

N° d'ordre : 1289

50376
1985
115

50376
1985
115

THÈSE

présentée à

L'UNIVERSITE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE LILLE
INSTITUT AGRICOLE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE 3ème CYCLE

BIOLOGIE ET PHYSIOLOGIE VEGETALES

«Amélioration et transformation des productions végétales et microbiennes»

par

Mostafa KABIL

TEST DE DETERMINATION PRECOCE DU RENDEMENT DE LA BETTERAVE A SUCRE (*BETA Vulgaris L.*)



Soutenue en Juillet 1985 devant la Commission d'Examen

Président :
Rapporteur :
Examineurs :

M. R. BOURIQUET
M. R. JEAN
M. M. DESPREZ
M. C. DUMONT
M. R. LAHOUSSE

Professeur U.S.T.L.
Professeur U.S.T.L.
Ets. Florimond DESPREZ
I.R. MENNESSON
Ets. CERES



à la mémoire de mon père,

à ma mère,

à mes frères et soeur,

à toute ma famille,

à tous mes amis et amies,

*La théorie n'est que l'idée scientifique
contrôlée par l'expérience.*

CLAUDE BERNARD

AVANT - PROJET

Ce travail a été réalisé grâce à la collaboration entre un Laboratoire de Recherche de l'Institut Agricole, de l'Université de Lille I et trois entreprises de sélection de semences : Florimond DESPREZ (Cappelle - 59242 TEMPLEUVE), MENNESSON (Pinon - 02320 ANIZY LE CHATEAU) et CERES (91660 MEREVILLE).

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier **Monsieur le Professeur Robert BOURIQUET**, Directeur des Laboratoires de Physiologie Végétale de l'UER de Biologie et du Laboratoire d'Essais de Semences et de Recherches Agricoles de l'Institut Agricole, à l'Université des Sciences et Techniques de Lille. Je lui sais gré des possibilités qu'il m'a offertes pour mener mes recherches et de l'attention soutenue qu'il m'a accordée tout au long de mon travail.

Je tiens à remercier également **Monsieur Michel DESPREZ**, Directeur de Recherches des Etablissements Florimond DESPREZ, qui m'a proposé le sujet et m'a soutenu de ses conseils précieux.

J'adresse également mes vifs remerciements à **Monsieur Bernard BADUFLE**, des Etablissements MENNESON, pour l'aide qu'il m'a apportée dans le traitement statistique et informatique.

Ma gratitude va aussi à **Monsieur le Professeur Raymond JEAN**, du Laboratoire de Génétique Ecologique et de Biologie des Populations Végétales, à l'Université des Sciences et Techniques de Lille ; **Monsieur René LAHOUSSE**, Responsable de la sélection de la betterave aux Etablissements CERES ; **Monsieur Claude DUMONT**, Directeur de Recherche du Laboratoire Betterave à l'Institut de Recherche MENNESSON qui me font l'honneur d'être parmi les membres du Jury de ma Thèse.

Je tiens également à témoigner des excellents accueils de **Messieurs Louis DELESALLE** et **Charles DHELLEMES**, Responsables du Laboratoire de Sélection des Betteraves des Etablissements Florimond DESPREZ.

J'exprime ma reconnaissance à **Monsieur René LEFEBVRE**, Responsable au Laboratoire d'Essais de Semences et de Recherches Agricoles de l'Institut Agricole, qui m'a bien souvent aidé et conseillé dans mon travail.

J'adresse enfin mes remerciements à tous ceux qui, à titres divers, ont contribué à la réalisation de ce travail, en particulier **Mesdames Martine BONNIER**, **Michèle DELECOURT**, **Claudine JOVENIN**, pour le soin apporté à la dactylographie de ce mémoire.

TABLE DES MATIERES

	Pages
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I - LA SELECTION DE LA BETTERAVE A SUCRE (<u>Beta vulgaris L.</u>)	
A. - Les objectifs de la sélection.....	2
B. - Les grands principes de la sélection et leurs problèmes...	2
1. - La sélection massale.....	2
2. - La sélection généalogique.....	3
3. - Le problème de la monogermie.....	4
4. - La stérilité mâle.....	4
5. - Recherche de type O et conservation des lignées mâles - stériles.....	4
6. - L'autoincompatibilité.....	5
7. - La vigueur hybride.....	6
8. - La polyploïdie.....	6
9. - Résistance aux maladies.....	6
10. - Résistance à la montée à graine en lère année...	7
C. - Schéma de sélection.....	8
D. - Une nécessité urgente, trouver des tests précoces.....	8
CHAPITRE II - REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	
A. - Caractères morphologiques.....	10
1. - Le poids des plantules.....	10
2. - Le diamètre de l'hypocotyle.....	11
3. - Le $R_F = \frac{\text{poids de la racine} + \text{hypocotyle}}{\text{poids feuilles} + \text{cotylédons}}$	12
4. - La taille des semences.....	13
B. - Test lié aux caractères histologiques de la plante.....	15
1. - La taille des cellules.....	15
2. - L'effet de l'azote.....	17
3. - L'effet de la ploïdie.....	17
4. - La densité et le nombre d'anneaux vasculaires.....	18
5. - Les méthodes de sélection.....	18

C. - Test lié à l'activité photosynthétique.....	20
1. - Généralités.....	20
2. - La surface foliaire.....	22
3. - Le poids des feuilles.....	23
4. - L'angle des feuilles.....	24
5. - L'efficacité photosynthétique.....	25
D. - Test en relation avec l'activité mitochondriale.....	26
1. - Généralités sur les mitochondries.....	26
2. - L'hétéroxis.....	27
3. - Propriétés de phosphorylation oxydative des mitochondries.....	28
E. - Test en relation avec l'activité peroxydasique.....	28
F. - Conclusion.....	30

CHAPITRE III - MATERIEL ET METHODES.

A. - Matériel végétal.....	31
B. - Méthodes.....	31
1. - Germination.....	31
2. - Obtention des plantules.....	32
3. - Mesures.....	33
4. - Analyse statistique.....	33

CHAPITRE IV - RESULTATS.

IERE PARTIE : LES VARIETES COMMERCIALES

A. - Diamètre de l'hypocotyle.....	34
1. - Analyse de la variance.....	38
1.1 - Conditions.....	38
1.2 - Test d'ajustement à la loi normale.....	38
1.3 - Test de BARTLETT.....	46
1.4 - Résultats de l'analyse de variance.....	46
1.5 - Interprétation des résultats.....	48
2. - Relation entre le diamètre de l'hypocotyle et le rendement aux champs des 4 variétés.....	50
3. - Corrélation entre diamètre de l'hypocotyle à différentes dates et rendement en racine, teneur en sucre, sucre total à l'hectare.....	51
4. - Conclusion.....	51

B. - Poids des plantules.....	52
1. - Introduction.....	52
2. - Résultats.....	52
3. - Analyses statistiques.....	55
3.1 - Variations intravariétales.....	55
3.2 - Causes d'apparition des valeurs aberrantes...	55
3.3 - Analyse de la variance.....	57
4. - Relation entre le poids des plantules et le rendement aux champs des quatre variétés.....	59
5. - Relation entre le poids des plantules et le diamètre de l'hypocotyle.....	59
6. - Conclusion.....	60
C. - Poids des feuilles.....	60
1. - Introduction.....	60
2. - Résultats.....	63
3. - Analyse de la variance.....	63
4. - Conclusion.....	67
D. - Poids de la racine et l'hypocotyle.....	67
1. - Introduction.....	67
2. - Résultats.....	67
3. - Analyse de la variance.....	70
4. - Conclusion.....	70
E. - Le rapport racines + hypocotyle/feuilles + cotylédons...	70
1. - Introduction.....	70
2. - Résultats.....	73
3. - Analyse de la variance.....	73
4. - Conclusion.....	76
F. - Semences et germes.....	76
1. - Introduction.....	76
2. - Poids des semences.....	77
2.1 - Mode opératoire.....	78
2.2 - Résultats.....	78
3. - Conclusion.....	80
4. - Catégorie de graines.....	80
4.1 - Relation entre calibre des semences et poids des germes.....	80
4.2 - Relation calibre des semences, diamètre de l'hypocotyle des plantules de 28 jours...	81
4.3 - Relation calibre des semences, poids des plantules de 28 jours.....	82
4.4 - Conclusion.....	82
G. - Conclusion générale de la 1ère partie	83

2E PARTIE : LES HYBRIDES EXPERIMENTAUX

A. - Diamètre de l'hypocotyle.....	84
1. - Résultats.....	84
2. - Analyse de la variance.....	86
B. - Les rendements aux champs.....	89
1. - Résultats.....	89
2. - Analyse de la variance.....	89
3. - Conclusion.....	91
C. - Poids des plantules.....	93
1. - Résultats.....	93
2. - Analyse de la variance.....	95
3. - Conclusion.....	95
D. - Poids des feuilles.....	95
1. - Résultats.....	95
2. - Analyse de la variance.....	97
3. - Conclusion.....	100
E. - Surface foliaire.....	100
1. - Mode opératoire.....	100
2. - Résultats.....	100
3. - Conclusion.....	105
F. - Poids des limbes.....	105
G. - Poids de la racine et l'hypocotyle.....	106
1. - Résultats.....	106
2. - Analyse de la variance.....	108
H. - Le rapport racine + hypocotyle / feuilles + cotylédons...	108
I - Taille des semences.....	110
1. - Analyse de la variance.....	110
2. - Conclusion.....	112

3E PARTIE : RECHERCHE D'UNE FONCTION : RENDEMENT AUX CHAMPS ET UNE DES VARIABLES DE LA PLANTULE

A.- Le test précoce sur le plan statistique	113
B.- Le problème statistique posé par les données	114
C.- Analyse de la régression de la variable plantule-variable rendement aux champs	115

1. - Choix des variables	115
2. - Calcul de la régression en utilisant la moyenne de la variable dépendante	116
3. - Exploitation de la variabilité introduite par les blocs	118
3.1. - Régression diamètre de l'hypocotyle 21 jours - rendement en sucre	118
3.2. - Régression diamètre de l'hypocotyle 28 jours - rendement en sucre	120

D.- CONCLUSION	121
----------------------	-----

DISCUSSION.....	122
-----------------	-----

CONCLUSION.....	132
-----------------	-----

BIBLIOGRAPHIE.....	134
--------------------	-----

ANNEXES.....	156
--------------	-----

RESUME

INTRODUCTION

Le sélectionneur de betterave à sucre est guidé dans ses choix par les exigences des agriculteurs et celles des industriels. Il faut de longues années pour lancer sur le marché une variété nouvelle et souvent les délais d'obtention sont plus longs que l'évolution des contraintes.

Il est donc intéressant pour le sélectionneur de raccourcir la durée de sélection et de pouvoir, pour alléger ses charges, disposer d'un test précoce permettant de repérer les hybrides les plus prometteurs. Ce test doit être simple, rapide et fiable. Il doit donner une bonne image du rendement de la betterave à sucre.

Dans ces perspectives, il peut valablement remplacer tout ou partie des longues et coûteuses investigations aux champs.

Après avoir rappelé les méthodes de sélection, nous puiserons dans la bibliographie les critères déjà envisagés par différents chercheurs pour prévoir les potentialités de la jeune plantule de Betterave. Nous utiliserons ensuite ces critères ainsi que certains autres pour distinguer précocement des variétés commerciales et des hybrides expérimentaux.

La confrontation avec les résultats obtenus par les méthodes habituelles nous permettra de choisir les meilleurs critères d'appréciation. Ainsi sera proposé finalement un test de laboratoire utilisable avec profit par les sélectionneurs de la betterave à sucre.

CHAPITRE I
LA SELECTION DE LA
BETTERAVE A SUCRE

(Beta Vulgaris L.)

A. - LES OBJECTIFS DE LA SELECTION

Les objectifs fondamentaux sont de produire le maximum de sucre à l'unité de production, dans les conditions de sol ou de climat, en tenant compte du contexte économique du pays.

Le rendement en racine, la teneur en sucre, la résistance à la montée à graine et aux diverses maladies guident la sélection, ainsi que la valeur technologique des betteraves pour permettre un meilleur travail en usine.

Certaines caractéristiques sont régulièrement recherchées, telle que la meilleure forme possible pour le décolletage, l'arrachage ; l'absence de radicules ainsi qu'un sillon saccharifère peu profond pour faciliter le lavage en usine.

Pour les éléments nuisibles contenus dans les jus de diffusion, les choses sont un peu plus complexes à connaître et à définir. Leur teneur dépend à la fois des méthodes de culture et de la variété utilisée.

Le sélectionneur doit donc envisager toutes ces considérations et réfléchir pour fixer ses objectifs et orienter ses choix.

B. - LES GRANDS PRINCIPES DE LA SELECTION ET LEURS PROBLEMES

1. - La sélection massale

Elle consiste à choisir dans la masse d'une population, des individus qui semblent présenter des caractères intéressants. C'est grâce à cette sélection empirique pratiquée depuis des millénaires que nous disposons de toutes les plantes cultivées dont le type est généralement très éloigné du type sauvage.

Au début du XIXe siècle, les sélectionneurs ont appliqué la méthode des bains d'eau salée. Les betteraves riches en sucre, à densité élevée, tombaient au fond ; les plus pauvres surnageaient et étaient éliminées.

La mesure de la teneur en sucre à l'aide du polarimètre a amélioré la précision de cette sélection.

Actuellement, les progrès techniques de l'électronique et des ordinateurs, permettent d'analyser plus de 200 échantillons à l'heure et de donner non seulement la teneur en sucre mais aussi la teneur en sodium, potassium et en azote alpha-aminé et de calculer le rendement théorique en sucre blanc.

2. - La sélection généalogique

Elle consiste à étudier la valeur de la descendance des betteraves mères. Les familles les plus intéressantes fixées par des croisements frère x soeur, sont ensuite testées pour leur aptitude à la combinaison, c'est-à-dire leurs facultés de produire des hybrides vigoureux. Chaque famille devrait en théorie être utilisée pour féconder une par une les autres familles et tous les hybrides obtenus devraient être comparés pour leur productivité. Comme le nombre des familles est élevé, le nombre des combinaisons possibles est très important ; dans la pratique, on est obligé de recourir à deux tests :

- dans le premier, chaque famille est fécondée par le pollen d'une seule autre choisie comme fécondant (top cross) ;
- dans le second, chaque famille est fécondée par le mélange du pollen de toutes les autres (polycross).

Parmi les hybrides obtenus, on choisira ceux qui sont les plus productifs et à partir d'un mélange de ces hybrides, on produira les semences de base de la variété commerciale.

Il convient de souligner que ce programme, depuis le choix des betteraves mères jusqu'à la distribution d'une variété commerciale, dure de 12 à 20 ans.

Enfin, soulignons le nombre de répétitions statistiques, la dimension des essais agronomiques nécessaires pour comparer les résultats obtenus (quelques milliers de parcelles couvrant plusieurs hectares), ainsi que l'importance des moyens mécaniques qu'il faut mettre en oeuvre pour récolter les parcelles et effectuer les mesures de rendement.

Notre recherche consiste à alléger ce travail long et coûteux, par des tests précoces qui ne demandent que quelques mètres carrés de chambre de culture, un technicien et des dépenses réduites par rapport à celles qu'impliquent les essais aux champs.

3. - Le problème de la monogermie

La betterave est généralement plurigerme, cela signifie que le glomérule qui constitue la semence peut donner naissance à plusieurs plantules. Cette particularité a longtemps obligé l'exécution d'un démariage manuel. La monogermie a d'abord été réalisée mécaniquement ; ce n'est que vers les années 50, après la découverte de SAVITSKY, que la monogermie génétique fut introduite dans les programmes de sélection.

Les familles multigerms sont maintenues en sélection conservatrice et utilisées dans la sélection créatrice des familles monogermes comme pollinisateurs.

4. - La stérilité mâle

Elle a été découverte aux U.S.A. par OWEN, en 1942. Des plantes présentant des étamines vides (ne contenant pas de grains de pollen), permettent d'obtenir des hybrides totaux.

Puisqu'on utilise la racine de la betterave à sucre, il n'est pas nécessaire de restaurer la fertilité chez l'hybride, et ces plantes sont utilisées pour la production de variétés commerciales. Ceci permet, en outre, de protéger les obtentions du sélectionneur.

Pour reproduire des mâles-stériles, il faut des plantes mâles-fertiles dont la descendance donnera les mâles-stériles, elles sont désignées par le terme type 0.

5. - Recherche de type 0 et conservation des lignées mâles-stériles

Le problème consiste d'une part à combiner sur la même plante le caractère mâle-stérile et le caractère mongerme. D'autre part à multiplier des plantes mâles-stériles, qu'elles soient monogermes ou multigerms. Examinons donc le second point, car si l'on croise une betterave mâle-stérile avec une

betterave normale mâle-fertile quelconque, on n'obtient en principe, à la seconde génération, qu'une très faible proportion de semences qui donnent des plantes mâles-stériles. En effet, le caractère de mâle-stérilité peut être traduit par la formule génétique $Sxxzz$ ou S est un facteur de stérilité porté par le cytoplasme cellulaire et où xx et zz sont deux gènes récessifs portés par les chromosomes (OWEN, 1942).

Pour obtenir une proportion élevée proche de 100 % de plantes mâles-stériles, il faut effectuer le croisement avec une plante fertile possédant les deux gènes récessifs $xx\ zz$ et ne possédant pas le caractère cytoplasmique de stérilité S , mais le caractère normal de fertilité N , ce qui peut se traduire par la formule $Nxxzz$.

Ces plantes sont dites de type 0 en souvenir des études que OWEN leur a consacrées. Le résultat de l'hybridation à l'aide d'un type 0 est un individu mâle-stérile de formule $Sxxzz$.

Les types 0 sont recherchés grâce à un test de croisement avec un mâle-stérile connu et la descendance doit être entièrement mâle-stérile.

Les types 0 les plus intéressants sont ensuite croisés au cours de plusieurs générations avec des types mâles-stériles et les plantes mâles-stériles correspondants sont appelés équivalents du type 0.

Ce schéma tendant vers une certaine consanguinité, les équivalents obtenus ne sont pas très vigoureux. On s'efforcera donc de croiser les mâles-stériles et les types 0 d'origine différente pour obtenir des hybrides mâles-stériles vigoureux. En testant l'aptitude à la combinaison de ces hybrides en les croisant avec différentes lignées tétraploïdes, on sélectionne les meilleurs hybrides 3 voies.

6. - L'autoincompatibilité

Pour conserver les génotypes intéressants, l'autofécondation est la méthode la plus simple, mais les betteraves (plantes allogames) sont normalement autostériles, bien qu'hermaphrodites, et donnent très peu de graines en autofécondation (OWEN, 1942).

OWEN explique ce phénomène par deux séries de facteurs d'incompatibilité S et Z. Pour qu'il y ait fécondation, il suffit que l'un des facteurs S ou Z soit différent.

Il existe dans la série des allèles, un allèle dominant S_F qui assure l'autofertilité. Les familles qui portent cet allèle deviennent des lignées autogames et finissent par être pratiquement homozygotes.

7. - La vigueur hybride

La vigueur perdue par consanguinité se retrouve grâce à l'hétérosis. L'effet maximal est recherché en mesurant l'aptitude des familles à donner de bons produits de croisement.

Il est donc judicieux de chercher à combiner des lignées dont les hybrides ont un rendement supérieur à celui des lignées de départ.

Les hybrides trois voies sont bénéfiques, ils permettent de récolter les graines sur des hybrides F1 donnant une bonne germination et une bonne vigueur.

8. - La polyploïdie

La polyploïdie apporte à la betterave une amélioration certaine. Le traitement par la colchicine des méristèmes de plantules au premier stade de croissance provoque le doublement du stock chromosomique (36 au lieu de 18).

L'intérêt agronomique des polyploïdes réside dans la production d'organes de plus grande taille, une meilleure tolérance aux maladies, une meilleure forme de la racine, moins de racines secondaires et une plus grande résistance à la montée à graine.

9. - Résistance aux maladies

Comme tout être vivant, la betterave à sucre peut être attaquée par certains parasites, qui lui causent des maladies. On peut lutter contre ces maladies par traitement chimique, mais cette opération nécessite une surveillance continue et des traitements au moment opportun, sous peine d'être inefficace. Il suppose donc des cultivateurs techniquement évolués et disposant du matériel nécessaire. Pour ces raisons, dans beaucoup de pays, les traitements sont appliqués par les sucreries.

Les produits de traitement peuvent être toxiques et laisser des résidus dans la récolte.

Certains produits peuvent perdre leur efficacité avec le temps; c'est le cas du Bénomyl qu'on utilise contre le *Cercospora*. De même, les pucerons vecteurs de la jaunisse sont devenus résistants à certains produits organophosphorés.

A tous ces inconvénients s'ajoute le coût des traitements.

La lutte contre les maladies par les méthodes culturales et l'emploi de variétés résistantes ou tolérantes est donc plus économique.

Sans entrer dans les détails, nous rappellerons la technique générale de sélection. Le sélectionneur doit choisir un matériel d'origine génétique le plus divers possible, afin de pouvoir retrouver la vigueur hybride en fin de cycle, par croisement entre souches sensibles et souches résistantes.

Le triage des hybrides se fait après des infections artificielles en conditions favorables à la maladie; par exemple, pour la cercosporiose, les infections artificielles sont réalisées à l'aide de feuilles malades de l'année précédente, séchées et broyées. Le broyat est répandu sur le champ un jour de pluie pour faciliter la contamination. Pour la sélection contre la jaunisse, provoquée par des virus, transmis par les pucerons (*Myzus persicae*), on élève des pucerons sur des plantes atteintes et on les transporte sur les plantes à tester.

La méthode de croisement interspécifique peut aussi être utilisée pour lutter contre les maladies déjà citées (cercosporiose et jaunisse), contre les nématodes, le mildiou et la rhizomanie qui s'est répandue dans de nombreux pays, ces dernières années.

10. - Résistance à la montée en graine en première année

En avançant la date des semis, on peut obtenir un gain de rendement, surtout pendant les périodes de sécheresse, mais il faut augmenter la résistance à la montée à graine.

Toutefois, il faut que les sélectionneurs exportateurs de semences, tiennent compte des conditions climatiques dans les pays où ils exportent.

Par exemple, au MAROC, les semis de betterave à sucre commencent au mois d'octobre ; 1981 a été une année sèche, la période de pluie a fait place au froid qui a vernalisé les betteraves ; la fibrosité a rendu le découpage et la diffusion très difficiles, les rendements à l'usine ont été catastrophiques, surtout pour les variétés sensibles à la montée à graine.

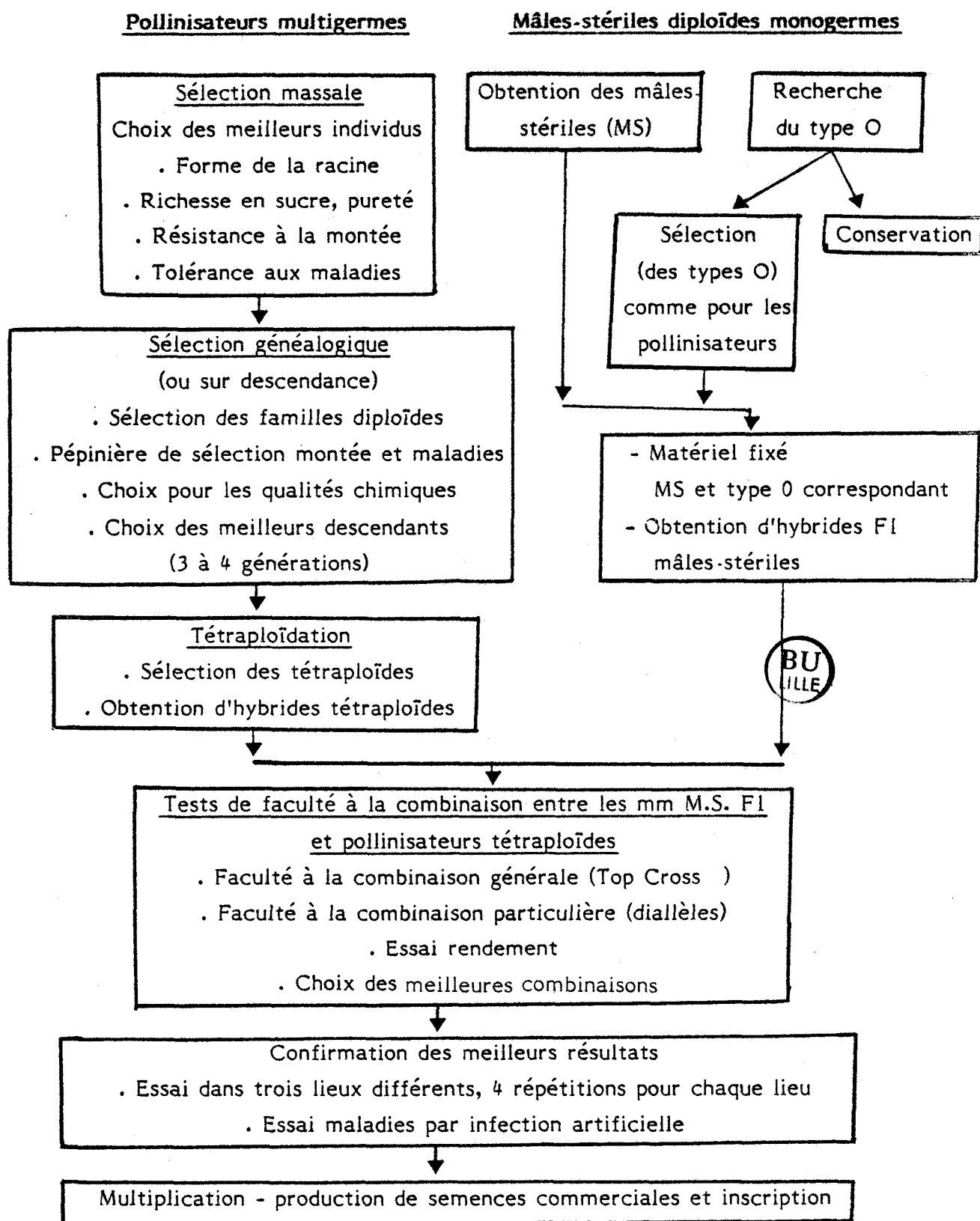
C. - SCHEMA DE LA SELECTION

Le schéma de sélection ci-après réunit les différents programmes de sélection intégrant les contraintes et les objectifs.

