20.5

DATES 5 et 6

(effectif, moyenne, variance)

dens	mode 1			mode 2			moyennes modes confondus		
	eff	moy	var	eff	moy	var	eff	moy	var
1	21	23.2	24.6	21	27.4	14.9	42	25.3	23.7
2	21	22.0	9.6	28	22.0	21.6	49	22.0	16.2
3	21	20.3	21.7	21	18.1	10.2	42	19.2	16.9
4	28	17.9	8.1	21	16.8	7.8	49	17.4	8.2
5	28	15.6	6.3	21	15.6	8.2	49	15.6	6.7
mm	119	19.4	20.8	112	20.1	30.4	231	19.8	25.4

ANNEXE N°7

Tableau récapitulatif de la taille moyenne
de la feuille du 4° tronçon (LF4)
dates 5 et 6

DATES 5 et 6

(effectif, moyenne, variance)

dens	mode 1			mode 2			moyennes modes confondus		
	eff	moy	var	eff	moy	var	eff	moy	var
1	21	21.3	10.4	21	22.5	10.4	42	21.9	10.5
2	21	20.5	8.7	28	20.6	10.7	49	20.6	9.6
3	21	18.7	13.6	21	17.4	5.1	42	18.1	9.5
4	28	17.4	3.8	21	16.8	6.1	49	17.1	4.9
5	28	15.7	4.5	21	16.2	6.3	49	15.9	5.1
moy	119	18.7	12.0	112	19.0	13.4	231	18.9	12.6

ANNEXE N°8

Tableau récapitulatif du nombre de ramifications par inflorescences

DATES 5 et 6 (effectif, moyenne, variance)

dens	mode 1			mode 2			moyennes modes confondus		
	eff	moy	var	eff	moy	var	eff	moy	var
1	21	4.9	0.7	21	6.1	1.0	42	5.5	1.2
2	21	4.5	1.2	28	4.8	1.8	49	4.7	1.5
3	21	4.2	1.8	21	3.7	1.5	42	4.0	1.7
4	28	2.8	2.0	21	3.0	2.2	49	2.8	2.1
5	28	2.4	1.4	21	2.2	1.6	49	2.3	1.5
moy	119	3.6	2.4	112	4.0	3.5	231	3.8	2.9

ANNEXE N°9

Tableau récapitulatif des nombres de boutons floraux date 5 et 6

DATES 5 et 6 (effectif, moyenne, variance)

dens	mode 1			mode 2			moyennes modes confondus		
	eff	moy	var	eff	moy	var	eff	moy	var
1	21	10.8	19.4	21	15.0	21.3	42	12.9	24.4
2	21	9.3	11.8	28	9.4	17.6	49	9.3	14.8
3	21	8.0	14.2	21	6.0	9.0	42	7.0	12.4
4	28	4.4	5.1	21	4.4	4.7	49	4.4	4.9
5	28	3.6	2.2	21	3.6	2.8	49	3.6	2.4
moy	119	6.8	17.3	112	7.8	27.7	231	7.3	22.5

BIBLIOGRAPHIE

COSTES E., 1988, Analyse architecturale et modélisation du Litchi. Contribution à l'étude de son irrégularité de production à l'île de la réunion, Thèse Doct. Etat, USTL Montpellier, 210 p.

DAUZAT J., DE REFFYE Ph., 1988, Croissance et développement du lin fibre, Etude préliminaire 1988, GERDAT/CIRAD, Montpellier, 50 p.

D'HONDT C., 1985, Etude des stades phénologiques de la mise à fleur chez le lin en relation avec les facteurs climatiques et la morphologie de la plante entière. ENSAIA, Nancy, 50 p.

DURAND R., DE PARCEVEAU S., ROCHE P., 1967, Action de la température sur la croissance et le développement du lin. Annales de Physiologie Végétale., INRA, Paris, p.87 à 105.

FOURNIER D., 1989, Modélisation de la croissance et de l'architecture du Merisier. Application à une sylviculture à larges espacements, D.A.A ENSAM , Montpellier, 90 p.

GIRAULT M., 1965, Processus aléatoires: probabilités, statistique, recherche opérationnelle. Section A: Théorie des probabilités. Dunod, Paris, 1965, 150 p.

Institut Technique Agricole du Lin, 1988, La culture du lin fibre, ITL, 57 p.

KATZ F. ROBINET L., 1977, Contribution à la connaissance de la structure fibreuse du lin. Bulletin scientifique ITF, Vol 6, n°24, novembre 1977, 12 p.

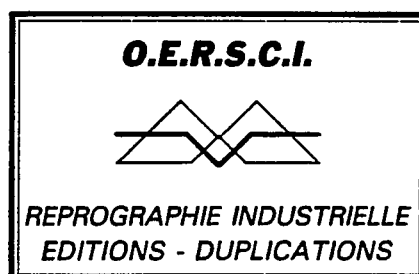
LEBART L., MORINEAU A., FENELON J.-P., 1982, Traitements des données statistiques. Methodes et programmes. Dunod, Paris, 1982, 489 p.

PEARCE S.C. (traduit par J.P. DOAZAN), 1978, *Intoduction à la statistique en biologie*, CNRA, Versailles, 1978, 254 p.

SNEDECOR G.W., COCHRAN W.G., 1984, *Méthodes statistiques*, ACTA, Paris, 600 p.

VERNAECKT M., 1964, *La croissance du lin analysée sur tige et racines séparées.*, AGPL, Paris, 35 p.

*Office d'Édition de la Recherche Scientifique
et Coopération Internationale*



*Parc Modulopolis H 1 Zone Euromédecine
Montpellier 67.52.20.05*