D. - UNE NECESSITE URGENTE : TROUVER DES TESTS PRECOCES

Pour effectuer un travail comparable à celui réalisé sur des plantes autogames comme le blé ou l'orge, la betterave demande au moins trois fois plus de personnel, donc des charges importantes, même sans tenir compte des surfaces immobilisées pour les essais agronomiques. Réduire les charges diminuerait le prix de revient des semences et pourrait les rendre plus concurrentielles.

Pour améliorer son travail, le sélectionneur doit être en mesure de déceler le plus tôt possible le rendement des plantes et les meilleures combinaisons à réaliser. Déterminer précocement les aptitudes des plantes peut être réalisé à partir d'un caractère physiologique ou morphologique retenu comme critère de sélection, à condition qu'il exprime une variabilité génétique dans la population sélectionnée, qu'il soit facilement mesurable et qu'il soit en relation avec le rendement.



SCHEMA DE SELECTION

CHAPITRE II

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

La richesse de la betterave à sucre dépend de facteurs multiples, dont l'hérédité est très bonne. Actuellement, toutes les nouvelles variétés monogermes sont des hybrides totaux, grâce à l'utilisation de la mâle-stérilité. On peut exactement prévoir la richesse d'une combinaison d'après la richesse de chacun des parents; l'hybride aura comme teneur en sucre la moyenne des teneurs des parents.

Ce qui est profitable pour le betteravier, c'est le rendement total en sucre à l'hectare, c'est donc le rendement en racine qui est intéressant, bien sûr avec une richesse convenable.

Par cette étude bibliographique, nous allons chercher les caractères morphologiques ou physiologiques (taille, surface, poids, volume...) faciles à mesurer pour que le test ait un intérêt pratique.

A. - CARACTERES MORPHOLOGIQUES

Selon SCOTT (1979), la base d'un bon rendement est établie très tôt dans la saison, relation à première vue surprenante, si on considère qu'il y a un intervalle de 7 mois entre le semis et la récolte de la betterave à sucre. Les plantes ayant démarré très tôt gardent leur avantage durant toute la saison, ce qui n'est pas valable par exemple pour la pomme de terre.

Les auteurs se demandent donc s'il existe un principe unique pour la croissance de la plante et pour le rendement, ou si le rendement est fonction du type de sol, des quantités de fertilisants ou des attaques parasitaires.

1. - Le poids des plantules

Le rendement de certaines plantes cultivées a été augmenté par sélection en se basant sur le poids des plantules.

Des auteurs ont mis en évidence une corrélation positive entre le poids des plantules et le rendement obtenu au champ chez le maïs.

TOWNSEND (1976) a montré que la variabilité génétique du poids de matière sèche des plantules est suffisamment grande pour qu'une amélioration de ce caractère permette un accroissement du rendement de fourrage chez l'astragale.

Chez la betterave à sucre, RÖSTEL (1971) a trouvé une corrélation positive, significative, entre le poids des plantules et le rendement en racine.

SNYDER (1975) a également observé une corrélation significative entre le poids des plantules de 3 semaines et le poids des racines. Il a trouvé un coefficient de corrélation variant entre 0,45 et 0,95.

DONEY et THEURER (1976), au cours de leurs essais de sélection précoce, ont analysé de nombreux caractères : respiration de la semence imbibée, respiration de la plantule, émergence, date de l'apparition de la première feuille vraie, fréquence des stomates de la première feuille vraie, poids des racines et diamètre de l'hypocotyle des plantules.

D'autres auteurs confirment la possibilité d'améliorer la qualité des lignées de betteraves en se basant sur le poids des plantules ou de leurs racines, poids de matière fraîche ou de matière sèche (CSAPODY, 1969 ; JOLY, 1980 ; KABIL, 1982). Au cours de travaux antérieurs (KABIL, 1982), nous avons observé une corrélation positive entre le poids de jeunes plantules et le rendement en racine.

C'est un critère de sélection précoce, qui semble, en outre, facile à réaliser.

2. - Le diamètre de l'hypocotyle

SHIMAMOTO (1967, 1969) a trouvé une relation entre le diamètre de la racine et le rendement en poids à un stade jeune de la betterave à sucre.

DONEY et THEURER (1976) ont signalé une corrélation positive de 0,70 entre le diamètre de l'hypocotyle de plantules de 3 semaines et le rendement en racine aux champs.

Dans un travail antérieur (KABIL, 1982), nous avons aussi constaté une corrélation positive entre le diamètre de l'hypocotyle de la jeune plantule

et le rendement en racine. Des estimations de l'aptitude génétique et spécifique à la combinaison sont significatives à la fois pour le diamètre de l'hypocotyle et le rendement aux champs et semblables pour les deux donc, tout concourt pour que ce test soit utilisé comme critère de sélection précoce.

L'étude de l'élongation de l'hypocotyle de soja et de coton a montré que l'élongation diminue et le diamètre augmente lorsque la résistance du sol augmente. En outre, l'humidité et la température du sol modifient le taux d'allongement de l'hypocotyle. La profondeur du semis intervient également (HATFIELD et EGLI, 1974).

La détermination du diamètre de l'hypocotyle est donc un bon critère de sélection précoce, mais la technique est délicate.

3. - Le rapport poids de la racine / poids des feuilles (R/F)

Le rendement de la betterave à sucre dépend de la photosynthèse et de l'accumulation consécutive des assimilats dans la racine (FICK, 1973).

La distribution des substances photosynthétisées est contrôlée à la fois par des facteurs génétiques et par les conditions d'environnement. La sélection d'après la répartition des substances photosynthétisées et la taille des racines semble être un moyen efficace pour augmenter le rendement (SNYDER, 1979). Ce chercheur a réalisé une sélection d'après le poids des feuilles et des racines de plantules de 21 jours en utilisant le rapport

$\frac{\text{poids de la racine}}{\text{poids des feuilles}} = (\text{T.L.W.R.})$. Il a trouvé (SNYDER, 1978) que le "T.L.W.R." peut varier du simple au double dans un lot de 30 populations non sélectionnées, et a émis l'hypothèse que le rendement de la betterave à sucre serait amélioré en facilitant la répartition des substances photosynthétisées ; en admettant que la surface des feuilles est suffisante et que les autres fonctions de la plante ne sont pas affectées.

Les plantes à haut "T.L.W.R." ont relativement plus de matière sèche dans leurs racines, qui sont par ailleurs moins fibreuses que les plantes à "T.L.W.R." bas. Le poids frais racine + hypocotyle de la plantule est le paramètre qui permet le mieux de prévoir la relation entre feuilles et racines (SNYDER, 1979).

Le diamètre de l'hypocotyle et le poids frais racine + hypocotyle sont en étroite corrélation, alors qu'il n'y a que peu de relation entre le "T.L.W.R." et le diamètre de l'hypocotyle. Par conséquent, le diamètre d'hypocotyle n'est pas un critère valable pour la sélection du "T.L.W.R." ; mais il peut être utilisé pour sélectionner la grosseur de la racine.

DONEY (1976), KULENEV (1967), RÖSTEL (1971), SNYDER (1975) ont étudié les relations entre le poids de la racine de la plantule et le rendement ultérieur en racine.

Pour notre part (KABIL, 1982), nous avons signalé que le R/F d'une plante diminue avec l'âge jusqu'à 45 jours environ, puis augmente ensuite ; sur les trois variétés analysées, le R/F est en relation avec la richesse en sucre, mais les différences entre variétés ne sont pas significatives, il aurait fallu sans doute éliminer les parties des plantules qui faussent les résultats (racines secondaires, cotylédons, pétioles, ...) et ne laisser que la racine principale, l'hypocotyle et les limbes.

4. - La taille des semences

Chez différentes espèces, de nombreux auteurs ont souligné l'importance de la taille des semences. Par exemple, chez la carotte, AUSTIN (1967) a montré que le taux de germination, l'émergence et le rendement augmentent avec la taille des graines.

TOSSELL (1960) trouve chez le brome lisse que la vigueur de la jeune plante est associée au poids de graines et recommande l'élimination des graines de faible poids.

KAUFMANN (1958) remarque l'influence de la taille des graines sur le développement des plantules d'orge.

ROGLER (1954) travaillant sur le blé fourrager, a trouvé une haute corrélation entre le poids des graines et l'émergence des plantules.

KNEEBONE (1956) note une corrélation significative chez "Andropogon" (*Andropogon ballii* Hack) entre le poids des graines, la levée, la vigueur et le rendement des plantules.

AHMED S.U. (1973) a montré, chez le colza, que les plantes issues de grosses graines donnent beaucoup de fruits par plante, de grands fruits, des graines lourdes et un bon rendement en graines tandis que les plantes issues de petites graines ne donnent qu'un nombre restreint de graines par fruit.

BURRIS (1973), KNITTLE (1979) ont remarqué, chez le soja, que l'élongation de l'hypocotyle et son accroissement radial, varient avec la taille des semences. Il en est de même pour le taux de croissance des plantules de sainfoin (COOPER et coll., 1974).

Pour la betterave à sucre, plusieurs chercheurs ont trouvé que la taille des semences est en relation avec le rendement.

SAVITSKY (1954), SCOTT (1974) ont constaté que la taille des germes est en étroite relation avec la taille des semences ($r = 0,65$ à $0,99$).

MAC LACHLAN (1972) a aussi montré une bonne relation entre le rendement en racine et le calibre de la semence, ce qui a été confirmé par PODLASKI (1983) qui a trouvé une relation significative entre le poids de 1 000 fruits, le poids d'un fruit en germination, le diamètre moyen du fruit et le poids frais des plantules. Les travaux de KOLMIEZ (1960) et RÖSTEL (1974) mettent aussi en évidence que les gros fruits donnent des plantules vigoureuses et par là même un meilleur rendement.

DOXTATOR et HELMERICK (1962) ont obtenu de bons résultats en utilisant la taille des graines dans la sélection des variétés monogermes de la betterave à sucre.

SCOTT (1974), en expérimentant aux champs, a montré que la taille des plantules augmente avec la taille des semences, le rendement en sucre étant plus faible avec les petites semences.

Les caractères génétiques ne sont pas impliqués dans ce phénomène, seule la grande taille des semences explique une plus grande vigueur au départ et cet avantage persiste tout au long de la croissance, ce qui n'est peut être pas général avec la betterave à sucre (RÖSTEL, 1971).

Une étude sur la germination montre, en effet, que par suite de la faible quantité de réserves des semences de betterave, la plantule est plus rapidement livrée à elle-même que celle de maïs, par exemple (SNYDER, 1974).

Selon LONGDEN, SCOTT et WOOD (1974), la sélection des semences sur la base de leur densité a amélioré de 19 % leur germination.

TISCENKO et JURKO (1967) ont montré qu'il y avait, chez les variétés monogermes, une relation entre le poids des semences, leur germination et la production des racines. De même, il y a une corrélation entre la taille du fruit et la taille des graines de monogermes (HOGABOAM, 1964 ; SCOTT, 1974 ; SNYDER, 1970). Ces recherches ont aussi révélé que le potentiel d'émergence augmente avec la taille du fruit. AKESON (1981) a montré que l'émergence des semences de betterave à sucre augmente avec la taille des fruits.

Un seul chercheur a évoqué la forme des fruits et a trouvé que les fruits plats germent mal et donnent un rendement plus faible que les fruits ronds (RÖSTEL, 1968).

Ce critère, qui fait partie de la qualité des semences, semble être aussi un critère de sélection précoce des hybrides.

B. - TEST LIE AUX CARACTERES HISTOLOGIQUES DE LA PLANTE

1. - La taille des cellules

Le rendement en sucre de la betterave sucrière dépend du rendement en racine et de la concentration en sucre. Au sein du genre *Beta*, il y a de grandes différences entre le rendement en racine (10 à 100 T/ha) et le pourcentage en sucre (5 à 25 %) ; au cours de la sélection, on peut tenir compte de ces deux caractéristiques pour obtenir à la fois un bon rendement en racine et une forte teneur en sucre. Cependant, les méthodes de sélection qui augmentent généralement le rendement en racine, réduisent la teneur en sucre, et inversement (BERGEN, 1967 ; OLDMEYER, 1975 ; POWERS, 1957). Cette relation inverse est aussi vraie pour les pratiques agronomiques et les conditions d'environnement qui affectent le rendement et la teneur en sucre.

Par exemple, les rendements en racine peuvent être accrus par la fertilisation azotée, mais cet accroissement s'accompagne d'une diminution de la teneur en sucre (HADDOCK et al., 1956 ; HILLS et al., 1954 ; JAMES et al., 1978). De tels résultats révèlent qu'un mécanisme ordinaire est responsable du contrôle de cette relation inverse et MILFORD (1973) a découvert une relation inverse entre la taille des cellules et leur teneur en sucre.

Le diamètre des racines des jeunes plantules est plus lié au rendement en racine que la longueur (DONEY et THEURER, 1976) ce qui explique que toutes les mesures (taille et nombre des cellules) ont été faites sur des coupes transversales. Celles-ci sont réalisées sur les hypocotyles de plantules âgées de 21 et de 28 jours et entre le 2e et le 3e anneau d'une racine arrivée à maturité (5 mois).

Les génotypes à bon rendement en racine, mais à faible teneur en sucre, ont des cellules beaucoup plus grandes et un rythme de division plus lent (DONEY, 1981) ; ce qui révèle que les différences génétiques concernant la taille des cellules et le rythme de division cellulaire peuvent être observés sur de très jeunes plantules. Ces mesures ont donc confirmé l'opposition qui existe entre le rendement en racine et la teneur en sucre (MILFORD, 1973).

La racine de betterave différencie l'ensemble de ses anneaux cambiaux durant les 30 ou 35 premiers jours de croissance. Tous les anneaux sont formés lorsque la racine atteint 1 à 1,5 cm de diamètre (ARTSCH-WAGER, 1926). La croissance ultérieure est due à la fois au grandissement des cellules et à leur division dans chacun de ces anneaux ; les différences génétiques apparaissent donc dans la plante très jeune.

La croissance de la betterave a été étudiée assez en détail, afin de déterminer les caractères morphologiques et anatomiques liés à la production de sucre (ARTSCHWAGER, 1930 ; BERGEN, 1962 ; DONEY et THEURER, 1976 ; HEINISCH et BÖHME, 1959 ; MILFORD et WATSON, 1971). Il y a une faible corrélation positive entre le nombre, la densité des anneaux (nombre d'anneaux divisé par le rayon de la betterave) et le pourcentage en sucre (ARTSCHWAGER, 1926, 1930 ; DONEY et THEURER, 1976 ; HEINISCH et BÖHME, 1959). De plus, comme le sucre représente une grande partie du poids sec de la racine, ce poids de matière sèche donne donc une bonne idée de la teneur en sucre.

Différents arguments ont été énoncés, soit en faveur, soit en défaveur de la possibilité d'une relation entre la taille des cellules et la teneur en sucre. LOOMIS (1979), par exemple, pense que l'espace pour l'accumulation du sucre serait plus important dans les génotypes à grandes cellules ; dans les génotypes à petites cellules, une plus grande partie de la matière sèche correspondant aux parois des cellules par suite d'une superficie plus grande par rapport au volume de la racine.

2. - L'effet de l'azote

Depuis longtemps, on sait que les rendements en racine sont augmentés par la fertilisation azotée, mais aux dépens d'une réduction de la teneur en sucre (HADDOCK et al., 1956 ; HILLS et al., 1954 ; JAMES et al., 1978). De l'azote en grande quantité tend à augmenter la teneur en eau et à réduire le pourcentage de matière sèche.

MILFORD et WATSON (1971) ont remarqué que les taux élevés d'azote augmentent la taille des racines par suite de l'augmentation de la taille des cellules et non par l'augmentation de leur nombre. Ceci a pour conséquence d'augmenter la teneur en eau et, par suite, de réduire celle en sucre. La baisse de la teneur en sucre en présence d'une dose excessive d'azote peut s'expliquer par suite d'une modification de la taille des cellules (DONEY, 1981).

3. - L'effet de la ploïdie

La plupart des travaux sur les polyploïdes de betteraves à sucre a porté sur l'étude d'hybrides triploïdes et les rendements sont souvent en relation avec l'hétérosis.

Peu d'essais ont été faits pour comparer des génotypes identiques à différents taux de ploïdie (HECKER et al., 1970 ; Mc FARLANE et al., 1972), si ce n'est à propos de la résistance aux maladies. Les taux de ploïdie les plus élevés correspondent à un rendement plus important et à une teneur en sucre plus faible que chez les diploïdes correspondants (BUZANOV et al., 1966 ; Mc FARLANE et al., 1972 ; MILFORD et WATSON, 1971).

En général, l'augmentation du taux de ploïdie correspond à une augmentation de taille des cellules ; ainsi, les tétraploïdes ont des cellules plus grandes que les diploïdes (BUTTERFASS, 1968 ; BUZANOV et al., 1966), elles sont aussi plus pauvres en matière sèche.

La taille des cellules peut donc expliquer les différences de rendement en racines et de teneur en sucre selon le degré de ploïdie.

4. - La densité et le nombre d'anneaux vasculaires

VIVEN (1920) a établi que les betteraves à plus grande teneur en sucre ont dans leurs racines un plus grand nombre d'anneaux vasculaires séparés par des zones parenchymateuses plus étroites, ce qui implique que la densité des anneaux, c'est-à-dire que le quotient entre le nombre d'anneaux vasculaires et le rayon de la racine, est en relation avec la concentration en sucre (HEINISCH et BOHME, 1959 ; PACK, 1930 ; ARTSCHWAGER, 1930). PACK (1930) et ARTSCHWAGER (1930) ont étudié en détail le nombre et la densité des anneaux. Ils ont constaté une petite relation positive entre le nombre, la densité des anneaux et la concentration en sucre. De plus, PACK a obtenu une relation négative entre la densité des anneaux et le rendement en racine. Un test aux champs, effectué en 1975 avec dix hybrides et leurs 14 parents consanguins, a donné une relation significative de 0,43 et 0,61 entre le pourcentage de sucre, la densité et le nombre des anneaux (DONEY : données non publiées). Dans le même test, le poids sec des racines était lié d'une manière négative à la densité et au nombre des anneaux (- 0,78 et - 0,61 respectivement).

L'augmentation de taille des cellules parenchymateuses intervasculaires, augmentera la distance entre les anneaux vasculaires (MILFORD et WATSON, 1971 ; MILFORD, 1973).

La relation entre la densité des anneaux et le pourcentage en sucre pourrait être dues en grande partie aux différences qui existent dans la taille des cellules plus particulièrement la taille des cellules parenchymateuses intervasculaires.

5. - Les méthodes de sélection

Le sucre représente environ 70 % de la matière sèche de la racine, il n'est donc pas étonnant qu'il existe une relation entre le pourcentage de matière sèche de la racine et sa teneur en sucre. Cependant, BERGEN (1962) a découvert une relation génétique importante entre le pourcentage de matière sèche du pétiole et le pourcentage en sucre de la racine. Il a sélectionné à la fois pour un grand et un faible pourcentage de matière sèche du pétiole (1967). Ses sélections, portant sur une plus forte teneur en matière sèche, ont donné une teneur en sucre plus grande et un poids des racines plus faible.

Tandis que les sélections aboutissant à un pourcentage plus faible de matière sèche correspondaient à une plus faible teneur en sucre et à un poids en racine plus important.

DONEY (1981) a trouvé que la taille des cellules de l'hypocotyle est un bon reflet de la taille des cellules de la racine.

MILFORD et WATSON (1971) ont montré que l'azote augmente la taille des cellules à la fois dans les zones vasculaires et dans les zones parenchymateuses. On peut donc admettre que l'augmentation de matière sèche dans les plantes sélectionnées par BERGEN (1967) est liée à la taille réduite des cellules.

Différents auteurs (DONEY, 1979 ; OLDEMEYER, 1975 ; POWERS, 1957) ont proposé des méthodes de sélection pour augmenter le rendement en racine. Il s'accompagne toujours d'une baisse de la teneur en saccharose, parce que la sélection est le plus souvent liée à la taille des cellules. Si les relations inverses entre le rendement en racine et la teneur en saccharose ont gêné autrefois les généticiens, c'est que les méthodes de sélection étaient basées sur la taille des cellules. Il serait judicieux d'effectuer la sélection en se basant plus sur le rythme de division des cellules que sur leur taille.

Certes, d'autres facteurs peuvent contribuer à la teneur en saccharose de la racine, par exemple l'absorption du saccharose à partir d'espace libre ou du cytoplasme ainsi que son transfert dans les vacuoles ; mais absorption et transfert sont sans doute aussi en relation avec la taille des cellules. Le facteur qui contrôle ce phénomène est sans doute la nature hormonale, puisque les hormones règlent la division des cellules et leur croissance.

A propos du transport et de l'accumulation du saccharose chez la betterave à sucre, KURSANOV (1967) a trouvé que le transfert du saccharose de la feuille à la racine s'effectue par le phloème. La vitesse de déplacement est de l'ordre de 80 à 150 cm/h.

La "continuité" du saccharose ne se trouve comprise que sur un court parcours dans le limbe de la feuille, c'est-à-dire lors de son passage du mésophylle vers les fines extrémités des faisceaux conducteurs. L'inversion du saccharose dans cette zone peut être expliquée par l'énergie supplémentaire, nécessaire au mouvement des assimilats, à l'encontre du gradient de diffusion fort élevé à cet endroit.

Les faisceaux plus épais contiennent des enzymes qui resynthétisent rapidement le saccharose. De même, l'invertase y est inhibée, tout comme dans la racine, ce qui grandit la stabilité du saccharose au cours de sa translocation vers la racine.

Les hexoses, éléments constitutifs du saccharose, ne participent pas au métabolisme pendant le transport. Ils sont protégés par la stabilité des groupements carbonyles dans la liaison glucosido-fructosidique.

La racine tubéreuse de la betterave à sucre possède une aptitude relativement faible de saccharo-synthèse. La majorité des assimilats entrent dans le tissu de réserve de la racine sous forme de saccharose. Ce processus est intimement lié à la croissance des cellules et se trouve contrôlé par des facteurs de type auxinique.

Dans les cellules de réserve, le saccharose se répartit dans trois zones :

1. l'espace libre des cellules,
2. le cytoplasme,
3. les vacuoles.

La teneur relative en saccharose peut se modifier sensiblement dans ces trois zones au cours de la croissance de la racine.

C. TEST LIE A L'ACTIVITE PHOTOSYNTHETIQUE

1. - Généralités

Le modèle de croissance proposé par WATSON (1952) prend en compte :

- le taux d'assimilation nette : rapport de l'augmentation de poids de matière sèche de la plante entière, par unité de surface foliaire et par jour ;
- l'indice de surface foliaire : rapport de surface foliaire de la plante à la surface du sol occupé ;
- l'accroissement de poids en matière sèche par unité de temps ; c'est l'évolution instantanée de la plante.

La matière totale produite par la plante dépend de la différence entre la photosynthèse totale et la respiration totale. Le processus photosynthétique a lieu dans les chloroplastes des cellules vertes. La photosynthèse est considérée comme complète lorsque le CO_2 est converti en glucose.

L'énergie libre stockée par la réaction de photosynthèse est d'environ 114 KCal/mole de CO_2 réduit en glucides.

Les plantes vertes utilisent seulement les radiations de 400 à 700 nanomètres, qui représentent 43 % de la radiation solaire totale; quant à la respiration, elle varie considérablement.

Les plantes en C_4 ont généralement un taux de photosynthèse net plus élevé (en plein air, sous un soleil brillant) que la plupart des plantes en C_3 .

La photosynthèse nette des plantes en C_3 (betterave à sucre, luzerne) n'augmente pas aussi rapidement que celle des plantes en C_4 (canne à sucre, maïs) qui ont la possibilité de supprimer la photorespiration. Outre leurs propriétés biochimiques, les plantes en C_4 se distinguent aussi par leur morphologie. Jusqu'à présent, il n'a pas été possible d'effectuer le transfert de ces caractéristiques par voie génétique. Il est néanmoins possible qu'à l'avenir, la sélection des plantes en C_3 permette d'obtenir des variétés ayant une photorespiration plus faible et une photosynthèse plus intense.

La régulation de la croissance, de la division des cellules et de l'exportation du saccharose est due à la concentration intracellulaire de NH_4^+ elle-même réglée par la réduction du NO_3^- dans le cytoplasme et du NO_2^- dans les chloroplastes.

Le seul élément invariable du milieu ambiant est le niveau de CO_2 (LABY, 1981).

Pour le maïs, les tests précoces ont surtout porté sur les caractères du feuillage.

2. - La surface foliaire

De nombreux auteurs considèrent qu'il y a une corrélation significative entre la surface foliaire et le rendement en grains du maïs pour un indice inférieur à cinq (l'indice est le rapport de la surface des feuilles sur la surface du sol occupée).

Jusqu'à cette valeur, on a testé les possibilités de prévoir les caractéristiques obtenues d'après les caractères parentaux (JOHNSON, 1973 ; 1974).

Pour un indice supérieur à cinq, un ombrage trop important de l'épi risque de provoquer la stérilité. De même pour le chou, l'accumulation de matière sèche par m² et par jour atteint un optimum pour un indice de surface foliaire de 3, au-delà de cette valeur, l'accumulation chute (WATSON, 1958).

Pour le ray-grass (BROUGHAM, 1960), l'accumulation de matière sèche en gramme par m² et par jour peut atteindre la valeur 10 pour un indice de surface foliaire de 5 et reste sans changement jusqu'à la valeur 9 de cet indice.

Chez la betterave à sucre, les auteurs ont des opinions divergentes. Selon CAMPBELL (1967), l'indice de surface foliaire optimum ne dépasse pas 1,9 en octobre (à la récolte), mais peut dépasser 3 au cours du développement de la plante.

Selon WATSON (1958), l'optimum de l'indice de surface foliaire de la betterave à sucre est compris entre 6 et 9 et un indice plus faible pourrait donner un rendement moindre par suite de l'ombre produite par certaines feuilles. Il faut donc déterminer la surface foliaire lorsque la plante a un stade suffisant de développement. Elle peut être facilitée par des mesures simples (longueur et/ou largeur d'une feuille) corrélées avec la surface foliaire totale, ce qui a été montré chez le maïs (PEARCE, 1975) :

$$S = L \times l \times 0,75$$

S = surface foliaire ; L = longueur ; l = largeur.

Chez la betterave à sucre, MADALAGERI (1979) a trouvé une corrélation positive hautement significative ($r = 0,5999$) entre la longueur et la surface des feuilles. La fonction

$$y = 1,040 + 0,065 x$$

où y est la surface foliaire et x la longueur des feuilles, donne des évaluations légèrement supérieures. La fonction quadratique

$$y = 2,0540 - 0,0674 x + 0,5258 x^2$$

où y est la surface et x la longueur de la feuille, exprime mieux la relation entre la longueur des feuilles et la surface.

La croissance foliaire de la betterave n'est pas constante comme celle du maïs (SNYDER, 1974), l'efficacité des feuilles de betterave n'est donc pas la même pendant toute la vie de la plante (CLARCK, 1979 ; KRAVOLIC, 1979). Il semble d'ailleurs que cette plante puisse s'adapter selon son environnement (densité de la population, notamment).

La mesure de la surface foliaire peut donc apporter une précision complémentaire au poids des plantules pour apprécier le rendement (SNYDER, 1975) ; cet auteur a essayé de prévoir le rendement avec des plantules de 21 jours et a trouvé un coefficient de corrélation entre la surface foliaire et le poids des plantules de 0,82 à 0,97 avec 62 % de corrélation excédant 0,90. Le coefficient de variation est compris entre 13,5 et 21,6 %.

3. - Le poids des feuilles

SNYDER (1975) a trouvé une corrélation significative entre le poids des feuilles et le poids des plantules de 21 jours d'une part, et le poids des racines, d'autre part ; le coefficient de corrélation varie entre 0,45 et 0,95.

Selon TSUDA (1977), la taille du limbe (poids, longueur et largeur) est généralement corrélée positivement avec le rendement en racines et négativement avec la concentration en sucre.

Pour BERGEN (1962), il y a une relation génétique entre le % de matière sèche des pétioles et le % en sucre des racines de betterave, il

a trouvé une corrélation positive de 0,654 ; par contre, la corrélation entre le pourcentage de la matière sèche des pétioles et le poids des racines est négative (- 0,371). Il a suggéré une méthode de sélection combinée, c'est-à-dire pour le pourcentage de matière sèche et le poids des racines pour avoir un rendement en sucre total à l'hectare plus élevé.

4. - L'angle des feuilles

Diminuer l'angle des feuilles par rapport à la verticale permet une meilleure utilisation de la lumière et une efficacité plus grande.

Pour une même valeur de l'indice de surface foliaire, il existe une corrélation entre l'angle des feuilles et le rendement. Toutefois, cette relation n'explique qu'une faible part de la variabilité du rendement chez le maïs.

WARREN (1963) suggère qu'une orientation verticale des feuilles supérieures et des feuilles basses proches de l'horizontal, peut augmenter l'efficacité photosynthétique en réduisant l'absorption excessive par unité de surface foliaire (LOOMIS, 1963).

Si l'angle de la feuille modifie le nombre des quantas qui atteignent chacun de ses sites par unité de temps, vraisemblablement l'angle optimal varie avec les espèces, l'angle solaire et l'intensité de la lumière (WATSON, 1956).

Même si le feuillage de la betterave à sucre est différent, il y a une relation entre le rendement et l'angle des feuilles. Les plantes à port dressé seraient plus riches en sucre et les plantes à feuilles obliques présenteraient un plus fort rendement en racine (BEHL, 1977).

La variabilité génétique portant sur la disposition des feuilles n'a pas été exploitée par les sélectionneurs. Il faut donc faire attention à ce facteur aux différents stades de développement de la plante ; il serait intéressant pour le sélectionneur de s'intéresser à ce problème, pour améliorer le rendement en changeant le caractère de la surface photosynthétique. Toutefois, ce caractère assez délicat ne semble pas pouvoir être utilisé comme test de sélection précoce, même s'il peut paraître intéressant en relation avec un autre test.

5. - L'efficacité photosynthétique

La productivité d'une plante résulte de son activité photosynthétique qui se mesure par sa capacité à absorber le gaz carbonique (ou à rejeter l'oxygène).

La concentration en CO_2 de l'air à 0,035 % ne permet pas d'obtenir le maximum d'intensité photosynthétique en lumière naturelle ; l'intensité photosynthétique peut donc être augmentée en culture sous serre, si on élève la teneur en CO_2 . Celui-ci devient cependant toxique au-dessus d'une concentration de 1 p. 100.

Une étude du taux d'échange du CO_2 sur le maïs a permis de mettre en évidence de grandes différences d'une lignée à l'autre (CROSBIE, 1977) ; l'effet du génotype étant souvent plus important que celui de l'environnement. L'hérédité de ce caractère permet de pouvoir en tenir compte en cours de sélection. D'ailleurs, des résultats comparables ont été obtenus chez le soja (DORNHOFF, 1970), la fétuque (ASAY, 1974 ; WILHELM, 1978) et le ray-grass (COOPER, 1974).

Des recherches complémentaires sur le maïs ont montré que cette efficacité varie avec l'âge des plantes et la position des feuilles, il est donc nécessaire de comparer les plantes à un même stade physiologique dont les feuilles ont une position identique (VIETOR, 1977).

La mesure aux champs des échanges gazeux (NELSON, 1974) est délicate, on a donc pensé pouvoir la remplacer par le poids des feuilles ou leur épaisseur, mais les relations entre ces critères sont trop imprécises pour qu'ils puissent se substituer à la mesure directe des échanges gazeux (CROSBIE, 1977). On a également suggéré de tenir compte de la teneur en chlorophylle du feuillage (BROUHAM, 1960).

Toutefois, l'efficacité de la photosynthèse est non seulement liée à la présence du pigment chlorophyllien, mais aussi à l'efficacité des enzymes (LOOMIS, 1963 ; BROUGHAM, 1960). Certains auteurs ont également fait intervenir la persistance du feuillage (WATSON, 1958) qui, chez le blé, la pomme de terre ou la betterave à sucre, est en relation avec le rendement en matière sèche.

Selon HANSON (1973), la taille des cellules du mésophylle et la quantité de chlorophylle sont en relation avec l'efficacité photosynthétique du ray-grass ou du maïs, mais les relations avec le rendement sont encore imprécises.

Avec *Trifolium subterraneum*, BLACK (1958) a montré que des semences plus grosses ou renfermant des embryons plus gros donnaient des plantes à plus grande surface foliaire, donc à plus grande capacité photosynthétique.

L'efficacité photosynthétique (BONNER, 1962 ; DORNHOFF, 1970 ; HEICHEL, 1969) et la photorespiration (ZELITCH, 1973) ont été proposées comme critères de sélection. Leur étude doit cependant être approfondie avant d'être utilisée comme critère de sélection précoce par les sélectionneurs.

D. - TEST EN RELATION AVEC L'ACTIVITE MITOCHONDRIALE

1. - Généralités sur les mitochondries

Les mitochondries peuvent être considérées comme des "centrales énergétiques" de la cellule (LAMBERT, 1975). Les mitochondries des cellules végétales présentent trois caractéristiques :

- une plus grande complexité au niveau du cytochrome b,
- une oxydation très importante du NADH,
- une existence quasi-générale d'une seconde voie respiratoire sensible au cyanure.

La structure des mitochondries évolue en fonction du temps, elle est différente dans les cellules méristématiques, dans les feuilles ou dans les organes de réserve.

Pour le sélectionneur, l'intérêt est de prévoir le potentiel de croissance des plantes ou l'aptitude à la combinaison par les propriétés des mitochondries.

2. - L'hétérosis

Le mot hétérosis exprime la supériorité de l'hétérozygote par rapport à l'homozygote. Il se manifeste par une stimulation des caractères morphologiques (taille, nombre de feuilles, nombre de graines) et de caractères physiologiques (germination plus rapide, vitesse de croissance plus élevée, meilleure résistance aux maladies et aux conditions climatiques). Cette supériorité manifestée à tous les niveaux de la plante, montre que l'hétérosis est un phénomène complexe. Plusieurs hypothèses ont été proposées, nous pouvons les classer en deux groupes :

- Dans le premier, seul le génôme est impliqué ; c'est le phénomène de la vigueur hybride, il s'agit des théories "classiques" de dominance et de super-dominance ;

- Le deuxième groupe, de conception plus récente, envisage une interaction entre le génôme et les organites cellulaires, en particulier les mitochondries. Cette nouvelle conception de l'hétérosis est basée sur la bonne relation existant entre l'hétérosis et la respiration aux premiers stades de la germination. On a signalé que le mélange des mitochondries provenant de deux lignées différentes présente les mêmes caractéristiques respiratoires que les mitochondries extraites de leur hybride ; actuellement, on en est réduit à des hypothèses pour expliquer ce phénomène (LAMBERT, 1975).

Des travaux sur le blé, l'orge et le maïs ont mis en évidence une relation entre complémentation mitochondriale et vigueur hybride (HANSON, 1975).

Chez le maïs, toutefois, tous les travaux n'ont pas abouti aux mêmes résultats.

Chez la betterave à sucre, la corrélation entre le poids de racine et la complémentation mitochondriale n'a été significative qu'à un stade particulier de la croissance (DONEY, 1975).

3. - Propriétés de phosphorylation oxydative des mitochondries

La phosphorylation oxydative se mesure par deux rapports : le contrôle respiratoire et l'ADP/O.

Les essais réalisés avec des plantules de luzerne de cinq jours donnent une bonne corrélation entre le rapport ADP/O et le rendement (SCHNEITER, 1974).

Les variations du rapport ADP/O expriment bien les variations de rendement chez la betterave ; DONEY (1975) a montré qu'il y avait une bonne corrélation entre l'efficacité mitochondriale et le taux de croissance ($r > 0,87$ pour le poids frais et sec de la racine) mais seulement à une période très précise du développement.

A un stade jeune, l'efficacité mitochondriale peut apporter des informations intéressantes, mais cette méthode est délicate et peu pratique comme test précoce (LABIB, 1977). De même, la précision de la mesure du rapport ADP/O est insuffisante (DONEY, 1975) pour permettre une bonne comparaison entre hybrides et lignées parentales.

E. - TEST EN RELATION AVEC L'ACTIVITE PEROXYDASIQUE

Les peroxydases et leurs isoenzymes sont impliquées dans de nombreuses réactions biochimiques.

Les hormones végétales exercent un contrôle à la fois quantitatif et qualitatif des isoenzymes peroxydasiques en relation avec le déroulement de divers processus physiologiques.

L'activité peroxydasique dépend du génotype (DUBUCQ, 1973) ; c'est ainsi que divers nanismes génétiques sont dus à une activité peroxydasique anormalement élevée.

Le polymorphisme des isoenzymes peroxydasiques des espèces végétales résulterait de la recombinaison de gènes, de mutations et de la sélection.

Les relations phylogénétiques entre espèces d'un même genre peuvent être retrouvées par la similitude des zymogrammes. Ceci a amené à comparer les peroxydases de différentes variétés de betteraves ; ainsi DUBUCQ et al. (1973) ont trouvé que les variétés qui possèdent plus d'isoenzymes et une plus grande activité peroxydasique ont une teneur en sucre plus forte et un rendement en racine plus pauvre ; par contre, les variétés à faible activité peroxydasique ont une teneur en sucre plus faible et fournissent une récolte plus importante. Le rapport entre l'activité peroxydasique et la quantité en sucre est un phénomène indirect ; par contre (GASPAR et BOUCHET, 1973), il existe un rapport direct entre la grosseur de la racine et l'activité peroxydasique qui freine le développement. Néanmoins, la corrélation négative entre la grosseur de la racine et la teneur en sucre est connue depuis longtemps (DEBOWSKI, 1981).

Dans la culture d'hétérozygotes, la difficulté est le choix des lignées permettant des croisements valables.

La méthode du "Top-Cross" ou de croisements diallèles est longue, il serait donc intéressant de trouver une méthode plus rapide et l'on s'est demandé si les méthodes biochimiques ne seraient pas plus aisées, l'hétérosis étant liée à la présence des protéines "multifonctionnelles" et même à la présence de protéines nouvelles, ce qui expliquerait la meilleure adaptation des hybrides.

Les isoenzymes dépendent beaucoup moins des facteurs de l'environnement que les caractéristiques anatomiques, morphologiques ou même chimiques (DEBOWSKI, 1981).

Il est possible d'appliquer la méthode du partage électrophorétique des isoenzymes, pour le choix des composantes destinées aux croisements. Il existe une importante corrélation entre le polymorphisme des enzymes peroxydasiques et la vigueur de l'hybride.

La possibilité de la différenciation très précise des lignées rapprochées à la base de l'analyse électrophorétique suggère l'application de cette méthodologie dans l'identification des variétés.

Cette méthode de sélection, même précoce est valable pour la richesse de la betterave, ce qui nous intéresse c'est la grosseur de la racine, qui donne un taux de sucre à l'hectare plus élevé.

F. - CONCLUSION

Nous avons regretté que les chercheurs français aient à peu près totalement négligé l'étude de critères à un stade précoce de développement des plantes. Des chercheurs américains se sont intéressés à ce genre de test précoce en se basant sur des critères anatomiques ou physiologiques pour essayer de déterminer s'ils pouvaient y avoir une relation avec le rendement. Mais la plupart des études ne sont pas applicables directement par les sélectionneurs.

Par nos études, nous allons essayer de trouver des critères qui sont facilement manipulables, pour alléger le travail de sélectionneur. Nous allons surtout essayer de trouver des critères anatomiques ou morphologiques qui nécessitent peu d'investissement.

CHAPITRE III

MATERIEL ET METHODES

A. - MATERIEL VEGETAL

Pour nos études nous avons utilisé sept variétés commerciales et quatre hybrides expérimentaux.

Les conditions de germination et l'obtention des plantules ont été définies avec une variété sélectionnée par l'établissement FLORIMOND-DESPREZ et ont été comparées à deux autres de même origine (KABIL, 1982).

Les quatre autres variétés provenaient des établissements DESPREZ, MENNESSON, CERES et d'une autre maison de sélection de semences.

Les rendements et la richesse de ces quatre variétés, indiquées A, B, C et D, étaient connus des obtenteurs. Ils n'ont été révélés qu'après les essais de laboratoire. Pour les quatre hybrides expérimentaux obtenus par DESPREZ (MS_1 , MS_2 , MS_3 , MS_4), leur richesse a été déterminée aux champs par les trois établissements après cultures dans des régions différentes.

B. - METHODES

1. - Germination

Nous avons utilisé des semences de betterave à sucre variété "DESPREZ MONO E", Calibre 3,5 - 4,5 mm monogermes génétiques, triées et traitées par fongicide.

Les "semences" sont placées sur divers substrats, dans des récipients de tailles variées et soumis à des éclairagements et des températures différents.

Lors de travaux antérieurs (KABIL, 1982), nous avons remarqué que les conditions les plus favorables à la germination ne sont pas celles qui sont les meilleures pour le développement des plantules.

La température de germination était de 10-12°C, avec 2 à 3 h par jour à 20-22°C.

Cette basse température permet de synchroniser la germination et d'avoir des plantules au même stade physiologique. Les courts passages à température plus élevée permettent d'avancer les délais de germination.

5 à 7 jours après l'ensemencement nous obtenons un taux de germination qui varie entre 80 et 98 % selon les variétés.

Ces germinations sont effectuées à l'obscurité dans des boîtes en plastique renfermant du papier buvard plissé.

Les semences de betterave sont placées dans les alvéoles du papier buvard à raison de 2 ou 4 par pli, soit 100 à 200 graines par boîte et sont arrosées par 40 ou 50 ml d'eau ou de milieu nutritif. La quantité de milieu tient compte du nombre de semences et de la taille de leurs péricarpes.

Lorsque les radicules ont de 0,5 à 1 cm de longueur les plantules sont repiquées à 1 ou 1,5 cm de profondeur dans de la vermiculite placée dans des pots en plastique de 12 x 9 cm.

L'imbibition de la vermiculite est réalisée avant le repiquage à raison de deux litres de milieu de Heller (Annexe I) pour 8 pots. Ceux-ci sont placés dans des miniserres.

2. - Obtention des plantules

Les miniserres sont transférées à 20°C en lumière continue dans une chambre de culture ventilée.

Les plantules émergent entre 24 et 48 heures après le transfert.

Cette méthode de repiquage permet de prélever les plantules au même stade physiologique ; les plantules démarrent en même temps, ce qui diminue l'effet de compétition et de concurrence entre les plantules d'un même lot. L'émergence est plus homogène qu'avec un semis direct. On élimine les germinations soupçonnées de maladies ou présentant des nécroses.

Lors du repiquage, on évite une présélection des plantules éventuellement plus précoces en attendant un taux de germination supérieur à 70 %.

Ce mode d'obtention des plantules a été choisi parmi d'autres en calculant les coefficients de variation de deux critères : poids des plantules et diamètre de l'hypocotyle au sein d'une même variété.

3. - Mesures

Chaque essai a porté sur 30 plantules pour chaque variété. Nous avons étudié 4 variétés et 4 hybrides expérimentaux. Dans le 1er cas, les prélèvements ont été effectués à 5 moments différents : 14, 21, 28, 35 et 42 jours après émergence. Chaque essai a été répété 6 fois, et chaque fois nous avons évalué :

- le diamètre de l'hypocotyle (en 1/100 de mm) mesuré au palmer,
- le poids frais des plantules (en mg),
- le poids des feuilles + cotylédons,
- le poids de la racine + l'hypocotyle,
- le rapport poids de la racine + hypocotyles/feuilles + cotylédons (= R/F),
- le poids des glomérules, péricarpes et germes.

Puis, sans que cela soit systématique :

- poids des limbes,
- surface des limbes,
- taille des cellules (seulement pour deux variétés).

4. - Analyse statistique

Les analyses statistiques ont été effectuées aux établissements DESPREZ mais les données individuelles n'ayant pas été mémorisées, le traitement statistique complet a été repris aux établissements MENNESSON ; il a permis le regroupement statistique des données pour préciser le nombre de plantes nécessaires par répétition, le nombre minimum de répétitions et en tenant compte de ces éléments quelle date et quel caractère sont les plus favorables et discriminants.

CHAPITRE IV

RESULTATS

1ère PARTIE

LES VARIETES COMMERCIALES

Lors de travaux antérieurs (KABIL, 1982), nous avons précisé les conditions physiologiques favorables à la germination et au bon développement des jeunes plantules. Nous avons aussi suivi l'évolution des plantules (apparition des différents organes, modification des structures histologiques), ce qui nous a amené à définir les différentes conditions dans lesquelles le test doit être effectué.

Nous avons vérifié l'efficacité de ce test en comparant trois variétés connues de betterave. Les résultats du laboratoire coïncident avec ceux trouvés aux champs ; cela étant encourageant, nous avons continué dans la même voie en appliquant ce test à 4 variétés d'origine et de performance différentes, puis à 4 hybrides expérimentaux très proches ayant un parent commun.

A. - DIAMETRE DE L'HYPOCOTYLE

Avant l'émission des vraies feuilles, le diamètre de l'hypocotyle est à ce niveau plus faible qu'à la base. Mais 5 jours après l'émergence le diamètre au niveau des feuilles devient supérieur à celui de la base.

En coupe transversale, l'hypocotyle n'est pas circulaire, mais ovale, d'où la nécessité de mesurer le plus petit et le plus grand diamètre. Les mesures effectuées à la base des feuilles et au sommet du tiers inférieur sont comparables, quel que soit le stade de développement de la jeune plantule ; le coefficient de variation est faible par rapport à l'extrémité inférieure de l'hypocotyle.

Nous avons réalisé sur cette partie, pour les 4 premières variétés, **30 mesures x 4 variétés x 6 répétitions x 5 dates = 3 600 données**. Pour résumer, nous n'indiquerons que les moyennes et les coefficients de variation sur chaque échantillon (30 plantules) sous forme de tableau (tab. 1) :

- mesures en 1/100 de mm,
- coefficients de variation (CV) en %.

Selon leurs moyennes, les quatre variétés se classent dans l'ordre décroissant suivant :

		Date 1 (D ₁) = 14 j		D ₂ = 21 j		D ₃ = 28 j		D ₄ = 35 j		D ₅ = 42 j	
		μ	C.V.	μ	C.V.	μ	C.V.	μ	C.V.	μ	C.V.
R ₁	A	138,6	9	187,6	10	202,9	8	231,1	11	230,9	11
	B	126,9	9	165,9	14	178,3	11	226,0	12	221,2	14
	C	127,8	9	163,2	11	184,2	11	218,9	9	212,0	12
	D	137,6	13	186,9	13	197,6	10	221,5	13	228,6	10
	μ	132,7	4,7	175,9	7,4	190,7	6,0	224,4	5,3	223,2	3,8
R ₂	A	144,3	9	178,7	9	225,8	9	236,8	10	239,8	8
	B	134,3	11	163,1	10	201,4	13	220,4	13	219,3	13
	C	144,0	11	162,5	9	209,9	12	231,6	7	227,2	11
	D	140,2	12	171,3	11	215,2	10	235,2	11	236,1	12
	μ	140,7	3,3	168,9	4,6	213,1	4,8	231,0	3,2	230,6	4,0
R ₃	A	158,9	10	202,8	11	225,8	11	237,9	10	240,9	11
	B	148,4	8	175,3	11	194,2	15	226,9	9	226,3	14
	C	158,3	7	184,9	9	199,2	8	229,9	11	232,1	10
	D	159,0	9	190,3	10	214,3	10	239,3	10	240,2	14
	μ	156,1	3,3	188,3	6,1	208,4	6,9	233,5	2,6	234,88	3,0
R ₄	A	155,8	11	170,6	11	221,0	9	237,3	12	258,4	8
	B	136,4	14	158,2	9	198,1	12	203,4	16	215,0	10
	C	135,7	10	163,0	12	199,0	13	212,1	12	204,8	12
	D	139,7	10	167,0	10	217,0	11	230,5	14	236,9	12
	μ	141,9	6,6	164,7	3,2	208,8	5,7	220,8	7,1	228,8	10,4
R ₅	A	131,3	10	198,7	11	217,5	5	216,1	7	225,0	13
	B	120,3	11	177,0	12	195,4	13	195,1	9	199,7	16
	C	123,1	10	184,9	11	206,6	10	191,7	10	213,4	14
	D	134,0	14	195,5	9	221,3	11	212,6	8	227,0	10
	μ	127,2	5,1	189,0	5,2	210,2	5,6	203,9	6	216,3	5,8
R ₆	A	149,8	11	180,6	8	214,1	10	209,5	9	234,2	11
	B	142,3	12	158,8	10	195,4	9	189,3	13	215,8	15
	C	140,3	10	162,7	10	200,4	11	194,4	15	228,5	11
	D	145,2	10	171,0	10	215,1	8	199,8	12	223,2	8
	μ	144,4	2,8	168,3	5,8	206,2	4,8	198,2	4,3	225,4	3,5
μ	A	146,5	7,2	186,5	6,7	217,8	3,9	228,1	5,4	238,2	5,4
	B	134,8	7,6	166,4	4,9	193,8	4,1	210,2	7,8	216,2	4,2
	C	138,2	9,0	170,2	6,7	199,9	4,5	213,1	8,0	219,7	5,0
	D	142,6	6,1	180,3	6,7	213,4	3,8	223,15	6,7	232,0	2,8

Tableau 1 : Diamètre de l'hypocotyle à différentes dates après émergence de 4 variétés de Betterave à sucre.

μ : moyenne

C.V. Coefficient de Variation réalisé sur différentes plantules

R : Répétitions

A, B, C, D : Variétés

-	Variété	A
-	"	D
-	"	C
-	"	B

Il est remarquable que ce classement se maintient quel que soit l'âge des plantules (fig. 1).

A l'intérieur de chaque répétition, les coefficients de variations (CV) pour une variété donnée sont de 8 à 10 % ; cependant dans quelques cas ils atteignent 10 à 14 %. Au moment de la première mesure, la variété B présente un CV élevé dans quatre répétitions sur six, ce qui peut s'expliquer à la fois par la variabilité génétique et par la taille des semences qui dans le lot B sont très hétérogènes.

A 21 jours, 50 % des CV de toutes les variétés dépassent 10 ; pour les variétés B et C, cela est dû à l'hétérogénéité du calibrage des semences ; pour les variétés A et D, ces CV élevés résultent de l'état sanitaire des plantules contaminées par *Phoma betae*, *Alternaria* sp. et des Bactéries.

Ces germes pathogènes provoquent la fonte des semis (la plantule disparaît complètement au stade très jeune, la première semaine du développement) ou le brunissement de la racine et son amincissement, ce qui empêche une bonne alimentation de la plantule.

Ces parasites peuvent provoquer des pertes de 30 à 40 % de l'effectif total.

Le traitement au T.M.T.D. (Annexe II) a résolu en partie le problème.

28 jours après émergence, seules les deux variétés B et C ont une fréquence de CV supérieure à 10 %, plus élevée que les deux autres, la taille des semences en étant encore la cause.

35 et 42 jours après l'émergence, les différentes variétés présentent une fréquence de CV supérieure à 10 ; aux raisons précédentes s'ajoute la fissuration de l'hypocotyle ; après 1 mois, le parenchyme cortical de l'hypocotyle éclate, ce qui est cause d'une variation supplémentaire au cours des mesures.

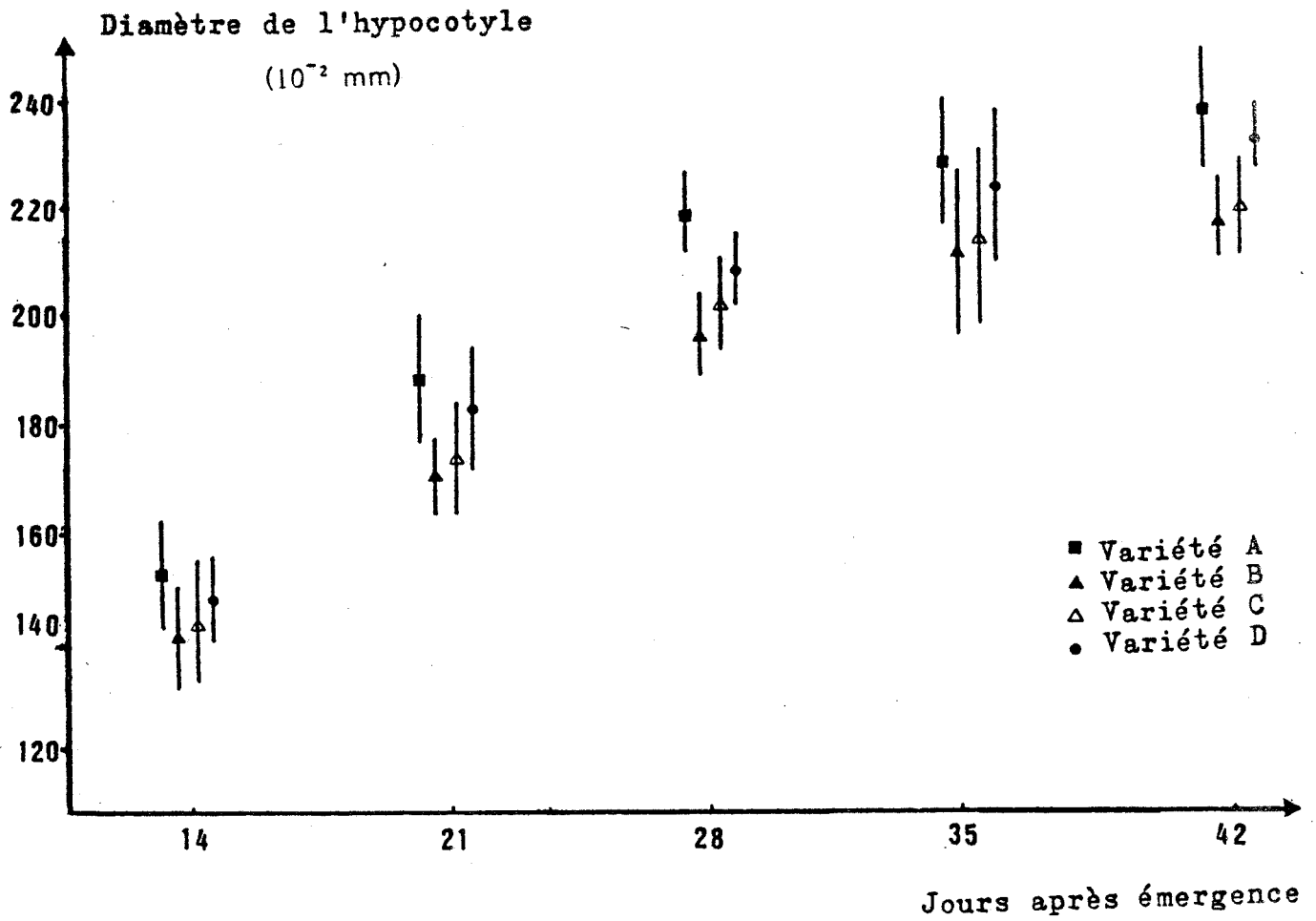


Figure 1 : Evolution du diamètre de l'hypocotyle en fonction de l'âge des plantules de betterave à sucre, variétés A, B, C et D.

1. - Analyse de la variance

1.1 - Conditions

L'analyse de la variance a pour but de comparer les moyennes de plusieurs populations supposées normales et de même variance, à partir d'échantillons aléatoires, simples et indépendants les uns des autres. Si ces conditions sont suffisantes elles ne sont pas nécessaires.

Chaque donnée doit être indépendante en probabilité, la distribution peut être considérée comme normale. Cela est vérifié puisque 95 % des observations sont situées entre $\bar{x} - 1,96 \sigma$ et $\bar{x} + 1,96 \sigma$.

La distribution normale est vérifiée par l'ajustement à une distribution théorique.

L'homogénéité des variances ou homoscedasticité est vérifiée par le test de BARTLETT ou le test de HARTLEY (DAGNELIE, 1969).

1.2 - Test d'ajustement à la loi normale

Le tableau 2 nous montre que le χ^2 observé sur un échantillon de 90 plantules de la variété A est inférieur à χ^2 tabulé.

Ces résultats sont exposés dans l'histogramme 1.

Nous concluons que la population présente une distribution normale (histogramme 1).

A cause de la longueur des calculs, nous présentons des histogrammes pour la distribution de la variable "diamètre de l'hypocotyle", à 28 jours, des variétés A (histogramme 2), B (histogramme 3), C (histogramme 4) et D (histogramme 5).

On voit que ces histogrammes ressemblent à celui qui a été testé (histogramme 1) et ont une allure Gaussienne.

classes	ni	u	$\phi(u)$	Pi	N Pi	$\frac{ni^2}{nPi}$
170-179 179,5	5	- 1,68	0,9535	0,0465	4,185	5,9737
180-189 189,5	3	- 1,25	0,8944	0,0591	5,319	1,692
190-199 199,5	11	- 0,81	0,7910	0,1034	9,306	13,002
200-209 209,5	15	- 0,38	0,6480	0,143	12,87	17,482
210-219 219,5	19	0,059	0,5239	0,1719	15,471	23,33
220-229 229,5	8	0,49	0,6879	0,164	14,76	4,336
230-231 239,5	10	0,93	0,8238	0,1359	12,231	8,1759
240-249 249,5	11	1,37	0,91466	0,09086	8,1774	14,7968
250-259 259,5	4	1,80	0,96407	0,04941	4,4469	8,3326
260-269 269,5	3	2,24	0,98745	0,02338	2,1042	
270-279	1			0,01255	1,1295	
TOTAUX	90	-	-	1	90	97,126



Tableau 2 : Distribution du diamètre des hypocotyles de
90 plantules 28 jours après émergence, variété
A

N_i : fréquence

u : variable réduite = $\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$

x_i : valeur moyenne entre classes

$\bar{x}$: moyenne de l'échantillon
= 218,14

σ : variance = 22,93

$\Phi(u)$: valeur tabulée de la fonction de répartition,
de la table de la distribution normale
réduite

$$\phi(u) = \int_{-\infty}^u \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2}$$

P_i : est la probabilité de prélever un élément de la
population appartenant à la classe i

$$\sum p_i = 1$$

$n P_i$: fréquence théorique

Il faut que $n P_i$ soit ≥ 5 la raison pour laquelle
les 3 dernières classes ont été groupées, certains
auteurs ont signalé qu'on peut tolérer la présence
d'une classe de fréquence théorique inférieure à 5,
mais au moins égale à 1, à chaque extrémité de la
distribution.

La formule de calcul de χ^2 est :

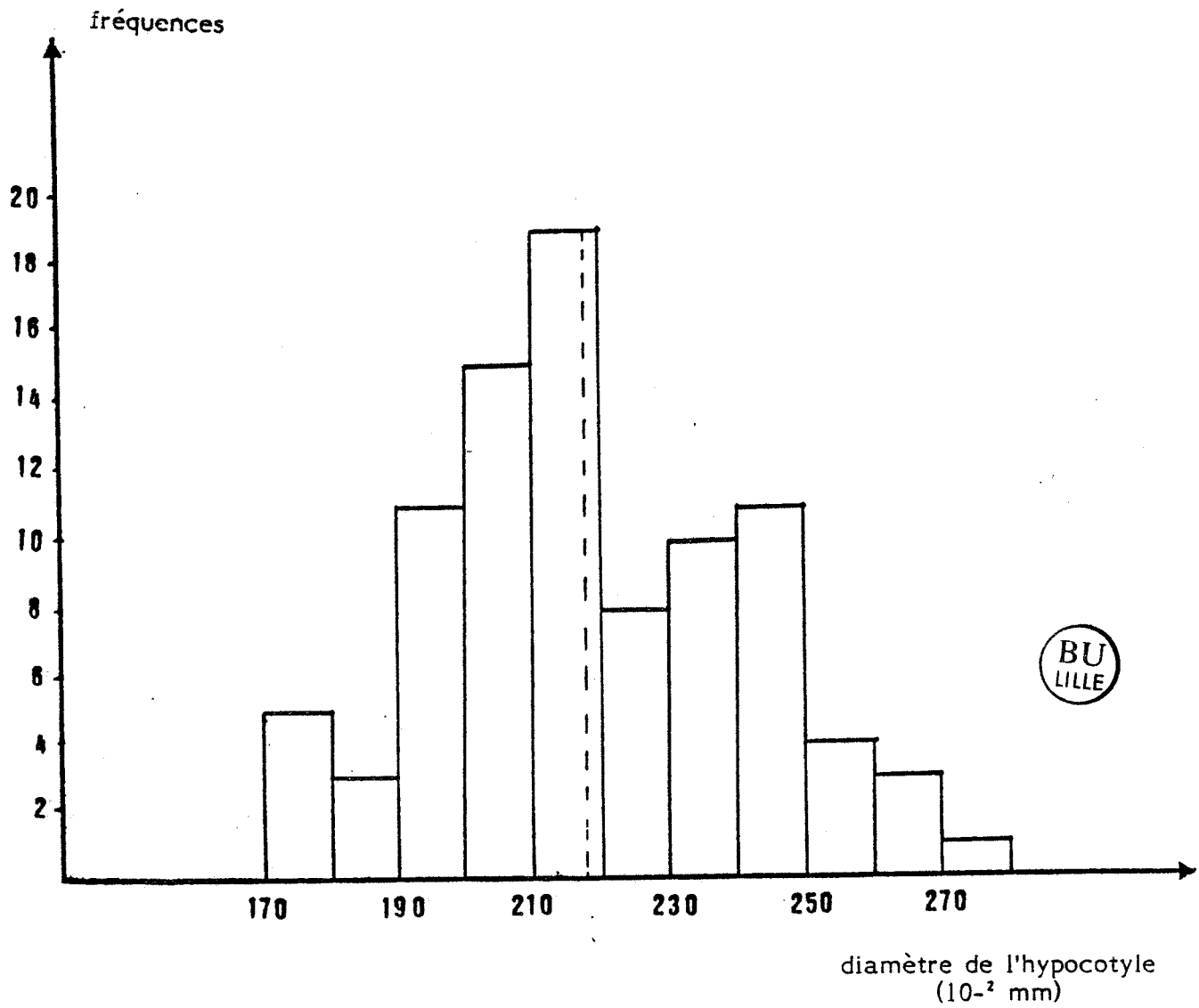
$$\chi_{Obs}^2 = \sum_{i=1}^p \frac{(n_i - n P_i)^2}{n P_i} = \sum_{i=1}^p \frac{n_i^2}{n P_i} - n$$

$$\sum_{i=1}^9 \frac{n_i^2}{n P_i} = \frac{25}{4,185} + \text{-----} + \frac{64}{7,6806} = 97,126$$

$$\chi_{ob}^2 = 97,126 - 90 = 7,126$$

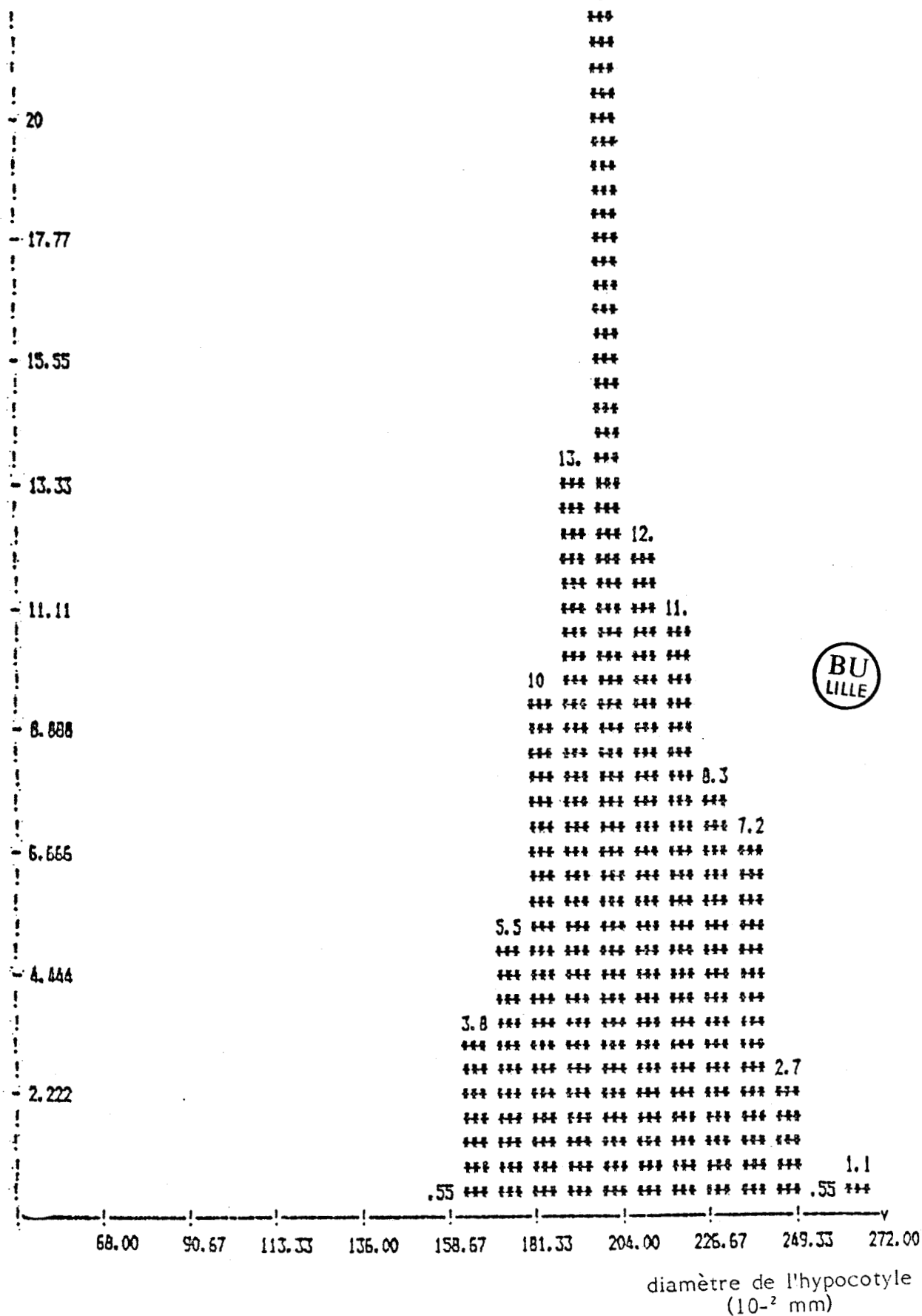
$$\chi_{0,95}^2 \text{ à 6 degrés de libertés} = 12,6$$

$$\chi_{obs}^2 < \chi_{0,95}^2$$



Histogramme 1 : Distribution du diamètre des hypocotyles, variété A, 90 plantules, 28 jours après émergence.

$$\bar{x} = 218$$



Histogramme 2 : Diamètre de l'hypocotyle 28 jours après émergence, 180 plantules, variété A, $\bar{x} = 217,9$.

fréquences (%)

26

12.44

10.28

9.323

7.777

6.222

4.555

3.111

1.555

0

13. 15.

13. 15.

13. 15.

11. 11.

10

7.2

5.5

4.4

2.2

1.5

1.1

.55

.55

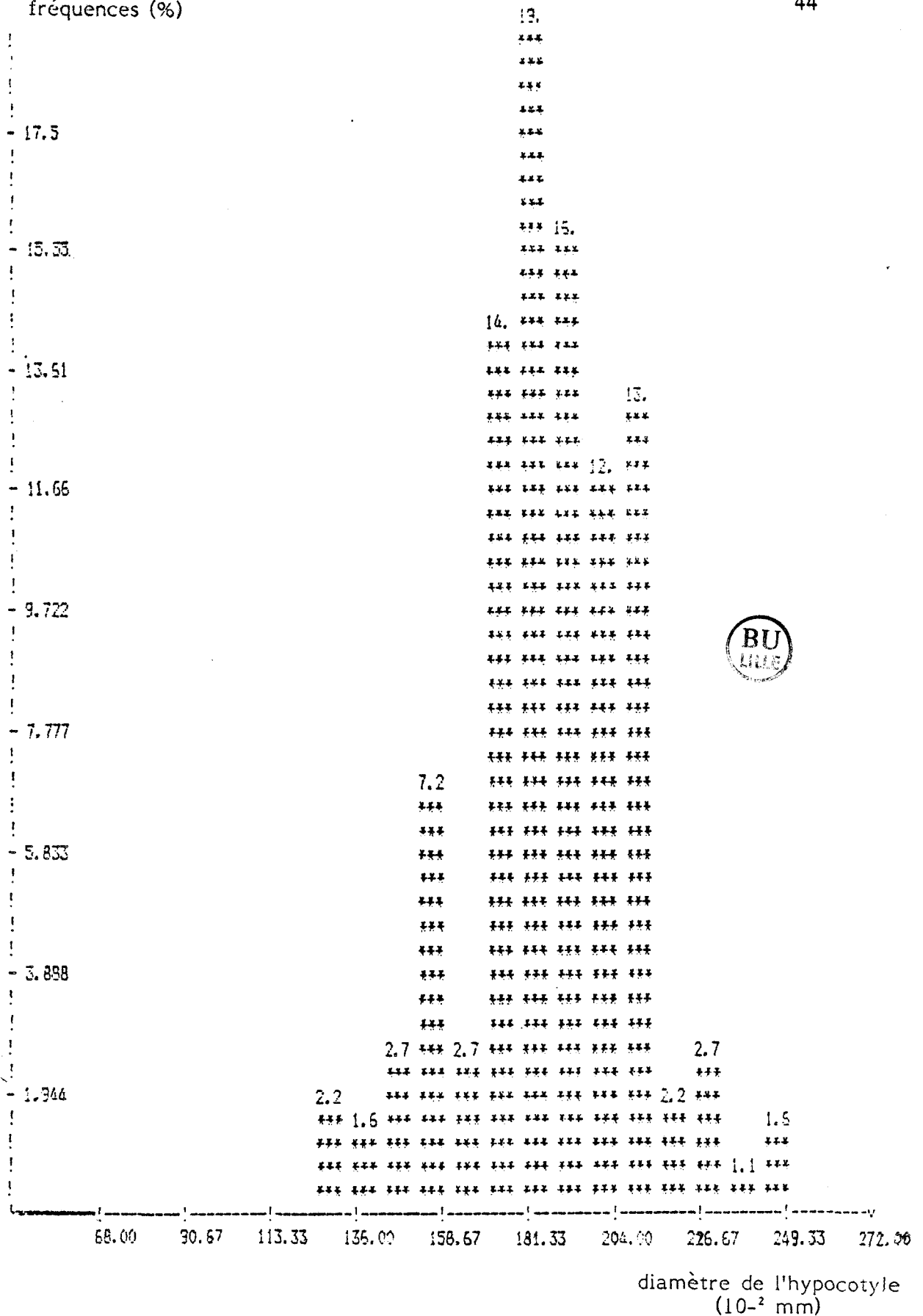
diamètre de l'hypocotyle
(10⁻² mm)

68.00 90.57 113.33 135.00 156.57 181.33 204.00 226.57 249.33 272.00

Histogramme 3 :

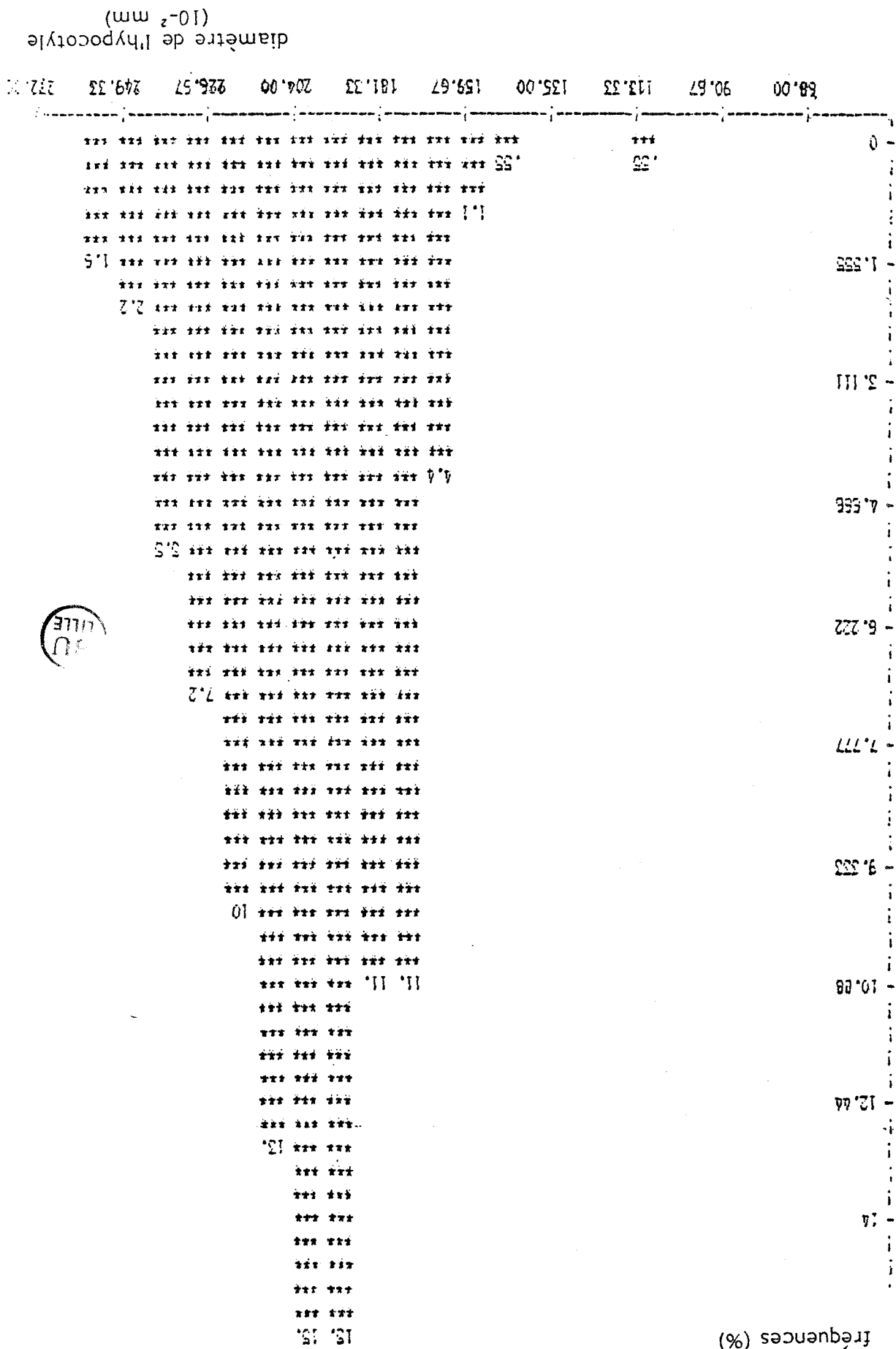
Diamètre de l'hypocotyle 28 jours après émergence, 180 plantules,
variété B, $\bar{x} = 193,8$.





Histogramme 4 : Diamètre de l'hypocotyle 28 jours après émergence, 180 plantules, variété C, $\bar{x} = 199,9$.

Histogramme 5 : Diamètre de l'hypocotyle 28 jours après émergence, 180 plantules, variété D, $\bar{x} = 213,4$.



1.3 - Test de BARTLETT

La formule du test de BARTLETT est la suivante :

$$\chi^2_{\text{obs}} = \frac{1}{C} \left[(N - K) \log_e S^2 - \sum_{i=1}^k (n_i - 1) \log_e S_i^2 \right]$$

$$\text{avec } C = 1 + \frac{1}{3(K-1)} \left[\sum_{i=1}^k \frac{1}{n_i - 1} - \frac{1}{N - K} \right]$$

$S_1^2 \dots S_k^2, K$ = estimations de variance calculées à partir de k échantillons, simples et aléatoires

S^2 = estimation de la variance commune des k échantillons

$N = \sum n_i = 24$

$K = 4$

Sans entrer dans le détail des calculs, nous exposons simplement les résultats obtenus avec les 4 variétés à 5 périodes différentes du développement des plantules :

Jours	14	21	28	35	42
χ^2_{ob}	0,15	0,25	0,009	0,15	0,58

$$\chi^2_{0,95} = 7,81$$

Pour toutes les dates d'analyse, $\chi^2_{\text{obs}} < \chi^2_{0,95}$, on ne peut donc pas rejeter l'hypothèse d'égalité des variances au seuil α de 5 %.

Les conditions d'application d'analyse de variance sont donc remplies.

1.4 - Résultats d'analyse de variance

Les résultats de l'analyse de variance se trouvent dans le tableau 3.

dates en jours	Source de variation	variance	F. calculé et degré de signification	C.V.	p.p.d.s.		classifica des varié "DUNCAN
					0,05	0,01	
14	blocs	400,11	25,13 * *	2,84	4,91	6,79	A a
	variétés	156,09	9,80 * *				D a b
	erreur	15,92					C b c B c
21	blocs	447,96	30,34 * *	2,18	4,73	6,54	A a
	variétés	509,13	34,50 * *				D b
	erreur	14,77					C c B c
28	blocs	250,66	22,46 * *	1,62	4,11	5,68	A a
	variétés	762,91	68,37 * *				D b
	erreur	11,16					C c B d
35	blocs	836,11	24,83 * *	2,65	7,14	9,87	A a
	variétés	424,71	12,62 * *				D a
	erreur	33,67					C b B b
42	blocs	167,11	2,35 NS	3,72	10,38	14,35	A a
	variétés	639,16	8,99 * *				D a
	erreur	71,12					C b B b

Tableau 3 : Analyse de la variance, diamètre de l'hypocotyle des variétés A, B, C, et D de la Betterave à sucre à différentes dates après émergence.

Les degrés de liberté

- blocs : 5
- variétés : 3
- erreur : 15

- F. théorique 0,05 0,01
- blocs 2,90 4,56
- variétés 3,29 5,42

NS : F. non significatif
 * : F. significatif à 0,05
 ** : F. significatif à 0,01

- Les variétés suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes

1.5 - Interprétation des résultats

La comparaison des moyennes se fait par celle des variances ; cela revient à tester si la variance "inter" est statistiquement plus élevée que la variance "intra", le rapport de deux variances suit une loi de F (FISHER) :

$$F_{obs} = \frac{\text{variance inter}}{\text{variance intra}}$$

Si ce F observé est inférieur au F lu dans la table, au seuil α choisi, on accepte l'hypothèse nulle, d'égalité des moyennes, mais dans le cas contraire on ne peut pas l'accepter.

Les résultats de l'analyse de variance (tab. 3) montrent qu'il y a effet "blocs", cela veut dire que la variation est importante selon les répétitions ; on peut expliquer ce phénomène par le fait que les conditions d'expérimentation ne sont pas les mêmes dans les différentes répétitions. Ce phénomène disparaîtra en homogénéisant les conditions externes, ce que nous verrons avec les 4 hybrides expérimentaux, pour lesquels les essais ont été réalisés dans des chambres climatiques parfaitement contrôlées.

L'effet "variété" est hautement significatif à 0,05 et 0,01 quelle que soit la date d'analyse. On remarque aussi que les F calculés des effets "blocs" sont supérieurs à ceux des effets variétés à 14 et 35 jours ; par contre 21 et 28 jours après l'émergence, les F calculés des effets "variétés" deviennent supérieurs à ceux de l'effet "blocs". Ce qui permet de tirer la première conclusion : ce sont les dates 21 et 28 jours après émergence qui sont les plus intéressantes. Ceci est d'ailleurs confirmé par les CV à ces deux dates qui sont inférieurs aux autres. On aboutit finalement à une meilleure classification et discrimination des variétés à ces deux dates, par l'application du test de DUNCAN.

- TEST DE DUNCAN -

Notion de plus petite différence significative (p.p.d.s.)

Quand on rejette l'hypothèse de l'égalité d'un ensemble de traitements, il est logique d'essayer de déterminer quelles sont les moyennes qui diffèrent en les comparant deux à deux. Mais lorsqu'on a V moyennes, cela fait :

$$C_v^2 = \frac{V(V-1)}{2} \text{ comparaisons}$$

$$\Delta = \text{p.p.d.s} = t \sqrt{\frac{2V_e}{n}}$$

Cependant cette méthode est peu correcte : on sait qu'avec V traitements qui possèdent une certaine somme des carrés des écarts (S.C.E.), il n'est possible d'effectuer que $(V-1)$ comparaisons. Certains auteurs affirment que, en multipliant le nombre des traitements à comparer, le seuil α augmente ; ainsi il atteint 0,40 quand on compare 5 traitements et 0,86 quand on compare 20 traitements ! Cela signifie qu'avec un nombre élevé de traitements on est quasi certain de conclure à des différences qui n'existent pas.

Ces raisons font que l'emploi de la p.p.d.s. est fort discuté et tend à être abandonné (PHILIPPEAU, 1977). Nous allons donc utiliser le test de DUNCAN ou "New multiple range test" dont la formule est la suivante :

$$\Delta_{\text{DUN}} = \sqrt{\frac{Z^p}{1-\alpha}} S_R \sqrt{\frac{1}{n}}$$

v = d.d.l. de la variance résiduelle S_R^2

P = nombre de moyennes

n = nombre d'observations intervenant dans le calcul des moyennes

α = seuil de signification

Z = valeur tabulée

La classification des 4 variétés se maintient quelle que soit la date, par ordre décroissant suivant (tab. 3) : A, D, C et B.

A 14 jours, il n'y a pas de différence significative entre les variétés A et D, D et C, C et B.

A 21 jours, il y a une différence sauf entre les variétés C et B.

A 28 jours, les quatre variétés sont distinctes.

A 35 et 42 jours, la différence n'est pas significative entre les variétés A et D ni entre les variétés C et B.

2. - Relation entre le diamètre de l'hypocotyle et les rendements au champs des quatre variétés

Après avoir trouvé que ce caractère permet de différencier les variétés entre elles, voyons maintenant à quelle qualité de la plante âgée il est lié.

Nous avons les résultats d'un essai "lattice balancé carré" 5 x 5-4 répétitions réalisé par la Société FLORIMOND-DESPREZ et dans lequel figurent les 4 variétés qui nous concernent. Les parcelles élémentaires sont représentées par 3 lignes de 10 m à 0,45 entre-lignes soit 13,50 m².

Variétés	Rendement T/ha	Teneur en sucre %	Sucre total q/ha
A	61,78	17,32	107,0
B	53,88	18,73	100,93
C	59,93	17,79	106,65
D	63,93	16,98	108,57
p.p.d.s. 5 %	2,59	-	4,88
CV	2,45	-	2,75

3. - Corrélation entre diamètre de l'hypocotyle à différentes dates et rendement en racine, teneur en sucre, sucre total à l'hectare

Date en jours	Rendement	Teneur en sucre	Sucre total à l'hectare
14	0,816	- 0,847	0,759
21	0,797	- 0,836	0,723
28	0,859	- 0,90	0,796
35	0,795	- 0,837	0,716

Tableau 4 : Coefficients de corrélation entre diamètre de l'hypocotyle et le rendement au champ.

Quelle que soit la date de l'analyse, le diamètre de la jeune plantule des quatre variétés de betterave à sucre est corrélé positivement avec le rendement en racine (rendement pondéral), le sucre total à l'hectare, et négativement avec la teneur en sucre.

4. - Conclusion

L'intérêt de ce caractère, comme critère de sélection précoce, se reflète par ses CV faibles, et ses F calculés hautement significatifs. Les deux dates les plus intéressantes pour ce critère et qui permettent de distinguer les variétés sont : 21 et 28 jours après émergence.

Ce critère est corrélé positivement avec le rendement en poids, donc par ce test on peut détecter les variétés qui donnent plus de sucre à l'hectare.

B. - POIDS DES PLANTULES

1. - Introduction

Le poids des plantules est exprimé en milligramme, pesé à l'aide d'une balance précise au 1/1000e.

Les racines sont extraites de la vermiculite avec un grand soin, car les racines secondaires sont très fragiles, puis elles sont lavées pour éliminer la vermiculite adhérente.

Les plantules sont essuyées à l'aide de papier buvard puis pesées dans des boîtes en plastique fermées hermétiquement pour éviter l'évaporation.

Le poids des plantules augmente avec le temps, la courbe du poids frais prend une allure exponentielle dès que les premières feuilles vraies commencent à s'étaler.

Nous rappelons que les deux premières vraies feuilles apparaissent 6 ou 7 jours après émergence, la 3ème apparaît le 16e jour, la 4ème après le 20e jour, la 5ème le 30e jour et la 6ème après 36 jours.

2. - Résultats

Nous avons réalisé pour ce caractère : 30 mesures x 4 variétés x 6 répétitions x 5 dates = 3 600 mesures.

Nous avons résumé, sous forme de tableau, les moyennes de 30 plantules par variété et par répétition à différentes dates et leurs coefficients de variations (tab. 5).

Les plantules ayant un poids supérieur au départ gardent cet avantage durant leur croissance (tab. 5, fig. 2).

Le tableau 5 et la figure 2 nous montrent que c'est la variété A qui a les plantules dont le poids est le plus élevé. Vient en deuxième position la variété D, puis la variété C, et en dernière position la variété B. Cette propriété se maintient quelle que soit la date d'analyse.

d.	14		21		28		35		42		
	μ	C.V.	μ	C.V.	μ	C.V.	μ	C.V.	μ	C.V.	
R_1	A	258,8	25	674,8	26	810,7	20	1516,8	24	2019,1	28
	B	223,9	23	559,2	37	639,2	30	1275,4	26	1282,0	24
	C	224,9	27	541,3	29	747,1	30	1246,6	30	1524,0	29
	D	256,1	32	716,1	25	774,3	38	1386,0	32	1384,5	27
	μ	240,9	7,9	622,9	13,8	742,8	9,9	1356,2	9,1	1552,4	21
R_2	A	274,1	24	619,9	25	1374,7	22	1502,3	33	1424,5	30
	B	217,3	23	506,6	31	1011,4	32	1275,0	33	1331,5	24
	C	292,6	28	569,9	24	1297,0	29	1271,7	23	1321,2	42
	D	269,6	24	568,1	22	1242,3	26	1415,3	30	1347,7	33
	μ	268,4	8,6	566,1	8,2	1231,3	12,7	1366,1	8,3	1356,2	3,4
R_3	A	394,5	23	936,4	31	1221,3	29	1787,6	28	1775,5	16
	B	377,0	26	610,6	32	952,2	36	1568,6	26	1355,2	34
	C	451,3	20	736,6	28	1072,6	23	1573,6	23	1517,4	36
	D	450,2	26	879,9	30	1190,2	23	1655,5	31	1784,0	28
	μ	418,2	9,1	790,9	18,5	1109,1	11,1	1646,3	6,2	1608,0	13
R_4	A	313,4	26	570,6	27	1294,4	29	1529,0	28	1440,2	21
	B	287,3	39	478,1	28	858,9	33	1072,4	38	1659,0	25
	C	253,9	31	554,5	35	984,8	33	1248,5	41	1472,8	31
	D	282,3	27	537,6	37	1245,0	26	1518,5	25	1537,9	35
	μ	284,2	8,6	535,2	7,5	1095,8	19,0	1342,1	16,5	1527,5	6,1
R_5	A	244,7	27	758,7	22	988,0	15	1156,4	20	1419,9	19
	B	194,7	30	617,7	29	824,4	35	920,1	26	1097,8	39
	C	209,1	34	744,9	29	973,0	25	932,6	32	1188,1	42
	D	237,9	38	673,5	25	1044,3	28	1125,9	21	1407,8	27
	μ	221,6	10,6	698,7	9,4	957,4	9,8	1033,7	12,1	1278,4	12,6
R_6	A	301,9	27	700,9	25	1011,8	31	1150,2	20	1761,3	17
	B	249,1	33	597,2	28	877,6	31	1022,1	23	1275,9	34
	C	286,8	28	627,2	27	988,9	23	1046,8	35	1524,3	36
	D	277,9	27	656,7	25	1098,8	29	1088,0	20	1651,1	28
	μ	278,9	8,0	645,5	6,8	994,3	9,1	1076,8	5,2	1553,1	13,4
μ_{et} C.V.	A	297,9	18,1	710,2	18,1	1116,8	19,22	1440,4	17,0	1640,0	15,2
	B	261,5	24,6	561,6	10,3	860,6	14,9	1188,9	19,6	1333,6	13,7
	C	286,4	30,4	629,1	14,5	1010,5	17,6	1220,0	18,0	1424,6	9,8
	D	295,7	26,2	672,0	18,1	1099,1	16,2	1364,9	16,0	1518,8	11,5

Tableau 5 : Poids des plantules (mg) de 4 variétés de Betterave à sucre à différentes dates.

d : dates en jours

μ : moyenne de 30 plantules

C.V.: Coefficient de Variation

R₁, R₂, R₃, R₄, R₅, R₆ : Répétitions.

dernière colonne: moyenne des 6 répétitions.

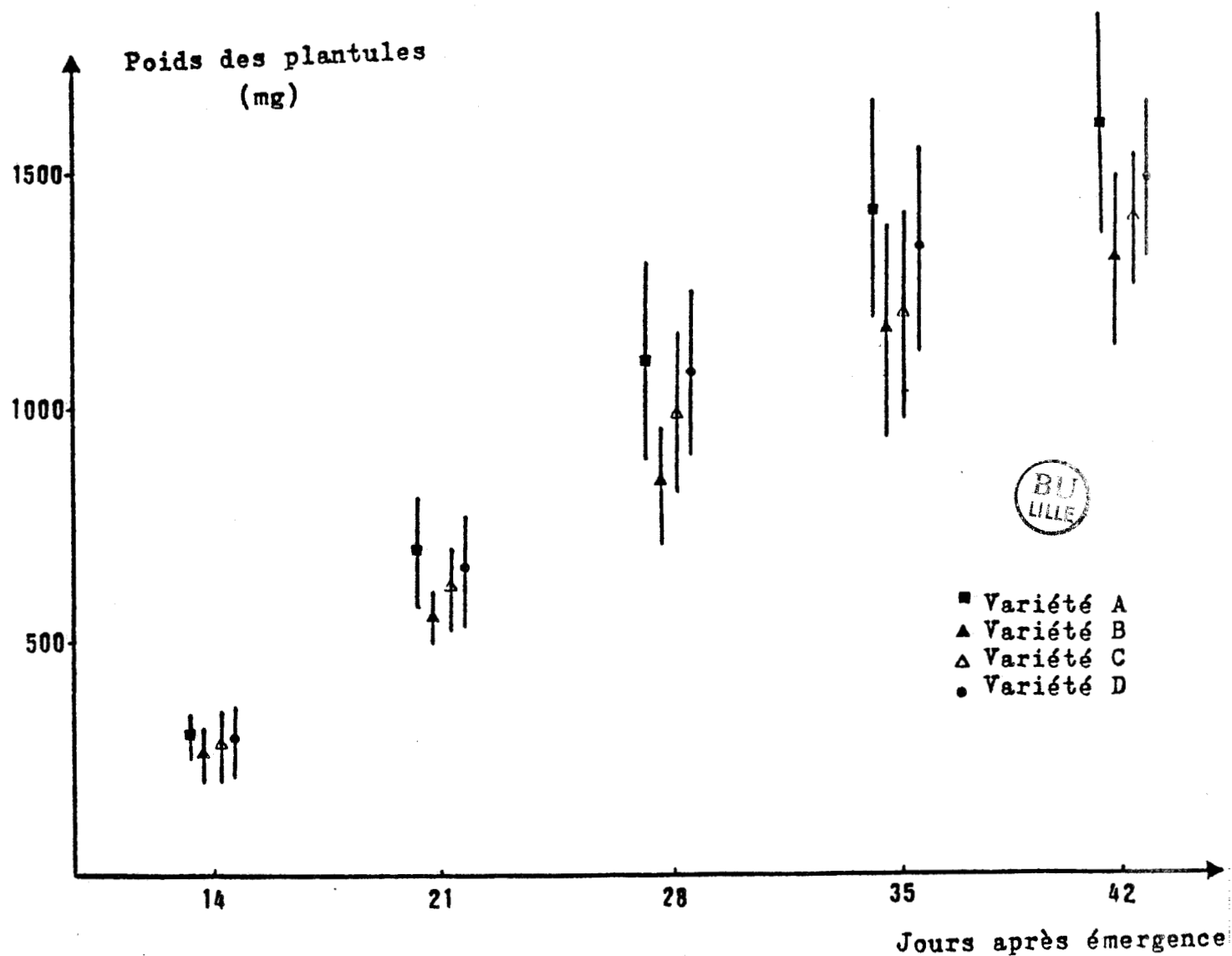


Figure 2 : Evolution du poids des plantules de betterave à sucre en fonction du temps.

3. - Analyses statistiques

3.1 - Variations intravariétales

Le tableau 5 montre que les coefficients de variations (CV) à l'intérieur des échantillons de chaque variété sont plus élevés que ceux du diamètre de l'hypocotyle. Ce phénomène n'est pas nouveau, car des chercheurs américains qui ont déjà travaillé sur la jeune plantule de la betterave à sucre ont trouvé des CV de l'ordre de 23 à 27 %.

Vu l'allogamie et d'autres caractéristiques génotypiques de cette espèce, nous considérons comme normaux les CV compris entre 20 et 30 %. Soulignons à quoi correspond un CV élevé :

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100$$

avec $\sigma = \sqrt{\frac{SCE}{n-1}}$

σ	=	écart type
$\bar{x}$	=	moyenne de l'échantillon
SCE	=	somme des carrés des écarts
n	=	effectif de l'échantillon

Les CV sont donc élevés quand on a des valeurs très éloignées de la moyenne et comme on prend les carrés de ces écarts, la somme augmente, par conséquent les CV augmentent. On appelle ces valeurs anormales des valeurs aberrantes.

3.2 - Causes d'apparition des valeurs aberrantes

Il y a plusieurs causes :

Causes génotypiques :

- reproduction allogame
- taille des semences

Causes phénotypiques :

- la composante majeure du poids des plantules est celui des feuilles, qui représente à peu près 80 % du poids total de la plantule.

Exemple : pour la variété A répétition 1

A 14 jours les cotylédons et les feuilles vraies représentent 70 % du poids total, à 21 jours 76 %, à 28 jours 76 %, à 35 jours 84 %, à 42 jours 85 %, donc toute altération des feuilles se reflète sur le poids des plantules.

Un phénomène physiologique qui est la dégénérescence des cotylédons se manifeste après un certain âge de la plantule. Après la 3ème semaine du développement, les cotylédons commencent à se dessécher ; ce phénomène n'est pas général d'où une variabilité du poids des plantules. Des parasites tels que **Phoma**, **Alternaria** et bactéries, qui provoquent la fonte du semis ou l'altération de la racine ont pour conséquence la modification de la densité du semis des plantules. Par exemple, si dans un pot contenant au départ 12 plantules il n'en reste que 6 ou 7 saines, elles vont se développer plus que les autres en raison d'une moindre concurrence.

Un autre phénomène explique ces CV parfois anormalement élevés. Les expériences ont été menées aux serres de l'Institut Agricole, soumises à l'éclairement solaire le jour et la lumière artificielle la nuit ; certains essais ont coïncidé avec la période du vol de certains papillons, leurs oeufs ont donné des chenilles (Annexe III) qui rongent les feuilles ce qui diminue la surface foliaire donc le poids.

On peut citer aussi une autre source de variation qu'on peut maîtriser et minimiser, qui est la déshydratation des plantules lorsqu'elles sont sorties de la miniserre.

Tous ces éléments sont à surveiller étroitement par le sélectionneur pour la réussite des tests précoces.

3.3 - Analyse de la variance

Toutes les remarques faites à propos de la variation intravariétale sont valables pour la variation intervariétale.

Les variances du poids des plantules sont supérieures à celles du diamètre de l'hypocotyle (tab. 6).

Les coefficients de variation sont aussi plus élevés que ceux du diamètre de l'hypocotyle.

En dépit de sa facilité technique, ce caractère est d'une précision inférieure à celle du diamètre de l'hypocotyle.

Pour les 4 premières dates, il y a effet bloc ou effet répétition, cela veut dire que les répétitions sont différentes les unes des autres. C'est un mauvais signe pour la précision du test.

L'effet variété est toujours significatif quelle que soit la date.

Le classement des variétés selon le "test de DUNCAN" reste toujours A, D, C et B quelle que soit la date mais avec des degrés de discrimination différents. 14 jours après émergence, il n'y a pas de différence significative entre les variétés A, D et C de même que entre C et B. A 21 jours les variétés A et D ne sont pas distinctes, ni D et C, seule la variété B se détache des autres variétés. A 28 jours les variétés A et D ne sont pas distinctes mais les variétés C et B diffèrent. A 35 jours, A ne se distingue pas de D, de même que C et B. A 42 jours, même classement qu'à 35 jours sauf D et C qui ne se distinguent pas.

Pour toutes les dates, la variété A ne se distingue pas de la variété D ; constatons que ces deux variétés sont très proches l'une de l'autre pour le rendement pondéral et le rendement en sucre total à l'hectare.

Les deux dates 21 et 28 jours coïncident avec le classement réel des 4 variétés.

dates en jours	Source de variation	variance	F. calculé et degré de signification	C.V.	p.p.d.s.		Classification des variétés "DUNCAN"
					0,05	0,01	
14	blocs	19223,91	41,10 * *	7,58	26,61	36,80	A a
	variétés	1663,09	3,56 *				D a
	erreur	467,75					C a b B b
21	blocs	34329,70	11,79 * *	8,39	66,39	91,82	A a
	variétés	24366,93	8,37 * *				D a b
	erreur	2912,06					C b B c
28	blocs	111783,40	24,10 * *	6,66	83,78	115,87	A a
	variétés	82234,89	17,73 * *				D a
	erreur	4637,50					C b B c
35	blocs	199904,91	47,77 * *	4,96	79,59	110,07	A a
	variétés	85212,50	20,36 * *				D a
	erreur	4184,88					C b B b
42	blocs	68157,32	2,66 NS	10,82	196,85	272,22	A a
	variétés	103281,62	4,03 *				D a b
	erreur	25597,95					C b B b



Tableau 6 : Résultats de l'analyse de la variance variable
Poids des plantules.

Les degrés de liberté

- blocs : 5
- variétés: 3
- erreur : 15

- F. théorique. 0,05 0,01 NS : F. non significatif
- blocs 2,90 4,56 * : F. significatif à 0,05
- variétés 3,20 5,42 ** : F. significatif à 0,01

Les variétés suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes.

4. - Relation entre le poids des plantules et le rendement aux champs des 4 variétés

Comme pour le diamètre de l'hypocotyle, nous ne disposons que d'une seule valeur des rendements aux champs pour les 4 variétés.

Date en jours	Rendement T/ha	Teneur en sucre en %	Sucre total q/ha
14	0,966	- 0,965	0,961
21	0,887	- 0,906	0,854
28	0,962	- 0,970	0,940
35	0,772	- 0,816	0,688
42	0,785	- 0,817	0,773

Tableau 7 - Coefficients de corrélation entre le poids des plantules, le rendement, la teneur en sucre et le sucre total à l'hectare à différentes dates de mesures, des 4 variétés.

Le poids des plantules corrèle positivement avec le rendement pondéral, le sucre total à l'hectare, et négativement avec la teneur (%) en sucre pour toutes les dates (tab. 7).

5. - Relation entre le poids des plantules et le diamètre de l'hypocotyle

Nous avons cherché quelle relation existe entre le poids des plantules et le diamètre de l'hypocotyle par le coefficient de corrélation, la droite de régression (moindres carrés) et la droite des moindres rectangles, pour une seule variété (variété A).

Pour une seule date (28 j), la corrélation entre le diamètre de l'hypocotyle et le poids des plantules est positive ($r = 0,25$) (courbe 1), ce qui signifie que les deux paramètres augmentent dans le même sens mais pas à la même intensité.

Ce coefficient de corrélation est hautement significatif quand on compare 720 couples, c'est-à-dire les valeurs des diamètres de l'hypocotyle et des poids de plantules à 4 dates : 14, 21, 28 et 35 jours après émergence (courbe 2).

6. - Conclusion

Par sa facilité de manipulation, le poids frais des plantules mérite d'être retenu comme critère de sélection précoce ; sa réalisation nécessite un contrôle rigoureux de l'environnement. Il est plus sensible aux conditions externes que le diamètre de l'hypocotyle.

Ce caractère est corrélié positivement avec le rendement pondéral et le rendement total en sucre par hectare, il est corrélié négativement avec la teneur en sucre.

La mesure du poids frais des plantules effectuée à 28 jours après émergence quoique plus imprécise, permet de distinguer les variétés. La date 21 jours mérite aussi d'être retenue.

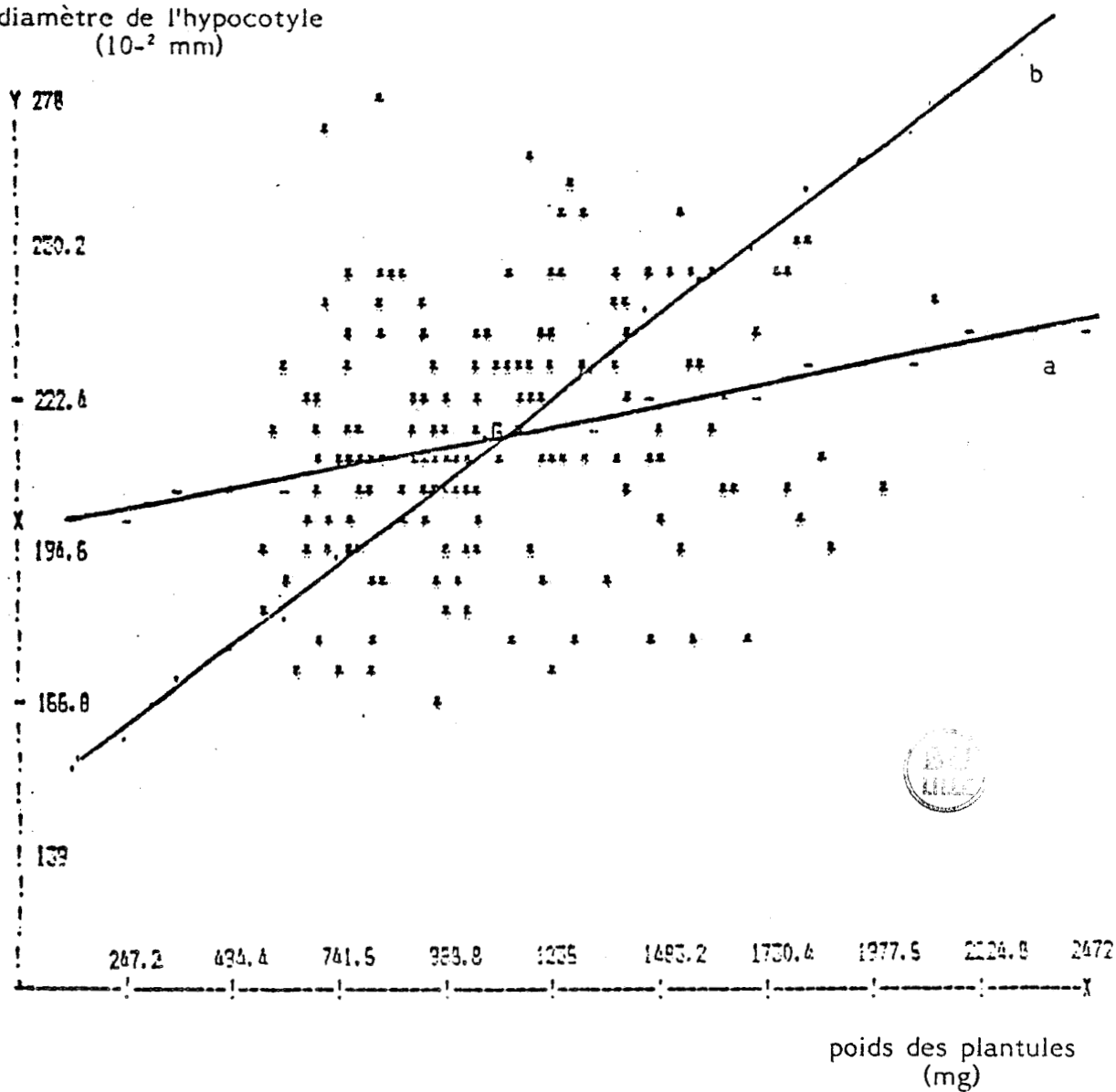
C. - POIDS DES FEUILLES

1. - Introduction

Le poids des feuilles englobe celui des feuilles vraies et des cotylédons. Une fois les plantules sorties de la vermiculite, lavées et séchées à l'aide de papier buvard, on sépare les feuilles et les cotylédons de la racine et l'hypocotyle, par une coupe nette.

Pour réduire les risques d'évaporation, les pesées sont effectuées immédiatement.

diamètre de l'hypocotyle
(10^{-2} mm)



Courbe 1 : Relation entre le diamètre de l'hypocotyle et le poids des plantules, variété A, 28 jours après émergence, 180 couples.

$$y = 0,01 x + 1103,76$$

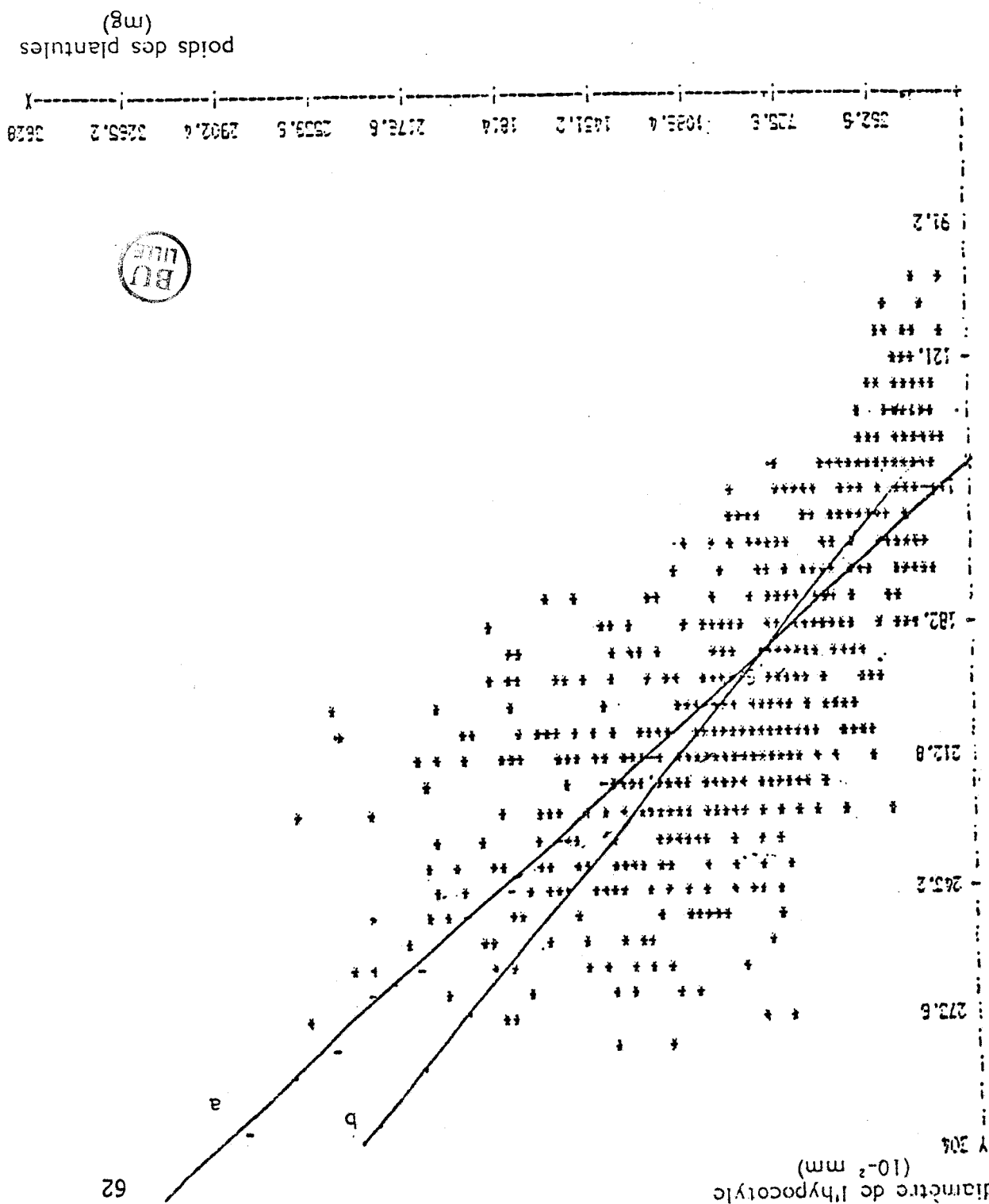
$$r = 0,25 \text{ (significatif à } 0,05)$$

a = droite de régression de y en x (moindres carrés)

b = droite des moindres rectangles

diamètre de l'hypocotyle
(10⁻² mm)

Y 304



Courbe 2 : Relation entre le diamètre de l'hypocotyle et le poids des plantules, variété A, 4 dates de mesure, 720 couples.

$$y = 0,05 x + 877,13$$

$$r = 0,73 \text{ (significatif à } 0,05)$$

a = droite de régression de y en x (moindres carrés)

b = droite des moindres rectangles

2. - Résultats

Nous avons réalisé le même nombre de mesures que pour la détermination du poids des plantules ou du diamètre des hypocotyles à 5 périodes différentes (tab. 8).

14 jours après émergence, les 3 variétés A, C et D ont le même poids de feuilles qui est supérieur à celui de la variété B (fig. 3). A 21 jours, le classement est A, D, C et B. A 28 jours, les variétés A et D ont le même poids de feuilles suivies de la variété C puis de B. A 35 et 42 jours, le classement est A, D, C puis B. Pour ce caractère ce n'est pas toujours la variété A qui présente le poids des feuilles le plus élevé (tab. 8, fig. 3).

Les CV intravariétaux sont plus élevés que ceux du diamètre de l'hypocotyle et avoisinent ceux du poids des plantules.

Les remarques formulées à propos du CV élevé du poids des plantules gardent leur valeur pour le poids des feuilles.

3. - Analyse de la variance

Les coefficients de variation sont voisins de ceux obtenus pour le poids des plantules mais restent toujours nettement supérieurs à ceux du diamètre de l'hypocotyle ; dans la pratique on rejete les CV supérieurs à 12 % (LECOMPT, 1965).

Les F calculés montrent qu'il y a effet bloc ou effet répétition et un effet variété, c'est-à-dire que les répétitions diffèrent les unes des autres, de même que les variétés (tab. 9).

Pour les 3 premières dates il n'y a pas de différence significative entre le poids des feuilles des variétés A, D et C contrairement à la variété B.

35 jours après émergence, les poids des feuilles des variétés A, D et C diffèrent contrairement à ceux des variétés C et B.

A 42 jours, la variété A se distingue des variétés C et B.

d.	14		21		28		35		42		
	μ	C.V.	μ	C.V.	μ	C.V.	μ	C.V.	μ	C.V.	
R_1	A	178,0	25	514,7	30	613,7	23	1276,9	26	1722,1	31
	B	152,4	23	417,6	39	486,3	31	1006,2	38	1074,4	27
	C	161,4	28	421,1	30	604,8	31	1030,2	35	1198,6	34
	D	175,5	34	552,7	26	591,3	42	1122,3	28	1143,6	32
	μ	166,8	7,3	476,5	14,2	574,0	10,3	1108,9	11,1	1284,7	23,0
R_2	A	179,8	26	453,4	26	1112,6	24	1248,0	36	1178,6	33
	B	158,0	25	374,8	34	808,3	33	1054,1	34	1088,5	27
	C	212,4	29	445,0	26	1096,2	31	1055,0	25	1085,8	45
	D	180,3	26	418,8	24	1008,8	29	1180,8	32	1143,9	15
	μ	182,6	12,3	423,0	8,3	1006,5	13,9	1134,5	8,5	1124,2	4,0
R_3	A	289,8	25	752,5	33	976,7	33	1507,0	30	1442,8	16
	B	282,0	27	484,1	34	773,9	39	1294,1	28	1170,3	38
	C	353,7	21	599,4	29	886,5	25	1316,3	25	1283,2	38
	D	338,2	30	713,7	32	958,0	25	1390,6	32	1480,8	30
	μ	315,9	11,2	637,4	19,0	898,8	10,2	1377,0	7,0	1344,3	10,7
R_4	A	215,6	30	423,4	40	1071,2	33	1288,4	31	1201,6	22
	B	199,7	44	363,3	33	691,2	35	900,4	39	1380,7	26
	C	180,5	35	447,4	37	827,7	35	1068,3	44	1258,5	33
	D	200,2	29	423,2	40	1058,2	28	1246,5	27	1312,5	36
	μ	199,0	7,2	414,3	8,7	912,1	20,3	1130,4	16,1	1288,3	5,9
R_5	A	162,2	30	594,2	25	788,3	19	960,6	23	1186,7	20
	B	127,1	31	494,9	31	674,4	39	764,1	28	925,0	41
	C	145,5	39	613,4	31	814,1	26	789,0	35	1029,2	44
	D	162,6	42	532,7	29	851,8	32	931,9	24	1189,7	30
	μ	149,3	11,3	558,8	9,8	782,1	9,8	861,4	11,5	1082,6	11,9
R_6	A	204,7	32	562,9	28	807,1	31	945,0	24	1430,3	16
	B	165,7	35	479,0	32	731,2	33	866,2	24	1081,4	36
	C	203,2	32	515,4	29	800,3	25	880,5	40	1290,2	38
	D	191,0	30	536,4	28	921,6	33	894,2	23	1376,1	29
	μ	191,1	9,4	523,4	6,8	815,0	9,7	896,5	3,8	1294,5	11,8
ΣA	A	205,0	22,3	550,2	21,5	894,9	21,4	1204,3	17,9	1360,3	15,8
	B	180,8	30,3	435,6	13,4	694,2	16,3	980,8	18,8	1120,0	13,4
	C	209,4	35,8	506,9	16,4	838,3	18,9	1023,2	17,7	1190,9	9,2
	D	208,0	31,3	529,8	19,4	898,3	18,5	1130,7	16,9	1274,4	10,8
	μ	200,8	6,7	505,6	9,9	831,4	11,5	1084,9	9,4	1236,4	8,4



Tableau 8 : Poids des feuilles à différentes dates des variétés A, B, C et D de la Betterave à sucre.

d : dates en jours.

μ : moyenne des poids de feuilles en mg

C.V. : Coefficient de Variation en %.

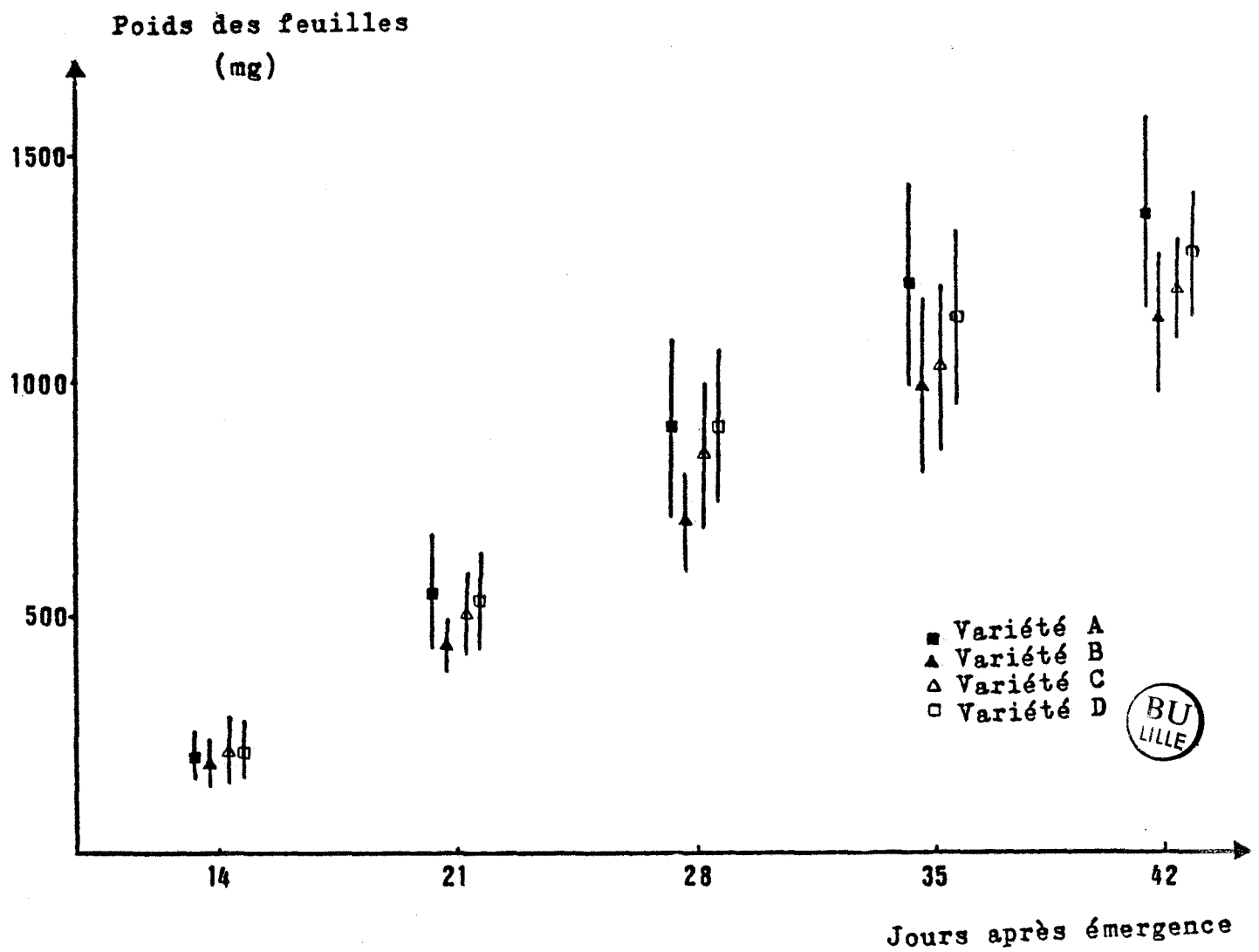


Figure 3 : Evolution du poids des feuilles des plantules de betterave à sucre en fonction du temps.

dates en jours	Source de variation	variance	F. calculé et degré de signification		C.V.	p.p.d.s.		classement des variétés
						0,05	0,01	
14	blocs	13985,49	42,92	* *	8,99	22,21	30,71	C a
	variétés	1086,59	3,33	*				D a
	erreur	325,84						A a B b
21	blocs	29220,03	13,12	* *	9,34	58,07	80,31	A a
	variétés	14924,72	6,70	* *				D a
	erreur	2227,70						C a B b
28	blocs	88507,10	19,26	* *	8,15	83,41	115,34	D a
	variétés	54752,86	11,91	* *				A a
	erreur	4595,75						C a B b
35	blocs	140705,98	44,52	* *	5,18	69,17	95,65	A a
	variétés	61981,36	19,61	* *				D b
	erreur	3160,50						C c B c
42	blocs	45013,76	2,46	NS	10,95	166,55	230,32	A a
	variétés	64832,37	3,54	*				D a b
	erreur	18324,37						C b B h



Tableau 9 : Analyse de la variance
Poids des feuilles des variétés A, B, C et D
de la Betterave à sucre à différentes dates
après émergence.

4. - Conclusion

Le poids des feuilles + cotylédons ne permet pas de différencier les variétés entre elles, ce qui n'est pas surprenant, ces variétés n'ayant pas fait l'objet d'une sélection particulière pour ce caractère.

D. - POIDS DE LA RACINE ET L'HYPOCOTYLE

1. - Introduction

Les racines sont extraites de la vermiculite avec un grand soin car elles sont très fragiles ; elles sont lavées, essuyées rapidement.

Les plantules sont sectionnées à la base des cotylédons et l'ensemble hypocotyles + racines est pesé rapidement.

2. - Résultats

Nous avons réalisé le même nombre de pesées que pour les autres caractères étudiés.

Le tableau 10 nous montre que les CV intravariétaux sont élevés. Ils diffèrent d'une répétition à l'autre et selon la date de l'essai. Pour l'ensemble des répétitions, ce sont les variétés A et D qui présentent les poids de racines + hypocotyles les plus élevés, suivies de la variété C ou B selon la date.

Cette caractéristique est présentée aussi sur la figure 4. Pour les 4 premières dates, les poids des racines + hypocotyles des variétés A et D se détachent nettement de ceux des variétés B et C.

d.	14		21		28		35		42		
	μ	C.V.	μ	C.V.	μ	C.V.	μ	C.V.	μ	C.V.	
1	A	80,8	31	160,1	21	197,0	21	239,8	22	296,9	19
	B	71,4	28	141,7	37	152,9	32	269,2	20	207,7	35
	C	63,6	27	120,3	29	142,2	32	216,4	26	325,4	28
	D	80,6	31	163,4	27	183,0	32	263,7	30	240,9	22
	μ	74,1	11,1	146,4	13,5	168,8	15,1	247,3	9,8	267,7	19,9
2	A	94,3	23	166,4	39	262,1	27	254,3	32	246,0	34
	B	79,3	26	131,8	32	203,1	35	220,9	33	243,1	21
	C	80,2	31	124,3	26	200,9	28	216,7	20	235,4	29
	D	89,4	24	149,3	23	233,5	27	234,5	36	203,8	28
	μ	85,8	8,5	143,1	13,0	224,9	12,9	231,6	7,3	232,1	8,3
3	A	104,7	26	183,9	27	244,6	22	280,6	27	332,7	47
	B	95,0	28	126,5	33	178,3	38	274,4	27	184,8	37
	C	97,6	18	137,1	32	186,1	22	257,3	20	234,2	29
	D	112,1	27	166,2	33	232,2	23	264,9	34	303,2	29
	μ	102,3	7,5	153,4	17,2	210,3	15,7	269,3	3,8	263,7	25,4
4	A	97,8	22	147,2	46	223,2	22	240,5	23	238,6	25
	B	87,6	34	114,8	23	167,7	29	172,0	39	278,4	49
	C	73,4	26	107,1	33	157,1	35	180,2	34	215,3	32
	D	82,0	27	114,4	31	186,8	25	254,0	28	225,4	39
	μ	85,2	12,0	120,9	14,8	183,7	15,8	211,7	19,7	239,4	11,6
5	A	82,6	26	164,5	19	199,7	18	195,8	31	233,3	18
	B	67,6	29	122,9	31	150,0	29	155,9	25	172,8	35
	C	63,6	25	131,5	24	159,0	24	143,6	32	158,8	40
	D	75,4	35	140,7	29	192,5	30	194,0	25	218,1	25
	μ	72,3	11,6	139,9	12,8	175,3	14,0	172,3	15,4	195,7	18,2
6	A	97,1	21	138,0	20	204,7	34	205,2	34	331,0	48
	B	83,7	30	118,3	23	146,4	38	155,9	25	194,5	29
	C	83,6	31	111,8	24	188,6	22	166,3	36	234,1	29
	D	86,9	26	120,3	21	177,3	23	193,8	31	275,0	39
	μ	87,8	7,3	122,1	9,2	179,2	13,7	180,3	12,8	258,6	22,6
ΣR	A	92,9	10,0	160,0	10,0	221,9	12,0	236,0	13,3	279,8	16,5
	B	80,7	12,7	126,0	7,7	166,4	13,0	208,0	26,3	213,5	18,7
	C	77,0	16,9	122,1	9,3	172,3	13,2	196,8	20,9	233,9	22,9
	D	87,7	14,7	142,4	15,2	200,9	12,5	234,1	14,1	244,4	15,4
	μ	84,5	8,4	137,6	12,6	190,4	13,6	218,7	9,9	242,9	11,4

Tableau 10 : Poids des racines et hypocotyles des variétés A, B, C et D à différentes dates après émergence.

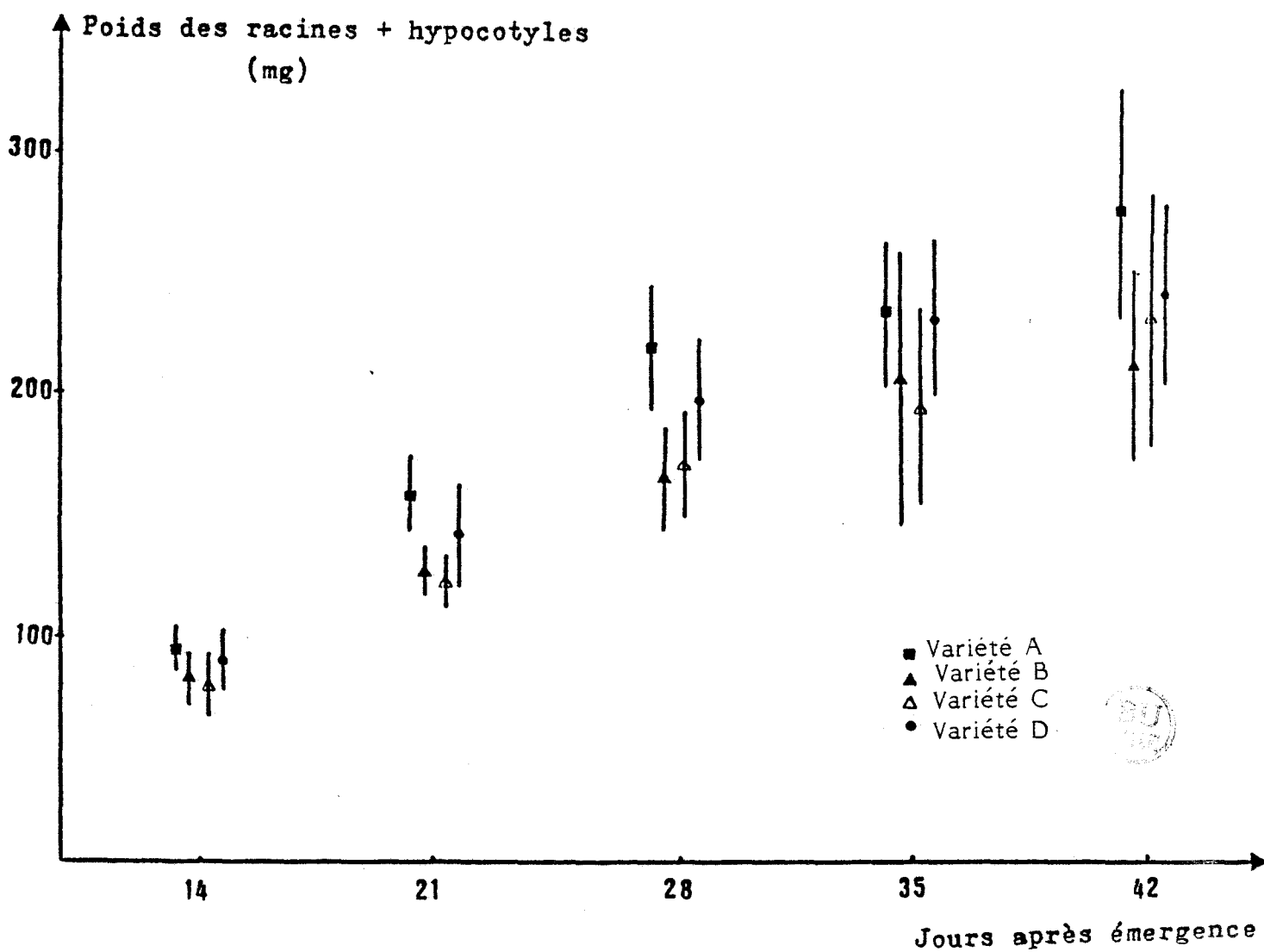


Figure 4 : Poids des racines + hypocotyles des plantules de betterave à sucre à différentes dates après émergence.

3. - Analyse de la variance

Les CV pour les trois premières dates sont inférieurs à ceux des poids des feuilles, et les F calculés sur les variétés sont supérieurs à ceux des poids des feuilles ; on peut donc estimer que le poids de la racine + l'hypocotyle est un peu plus précis que celui des feuilles (tab. 11).

On remarque que la variété B se classe à la troisième place après les variétés A et D, 14 et 21 jours après émergence, mais son poids ne diffère pas significativement de celui de la variété C.

En fait, c'est le poids de l'hypocotyle qui est dominant : la variété B a un hypocotyle plus long donc plus lourd que celui de la variété C.

La quantité de racines secondaires fluctue avec l'irrigation, donc leur poids peut varier selon la position des plantes dans la miniserre.

4. - Conclusion

Le caractère poids de la racine + l'hypocotyle corrèle positivement avec le diamètre de l'hypocotyle (courbe 3, $r = 0,65$). Il occupe la 3ème position du point de vue classification des variétés après le diamètre de l'hypocotyle et le poids des plantules.

C'est 28 jours après émergence que le test nous paraît le plus intéressant.

E. - LE RAPPORT RACINES + HYPOCOTYLES/ FEUILLES + COTYLEDONS (R/F)

1. - Introduction

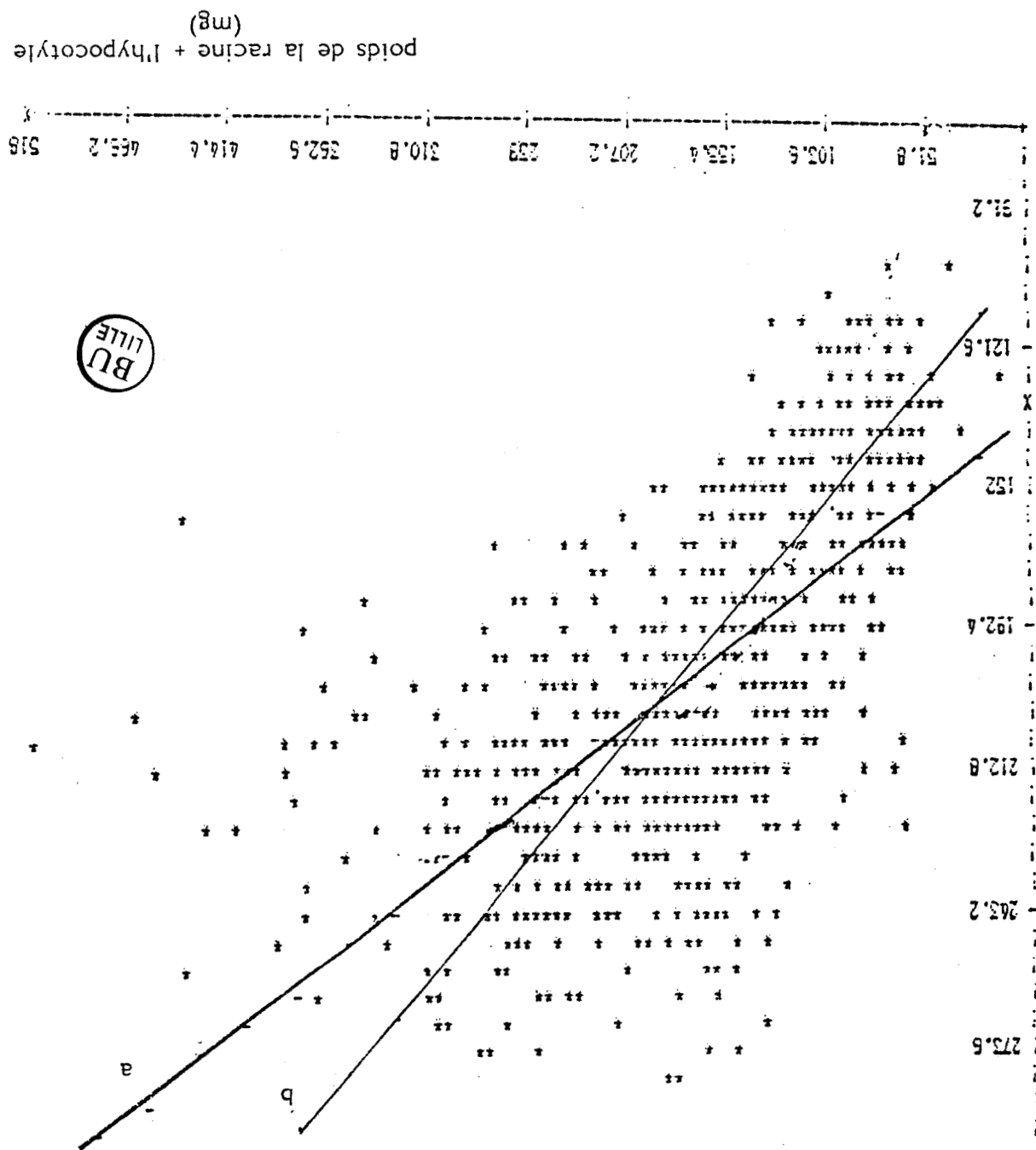
Le R/F est le rapport du poids frais de la racine plus l'hypocotyle, sur le poids frais des feuilles et des cotylédons.

dates après émergence	Source de variation	variance	F. calculé et degré de signification	C.V.	p.p.d.s.		classification des variétés "DUNCAN"
					0,05	0,01	
14	blocs	471,04	24,83 * *	5,15	5,36	7,41	A a
	variétés	301,77	15,91 * *				D a
	erreur	18,97					B b C b
21	blocs	707,63	8,79 * *	6,51	11,04	15,26	A a
	variétés	1801,26	22,38 * *				D b
	erreur	80,48					B c C c
28	blocs	1958,76	15,84 * *	5,84	13,68	18,92	A a
	variétés	4009,88	32,43 * *				D b
	erreur	123,66					C c B c
35	blocs	5775,79	17,24 * *	8,37	22,46	31,06	A a
	variétés	2268,04	6,77 * *				D a
	erreur	335,06					C b B b
42	blocs	2852,45	1,68 NS	16,98	50,76	70,20	A a
	variétés	4608,63	2,70 NS				D a b
	erreur	1702,3					C a b B b



Tableau 11 : Analyse de la variance. Poids de la racine +
l'hypocotyle des variétés de Betterave à sucre
A, B, C et D à différentes dates après émergence.

diamètre de l'hypocotyle
(10⁻² mm)



Courbe 3 : Relation entre le diamètre de l'hypocotyle et le poids de la racine + l'hypocotyle, variété A, 4 dates de mesure, 720 couples.
 $y = 0,32 x + 82,51$
 $r = 0,65$ (significatif à 0,05)
 a = droite de régression de y en x (moindres carrés)
 b = droite des moindres rectangles

2. - Résultats

Le tableau 12 montre que 14 jours après émergence le R/F est compris entre 0,55 et 0,28 selon la variété et la répétition, la moyenne des 6 répétitions pour les 4 variétés est comprise entre 0,48 et 0,40.

Le R/F diminue avec l'âge des plantules. Pour toutes les dates, excepté 35 jours après émergence, les variétés A et B ont le même R/F (figure 5). La variété C se détache des autres pour toutes les dates sauf la 5ème.

3. - Analyse de la variance

Nous pouvons résumer en classant les variétés à chaque date d'essai et en indiquant le degré de signification des mesures.

Dates	14 j	21 j	28 j	35 j	42 j
Variétés	A a	A a	A a	B a	A a
	B a	B a	B a	D a	B a
	D a	D a	D a b	A a	D a
	C b	C b	C b	C a	D a

Tableau 13 : Classement des variétés selon leurs rapports racines sur feuilles. Les variétés suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes.

Le tableau 13 montre que quelle que soit la date de la mesure, les R/F sont confondus, excepté pour la variété C qui est différente significativement des autres aux 3 premières dates.

d.	14			21			28			35			42		
	μ	C.V.		μ	C.V.		μ	C.V.		μ	C.V.		μ	C.V.	
R ₁	A	0,46	26	0,33	26		0,33	22		0,20	26		0,18	26	
	B	0,47	17	0,35	25		0,32	27		0,29	33		0,21	44	
	C	0,40	18	0,30	24		0,24	24		0,23	31		0,29	33	
	D	0,48	19	0,30	21		0,33	28		0,24	29		0,23	30	
	μ	0,45	6,7	0,32	6,2		0,30	13,3		0,24	15,6		0,23	20,2	
R ₂	A	0,54	18	0,38	37		0,24	24		0,21	29		0,22	34	
	B	0,51	23	0,36	26		0,26	31		0,22	26		0,24	34	
	C	0,39	21	0,29	24		0,19	31		0,21	21		0,23	25	
	D	0,51	18	0,37	22		0,25	35		0,20	27		0,19	37	
	μ	0,49	14,3	0,35	11,4		0,23	13,0		0,21	4,8		0,22	9,8	
R ₃	A	0,37	25	0,26	30		0,27	31		0,20	34		0,24	52	
	B	0,34	21	0,27	26		0,25	43		0,22	30		0,19	87	
	C	0,28	17	0,23	25		0,22	26		0,20	26		0,19	20	
	D	0,35	30	0,24	28		0,25	25		0,20	26		0,22	34	
	μ	0,33	12,1	0,25	8,0		0,25	8,0		0,21	4,8		0,21	11,7	
R ₄	A	0,47	21	0,37	50		0,22	31		0,20	32		0,20	26	
	B	0,47	23	0,34	30		0,25	21		0,20	27		0,21	46	
	C	0,44	28	0,25	25		0,20	34		0,18	26		0,18	29	
	D	0,43	23	0,30	37		0,19	33		0,21	34		0,17	23	
	μ	0,45	4,3	0,31	16,1		0,22	12,3		0,18	5,5		0,19	9,6	
R ₅	A	0,53	23	0,29	21		0,26	29		0,21	35		0,20	21	
	B	0,55	22	0,26	27		0,25	47		0,21	28		0,20	33	
	C	0,47	28	0,23	33		0,20	23		0,19	29		0,16	29	
	D	0,50	31	0,28	31		0,24	32		0,22	36		0,20	32	
	μ	0,51	6,9	0,27	10,0		0,24	11,0		0,21	6,1		0,19	10,5	
R ₆	A	0,50	21	0,25	21		0,26	21		0,23	38		0,24	53	
	B	0,52	24	0,26	23		0,21	33		0,19	25		0,20	36	
	C	0,45	41	0,23	22		0,24	28		0,21	46		0,19	20	
	D	0,47	20	0,23	22		0,21	29		0,23	37		0,21	32	
	μ	0,48	6,4	0,24	6,4		0,23	10,6		0,22	8,9		0,21	10,3	
ΣR	A	0,48	12,5	0,31	16,1		0,26	15,4		0,21	7,2		0,21	11,6	
	B	0,48	14,6	0,31	16,1		0,26	11,5		0,22	13,6		0,21	8,5	
	C	0,40	17,5	0,25	12,0		0,21	9,5		0,20	10,0		0,21	22,3	
	D	0,46	13,0	0,29	17,2		0,24	20,8		0,22	9,1		0,20	10,5	



Tableau 12 : Rapport poids de la racine + hypocotyle sur poids des feuilles à différentes dates des variétés A, B, C et D.

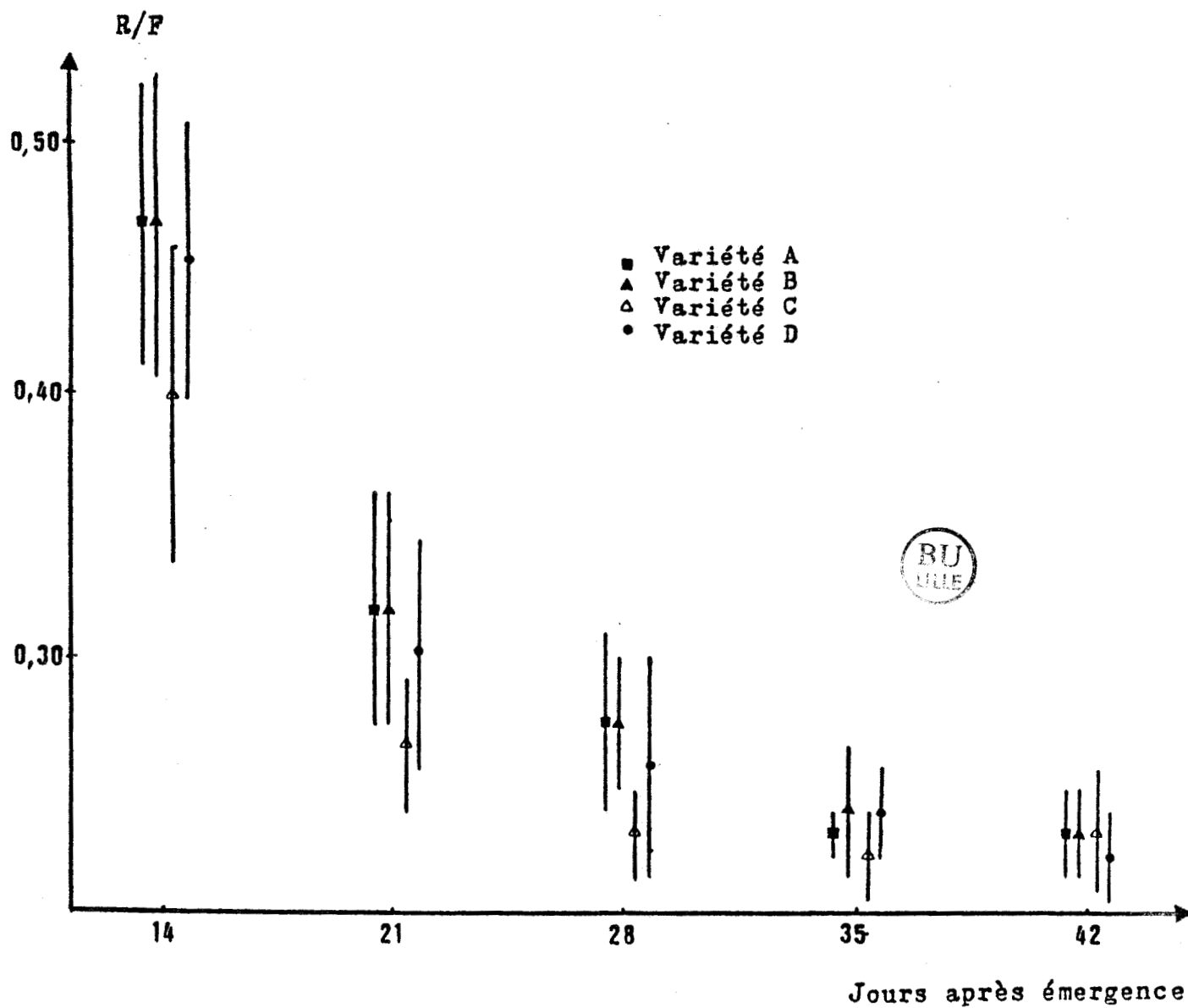


Figure 5 : Evolution du rapport racines sur feuilles (R/F) des plantules de betterave à sucre en fonction du temps.

Pour expliquer cette différence de la variété C, il faut examiner le tableau 9 : 21 et 28 jours après émergence, la variété C a un poids de feuilles supérieur à celui de la variété B, donc un dénominateur plus grand.

Le tableau 11, pour les mêmes dates et les mêmes variétés, indique que le poids de racine et d'hypocotyle est presque le même. Donc la variété C a un hypocotyle moins long et un feuillage plus important qui la classent en dernière position.

4. - Conclusion

Le caractère R/F, tel que nous l'avons mesuré, ne permet pas de distinguer les variétés ; nous évoquerons cet aspect ultérieurement.

F. - SEMENCES ET GERMES

1. - Introduction

Chez la betterave, le fruit est une pyxide. Après la fécondation, tous les tépales accrescents entourant les fleurs (3 à 6) d'un même glomérule se soudent en une masse liégeuse, l'induvie, qui englobe les pyxides uniséminées ; c'est ce complexe que l'on nomme communément la "graine" ou semence de betterave (ECHEVIN, 1964).

Dans notre cas, nous n'avons que des monogermes génétiques, avec un taux de bigermie négligeable.

L'idée de faire une analyse morphologique et phénotypique des semences nous est venue après observation des pyxides. Nous avons déjà mentionné que les variétés A et D, qui ont un calibrage homogène, ont des coefficients de variation intravariétales, des poids de plantules et du diamètre de l'hypocotyle plus faibles que les deux autres variétés. Ces deux dernières ont un calibrage hétérogène et donnent des plantules qui présentent des CV élevés.

Nous avons réalisé une première approche par le calcul des coefficients de variation à l'intérieur de chaque lot de semences. Nous avons trouvé les résultats suivants :

- pour la variété A, les CV sont compris entre 10,3 et 13,8 % ;
- pour la variété B, les CV sont compris entre 15,8 et 17,3 % ;
- pour la variété C, les CV sont compris entre 15,2 et 18,2 % ;
- pour la variété D, les CV sont compris entre 13,3 et 14,5 % ;

donc notre hypothèse est vérifiée : ce sont les deux variétés B et C qui ont les CV les plus élevés.

2. - Poids des semences

Le poids de 1 000 pyxides en gramme est le suivant :

- variété A : 13,9
- variété B : 10,9
- variété C : 11,5
- variété D : 12,7

C'est donc la variété A qui vient en tête, suivie de la variété D puis de C et enfin de la variété B.

Pour vérifier si les différences étaient significatives ou non, nous avons réalisé 6 répétitions de 100 semences par variété. Puis, afin de tester l'importance relative des différents éléments des pyxides sur le poids des plantules, en particulier l'influence du germe sur le développement précoce de la plantule, nous avons décomposé le fruit en trois éléments : péricarpes, téguments et germes. Pour bien repérer ces 3 éléments, nous avons écarté le germe après germination.

2.1 - Mode opératoire

Après avoir pesé les pyxides, c'est-à-dire les semences nues, nous avons déterminé leur taux d'humidité qui est de 9 à 10 %. Cela nous donne le poids de pyxides sèches ; sur d'autres échantillons nous avons récupéré les péricarpes et les téguments, nous avons déterminé leur poids frais puis leur poids sec. La différence entre pyxides et péricarpes + téguments permet d'en déduire le poids du germe.

2.2 - Résultats

Par analyse de la variance nous avons constaté (tab. 14) qu'il n'y a pas d'effet répétition sur les composantes péricarpes + téguments et germes ; par contre, il y a effet répétition à 5 % sur le poids sec des pyxides.

Les effets variétés sont hautement significatifs à 5 et 1 %, donc les variétés diffèrent les unes des autres.

Le classement des variétés par leurs poids de pyxides montre que les 4 variétés sont distinctes.

La deuxième colonne met en évidence que les variétés A et D se maintiennent au même classement, alors que B et C se confondent ; cela veut dire que soit B a des péricarpes et téguments plus importants, soit que la variété C en a de plus petits.

La troisième colonne indique que les variétés A et D ne sont plus distinctes par leur poids de germes.

En dépit de semences moins lourdes que la variété A, la variété D a des germes plus lourds.

Les variétés C et B se distinguent. Ce dernier résultat est très important car il se confond avec le classement réel des variétés.



constituants de la variation totale	degré de liberté	poids des pyxides		poids des péricarpes + téguments		poids des germes		F. 0,05
		variance	F	variance	F	variance	F	table
répétitions	5	449,74	3,60	183,37	1,49	200,18	1,31	2,90
variétés	3	84106,82	673,29	46234,72	376,33	9000,71	58,89	3,29
erreur	15	124,92		122,86		152,84		
coeff. de variation en %		1,01		1,39		4,03		
classement des variétés		A	a	A	a	D	a	
		D	b	D	b	A	a	
		C	c	C	c	C	b	
		B	d	B	c	B	c	

Tableau 14 : Analyse de la variance, poids secs des pyxides, péricarpes + téguments et germes des variétés A, B, C et D de la Betterave à sucre.

Les variétés suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes.

3. - Conclusion

Le poids des germes peut apporter des informations supplémentaires pour le test de détermination précoce du rendement de la betterave à sucre.

Les CV sont faibles, ce qui prouve une bonne précision du test.

4. - Catégories de graines

4.1 - Relation entre calibre des semences et poids des germes

Nous avons séparé les semences de la variété C en 4 sous-calibres :

Calibre 1	> 4,25 mm
Calibre 2	4 - 4,25 mm
Calibre 3	3,75 - 4 mm
Calibre 4	< 3,75 mm

poids en gramme de 1 000 unités.

	pyxides fraîches	pyxides sèches	péricarpes + téguments	germes secs
Calibre 1	14,96	13,47	10,16	3,31
Calibre 2	13,76	12,39	9,14	3,25
Calibre 3	12,80	11,51	8,49	3,02
Calibre 4	11,74	10,53	7,85	2,68

Tableau 15 : Relation entre le calibre des semences et le poids de leurs différentes composantes.

Les poids des pyxides, péricarpes plus téguments et germes sont proportionnels à la taille des semences (tab. 15).

Par classement des calibres par analyse de la variance (tab. 16), on obtient toujours le même ordre décroissant, calibre 1, 2, 3 et 4.

pyxides fraîches (semences)		pyxides sèches		péricarpes + téguments secs		germes secs	
Cal. 1	a	1	a	1	a	1	a
Cal. 2	b	2	b	2	b	2	a
Cal. 3	c	3	c	3	c	3	b
Cal. 4	d	4	d	4	d	4	c

Tableau 16 : Classement des différents calibres selon le poids des semences fraîches, sèches, péricarpes et germes par analyse de variance.

Les calibres se distinguent significativement entre eux ; il y a cependant une exception pour le poids des germes où les calibres 1 et 2 ne se distinguent pas.

4.2 - Relation calibre des semences, diamètre de l'hypocotyle des plantules de 28 jours

Nous avons réalisé deux répétitions avec 30 plantules pour chaque calibre.

Les CV à l'intérieur de chaque calibre étaient de l'ordre de 6,25 à 7,96 %. Donc les CV ont chuté avec l'homogénéisation du calibrage (les CV de la variété C étaient de l'ordre de 8 à 11 %).

Après analyse de la variance, nous avons trouvé le classement suivant :

Cal. 1	a
Cal. 2	a
Cal. 3	b
Cal. 4	b

qui est donc le même ; le diamètre de l'hypocotyle est proportionnel au calibre des semences, mais les degrés de signification sont différents. Le diamètre de l'hypocotyle du calibre 1 ne diffère pas significativement de celui du calibre 2 ; de même le diamètre de l'hypocotyle du calibre 3 n'est pas différent de celui du calibre 4.

On trouve donc un classement qui est plus proche de celui du poids des germes.

4.3 - Relation calibre des semences, poids des plantules de 28 j

Par analyse de la variance du critère poids des plantules à 28 jours, nous avons obtenu le classement suivant :

Cal. 1	a
Cal. 2	a
Cal. 3	b
Cal. 4	c

qui est identique à celui du poids des germes.

4.4 - Conclusion

Puisque la taille des semences a une relation positive avec le poids des plantules et le diamètre de l'hypocotyle, et que ces derniers ont une corrélation positive avec le rendement aux champs, on peut gagner quelques tonnes de sucre à l'hectare en utilisant des semences dont le poids de germes est important et en écartant les petites semences.

Ce caractère est facile à évaluer et mérite d'être retenu en test précoce.

G. - CONCLUSION GENERALE DE LA 1ère PARTIE

L'examen des documents fournis par l'Institut Technique de la Betterave (I.T.B.) et l'Institut de Recherche des Industries Sucrières (I.R.I.S.), sur les essais culturaux comparatifs sur les variétés de betteraves sucrières au cours des dernières années, nous a permis de relever le classement de ces variétés pour les rendements en racine et en sucre à l'hectare.

Le classement général par ordre décroissant est A, D, C et B.

Certes, nous n'avons pas trouvé les 4 variétés simultanément mais A et D, A et C, D et C et selon les essais, les différences sont ou non significatives.

Au cours de nos expériences, nous avons trouvé exactement le même classement par le diamètre de l'hypocotyle, le poids des plantules, le poids de la racine et de l'hypocotyle, le poids des germes. Quel que soit le caractère considéré on trouve le même classement, mais les variétés A et D ne sont presque jamais distinctes, ce qui correspond exactement aux essais aux champs : ces deux variétés sont très proches l'une de l'autre.

Les dates les plus intéressantes qui permettent de distinguer les variétés sont 21 et 28 jours après émergence.

Par nos analyses statistiques, nous avons trouvé qu'il y a effet répétition (ou effet bloc). C'est-à-dire que les répétitions ne sont pas strictement identiques ; nous avons donc abandonné les essais en serre à l'Institut Agricole.

Pour éprouver la sensibilité du test, c'est-à-dire ses limites, nous allons l'appliquer à des hybrides expérimentaux très proches qui ont un parent commun.

2ème PARTIE

LES HYBRIDES EXPERIMENTAUX

Tous les essais précédents portaient sur des variétés commerciales, de différentes origines, de caractéristiques connues par les producteurs.

Nous avons voulu vérifier si le test de détermination précoce peut répondre aux objectifs fixés au départ, c'est-à-dire s'il peut permettre de distinguer des hybrides expérimentaux qui sont obtenus chaque année par centaines.

Le matériel végétal est composé de 4 hybrides expérimentaux obtenus par la Maison FLORIMOND-DESPREZ. Ces hybrides nous ont été fournis sous l'appellation MS_1 , MS_2 , MS_3 et MS_4 . Ils ont un parent commun (pollinisateur). Les performances de ces hybrides étaient inconnues au départ ; ils ont été mis en essai aux champs en même temps que nos expérimentations au laboratoire, à 3 endroits différents par les 3 établissements associés à notre travail.

Il a été convenu que nous donnions nos résultats de Laboratoire avant ceux trouvés aux champs.

Le mode opératoire est identique à celui déjà décrit à propos des variétés étudiées précédemment, et les lieux d'expérimentation diffèrent.

Les essais sont effectués en chambres de culture ventilées dont la température est fixée à $20^{\circ}\text{C} \pm 2$ et éclairées en lumière continue.

A. - DIAMETRE DE L'HYPOCOTYLE

1. - Résultats

Nous avons mesuré l'hypocotyle seulement à deux périodes : 21 et 28 jours après émergence. Nous avons réalisé **30 mesures x 4 hybrides x 6 répétitions x 2 dates = 1440 données** que nous présentons sous forme de tableau.

Les coefficients de variation intravariétaux sont compris entre 7 et 11,7 % (tab. 17).

		21 jours		28 jours	
		moyenne	C.V.	moyenne	C.V.
Répétition 1	MS ₁	224,6	11,5	232,6	8,8
	MS ₂	234,9	8,6	248,6	9,1
	MS ₃	236,0	8,9	252,7	9,6
	MS ₄	212,6	11,5	224,0	11,0
	μ	227,0	2,9	239,2	5,7
R ₂	MS ₁	222,2	10,2	238,3	9,1
	MS ₂	234,7	10,2	245,7	7,3
	MS ₃	241,1	8,9	261,2	8,6
	MS ₄	208,2	11,5	227,3	10,1
	μ	226,6	6,4	243,1	5,8
R ₃	MS ₁	223,5	10,3	244,2	7,6
	MS ₂	238,8	9,8	255,2	8,3
	MS ₃	247,0	9,1	256,4	8,0
	MS ₄	211,1	11,1	229,7	9,3
	μ	230,1	6,9	246,4	5,0
R ₄	MS ₁	220,9	11,7	245,2	10,8
	MS ₂	227,3	8,6	259,2	9,7
	MS ₃	234,8	10,5	257,8	8,1
	MS ₄	215,3	11,6	227,8	10,3
	μ	224,6	3,7	247,5	5,9
R ₅	MS ₁	227,0	8,2	237,8	7,5
	MS ₂	229,2	8,6	253,9	7,6
	MS ₃	235,3	8,2	259,9	6,7
	MS ₄	208,4	9,2	227,1	10,0
	μ	225,0	5,1	244,7	6,1
R ₆	MS ₁	220,9	9,3	229,2	8,5
	MS ₂	227,2	8,4	248,3	7,1
	MS ₃	228,6	8,8	250,1	7,0
	MS ₄	211,3	10,7	227,0	9,2
	μ	222,0	3,5	238,6	5,1
moyenne sur 6 rep.	MS ₁	223,2	1,1	237,7	2,7
	MS ₂	232,0	2,2	251,8	2,0
	MS ₃	237,3	2,5	256,3	1,6
	MS ₄	210,5	1,1	227,1	0,8

Tableau 17 : diamètre de l'hypocotyle
moyenne de 30 plantules par variété et par répé-
tition en 1/100e de mm, et leur coefficient de
variation à 21 et 28 jours après émergence.
Hybrides expérimentaux.

Les hybrides MS_2 et MS_3 ont des CV plus faibles que ceux des hybrides MS_1 et MS_4 .

Les répétitions sont homogènes et leurs CV sont très faibles (0,8 à 2,7 %).

C'est l'hybride MS_3 qui présente le diamètre de l'hypocotyle le plus élevé aux deux dates de mesure, cet hybride est suivi par MS_2 puis MS_1 , et enfin MS_4 occupe la dernière place.

Ce classement est représenté sur la figure 6 où on remarque que les écarts-types sont faibles par rapport à ceux trouvés chez les variétés étudiées précédemment.

2. - Analyse de la variance

Par l'analyse de la variance nous avons voulu vérifier si les différences entre les hybrides sont significatives ou non.

La première remarque qui mérite d'être soulignée, est que le F calculé sur bloc est très faible par rapport à celui calculé sur hybrides (tab. 18) ; à 21 jours ce F est non significatif ; à 28 jours il n'est significatif qu'à 5% .

La maîtrise de l'environnement, qui est une condition majeure de réussite du test, a fait disparaître cet effet observé avec les quatre variétés précédentes.

Les F calculés sur les hybrides sont hautement significatifs, les hybrides sont donc différents les uns des autres.

Les CV sont très faibles, 1,61 et 1,38 %. Le test est donc très précis.

Le classement des hybrides est :

MS_3 MS_2 MS_1 MS_4 .

Il reste à confronter ces résultats avec ceux obtenus aux champs.

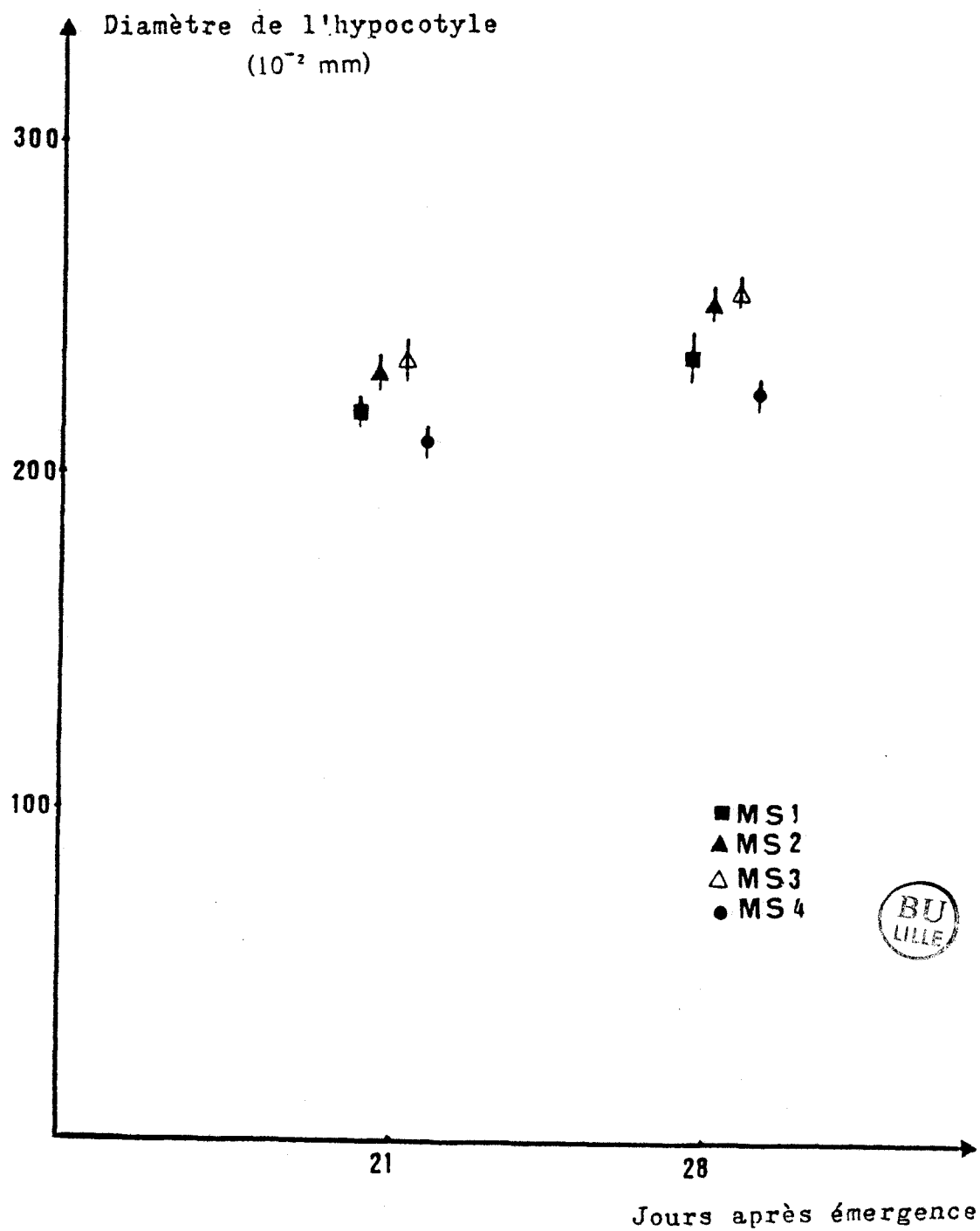


Figure 6 : Diamètre de l'hypocotyle des hybrides expérimentaux MS_1 , MS_2 , MS_3 et MS_4 , 21 et 28 jours après émergence.



dates en jours	Source de variation	variance	F. calculé et degré de signification		C.V.	p.p.d.s.		classement des hybrides
						0,05	0,01	
21	blocs hybrides erreur	30,50	2,32	NS	1,61	4,46	6,17	MS ₃ a
		824,94	62,76	* *				MS ₂ b
		13,14						MS ₁ c
								MS ₄ d
28	blocs hybrides erreur	52,80	4,30	*	1,38	4,12	5,70	MS ₃ a
		1069,39	95,29	* *				MS ₂ b
		11,22						MS ₁ c
								MS ₄ d

Tableau 18 : Analyse de la variance , diamètre de l'hypocotyle des hybrides expérimentaux MS₁, MS₂, MS₃ et MS₄ de la Betterave à sucre à 21 et 28 jours après émergence.

Rappel : Les degrés de liberté

- blocs : 5
- hybrides : 3
- erreur : 15

- F. théorique 0,05 0,01 NS : F. non significatif
- blocs 2,90 4,56 * : F. significatif à 0,05
- hybrides 3,29 5,42 ** : F. significatif à 0,01.

Les hybrides suivis de la même lettre ne sont pas significativement différents.

B. - LES RENDEMENTS AUX CHAMPS

Les 4 hybrides expérimentaux ont été mis en essai aux champs par les 3 établissements associés.

Les essais 1, 2 et 3 ont été réalisés par la maison FLORIMOND-DESPREZ à 3 endroits différents dans la région du Nord. Les essais 4 et 5 sont accomplis par la maison CERES à deux endroits différents dans la région parisienne, l'essai 6 par la maison MENNESSON dans l'Aisne.

Nous reproduisons sous forme de tableau le rendement en racine (tonne/ha), la teneur en sucre en % et le rendement sucre à l'hectare (q/ha).

1. - Résultats

Le comportement des 4 hybrides est différent selon la région ; les résultats de l'essai 6 dans l'Aisne étaient faibles par rapport aux autres (tab. 19). Cet essai a subi une période de sécheresse.

Pour tous les essais c'est l'hybride MS_4 qui se place le dernier.

La moyenne générale sur les 6 essais donne le classement suivant :

$MS_3 - MS_2 - MS_1 - MS_4$.

Ce classement est identique pour le rendement en racines et le sucre total à l'hectare.

2. - Analyse de la variance

Le classement des variétés est donc identique à celui trouvé au Laboratoire, il reste à savoir si les hybrides sont différents significativement ou non.

N° d'essais	hybrides expériences taux	rendement racine (T/ha)	teneur en sucre (%)	sucres total (q/ha)
1	MS ₁	63,46	16,60	105,32
	MS ₂	65,31	16,50	107,80
	MS ₃	65,07	16,54	107,62
	MS ₄	62,68	16,76	105,05
	D.S.	4,28	-	7,62
	C.V.	4,32	-	4,37
2	MS ₁	54,89	16,29	89,40
	MS ₂	56,50	16,22	91,65
	MS ₃	57,62	16,41	94,54
	MS ₄	54,59	16,15	88,19
	D.S.	4,36	-	8,29
	C.V.	4,74	-	5,10
3	MS ₁	76,72	14,69	112,76
	MS ₂	78,27	14,86	116,32
	MS ₃	77,50	15,05	116,62
	MS ₄	75,17	14,79	111,18
	D.S.	5,40	-	8,31
	C.V.	4,37	-	4,40
4	MS ₁	66,00	16,42	108,40
	MS ₂	68,70	16,49	113,30
	MS ₃	68,76	16,50	113,45
	MS ₄	64,09	16,52	105,88
	D.S.	4,4	-	4,60
	C.V.	2,83	-	2,92
5	MS ₁	68,15	16,59	113,06
	MS ₂	66,39	16,72	111,00
	MS ₃	70,12	16,77	117,59
	MS ₄	65,65	16,61	109,04
	D.S.	4,4	-	4,6
	C.V.	2,83	-	2,92
6	MS ₁	42,26	16,76	70,85
	MS ₂	41,67	16,74	69,78
	MS ₃	44,30	17,03	75,45
	MS ₄	40,64	16,65	67,68
	D.S.	4,41	-	0,77
	C.V.	1,96	-	1,96
Moyenne des 6 essais	MS ₁	61,91	16,15	99,97
	MS ₂	62,81	16,18	101,64
	MS ₃	63,89	16,31	104,21
	MS ₄	60,47	16,18	97,84

Tableau 19 : Résultats des essais aux champs des 4 hybrides expérimentaux de la Betterave à sucre.

D.S. Différence significative à 5 %

C.V. Coefficient de Variation en %

Le tableau 20 montre qu'il y a effet répétition. Les rendements diffèrent selon la région de l'essai. Il y a aussi effet variété (ou effet hybride) ; les hybrides sont donc différents les uns des autres.

Le classement des hybrides par leur poids de racines en tonnes par hectare est MS_3 , MS_2 , MS_1 et MS_4 . Il n'y a pas de différence significative entre les hybrides MS_3 et MS_2 , MS_1 est différent de MS_3 et ne diffère pas de MS_2 , par contre l'hybride MS_4 est différent significativement des 3 autres. Le même classement est obtenu pour le rendement en sucre total (q/ha) mais cette fois c'est l'hybride MS_3 qui diffère significativement des autres, il n'y a pas de différence entre les hybrides MS_2 et MS_1 et l'hybride MS_4 prend, de manière significative, la dernière place.

Une analyse de variance seulement avec les 5 premiers essais donne le classement suivant :

- rendement racines (T/ha)

MS_3	a
MS_2	a b
MS_1	b
MS_4	c

- rendement sucre (q/ha)

MS_3	a
MS_2	a
MS_1	b
MS_4	b

3. - Conclusion

Le classement général des hybrides par leur rendement en racine et en sucre est toujours MS_3 , MS_2 , MS_1 et MS_4 , il n'y a que les degrés de signification qui diffèrent si on prend 6, 5, 4 ou 3 essais.

	Source de variation	variance	F. calcule et degré de signification	C.V.	p.p.d.s.		classement des hybrides					
					0,05	0,01						
Rdt racine T/ha	blocs hybrides erreur	586,00	664,29 * *	1,48	1,14	1,57	MS ₃	a				
		12,59	14,72 * *				MS ₂	a	b			
		0,86					MS ₁		b			
							MS ₄		c			
Rdt sucre total q/ha	blocs hybrides erreur	1145,50	474,99 * *	1,54	1,91	2,64	MS ₃	a				
		43,47	18,02 * *				MS ₂		b			
		2,41					MS ₁		b			
							MS ₄		c			

Tableau 20 : Analyse de la variance
Rendement en racines (T/ha) et sucre
total (q/ha) des 4 hybrides expérimentaux MS₁,
MS₂, MS₃ et MS₄ de la Betterave à sucre.

Ces résultats rejoignent exactement les résultats trouvés au Laboratoire.

Le caractère diamètre de l'hypocotyle nous a permis de distinguer les 4 hybrides entre eux.

C. - POIDS DES PLANTULES

Comme le diamètre de l'hypocotyle, nous avons repris les mesures à 21 et 28 jours après émergence. Nous avons réalisé des mesures groupées, c'est-à-dire 30 plantules à la fois.

1. - Résultats

Dates en jours	hybrides	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	μ	CV
21	MS ₁	998	1088	1070	1115	1076	1157	1084	4,9
	MS ₂	1104	1235	1203	1246	1182	1252	1204	4,6
	MS ₃	1105	1315	1298	1376	1250	1291	1273	7,2
	MS ₄	848	974	1034	1030	909	1017	969	7,8
28	MS ₁	1213	1428	1570	1406	1578	1569	1461	9,8
	MS ₂	1676	1678	1694	1510	1724	1782	1677	5,4
	MS ₃	1610	1903	1771	1465	1754	1831	1722	9,2
	MS ₄	1052	1440	1409	1265	1481	1602	1375	13,9

Tableau 21 : Poids des plantules (en mg) des hybrides expérimentaux MS₁, MS₂, MS₃ et MS₄ à 21 et 28 jours après émergence.

Pour les deux dates c'est l'hybride MS₃ qui présente le poids des plantules le plus élevé (tab. 21), suivi de l'hybride MS₂, l'hybride MS₁ et l'hybride MS₄ occupe la dernière place. Cette caractéristique est représentée sur la figure 7.

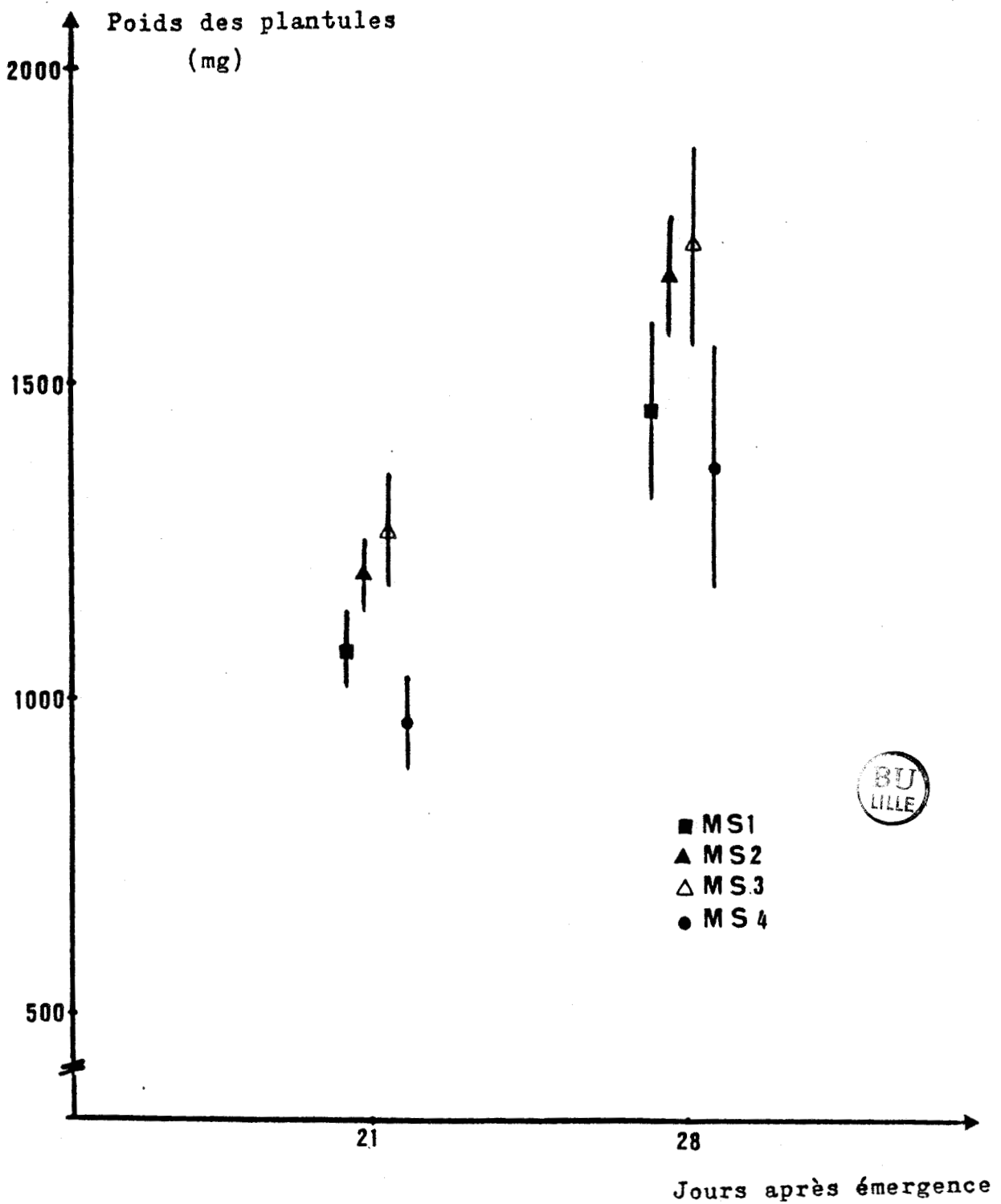


Figure 7 : Poids des plantules des hybrides expérimentaux MS_1 , MS_2 , MS_3 et MS_4 , 21 et 28 jours après émergence.

Les CV sont faibles comparativement aux variétés étudiées précédemment (tab. 5) à ces deux dates. A 21 jours les CV des hybrides sont compris entre 4,9 et 7,8 %, par contre ceux des variétés sont compris entre 10,3 et 18,1. A 28 jours les CV des premiers sont compris entre 5,4 et 13,9 %, ceux des seconds entre 14,9 et 19,2.

On peut expliquer ce phénomène par deux arguments : le premier est le calibrage des graines, le second est la maîtrise de l'environnement.

2. - Analyse de la variance

L'analyse de la variance (tab. 22) montre que la variance "hybrides" est supérieure à celle des blocs, ce qui n'était pas le cas chez les variétés commerciales (tab. 6).

Le F calculé sur blocs reste significatif malgré la maîtrise de l'environnement, mais le F calculé sur les hybrides devient supérieur au F calculé sur blocs ; cela veut dire que les variances interhybrides sont supérieures aux variances intrahybrides.

Les CV sont faibles, ce qui prouve la puissance du test.

3. - Conclusion

Le classement des variétés est toujours MS_3 , MS_2 , MS_1 et MS_4 .

A 21 jours les 4 hybrides sont distincts. A 28 jours l'hybride MS_2 ne se différencie pas de l'hybride MS_3 ; de même MS_1 et MS_4 sont confondus ; pourtant, le diamètre de l'hypocotyle permettait de distinguer les 4 hybrides.

D. - POIDS DES FEUILLES

1. - Résultats

Nous avons réalisé pour ce caractère aussi des pesages groupés.



dates en jours	Source de variation	variance	F. calculé et degré de signification	C.V.	p.p.d.s.	classement des hybrides
21	blocs hybrides erreur	17102,00 107606,94 971,04	17,61 * * 110,82 * *	2,75	0,05 0,01	MS ₃ a MS ₂ b MS ₁ c MS ₄ d
28	blocs hybrides erreur	65048,57 168297,67 8684,77	7,49 * * 19,38 * *	5,98	114,66 158,56	MS ₃ a MS ₂ a MS ₁ b MS ₄ b

Tableau 22 : Analyse de la variance, poids des plantules
des hybrides expérimentaux MS₁, MS₂, MS₃ et MS₄
à 21 et 28 jours après émergence.

Dates en jour	hybrides	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	μ	CV
21	MS ₁	829	883	863	906	843	961	881	5,4
	MS ₂	895	1015	967	1022	949	1023	977	5,2
	MS ₃	907	1069	1047	1142	998	1055	1036	7,6
	MS ₄	689	801	831	834	736	832	787	7,7
28	MS ₁	999	1192	1322	1153	1216	1333	1202	10,2
	MS ₂	1393	1431	1420	1223	1344	1478	1381	6,5
	MS ₃	1348	1634	1476	1187	1351	1491	1414	10,8
	MS ₄	877	1198	1184	1013	1144	1352	1128	14,5

Tableau 23 : Poids des feuilles, des hybrides expérimentaux MS₁, MS₂, MS₃ et MS₄ à 21 et 28 jours après émergence.

C'est toujours l'hybride MS₃ qui occupe la première place (tab. 23, fig. 8) suivi de l'hybride MS₂, MS₁ et MS₄.

Les CV sont légèrement supérieurs à ceux des poids des plantules, d'une demi unité à peu près.

A 28 jours c'est l'hybride MS₄ qui présente le CV le plus élevé.

2. - Analyse de la variance

Les amplitudes de variance sont proches de celles trouvées sur les poids des plantules du même matériel végétal (tab. 24) ; par contre, elles diffèrent de celles observées sur les 4 variétés.

Les CV sont nettement inférieurs à ceux rencontrés chez les variétés commerciales.

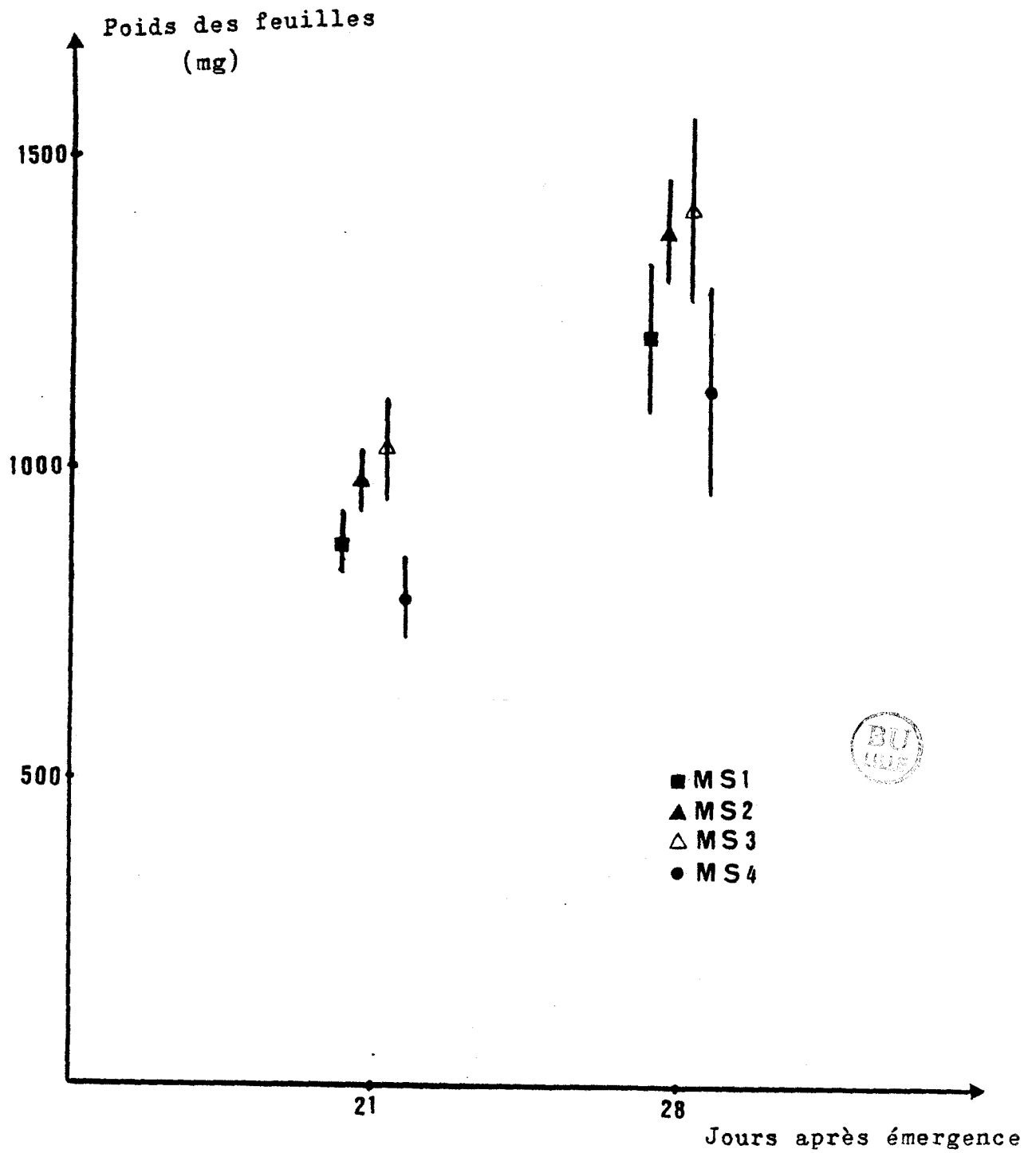


Figure 8 : Poids des feuilles des hybrides expérimentaux MS₁, MS₂, MS₃ et MS₄, 21 et 28 jours après émergence.



dates en jours	Source de variation	variance	F. calculé et degré de signification	C.V.	p.p.d.s		classement des hybrides			
					0,05	0,01				
21	blocs	12422,44	15,49 * *	3,08	34,84	48,18	MS ₃ a			
	hybrides	72264,82	90,11 * *				MS ₂ b			
	erreur	801,95					MS ₁ c			
							MS ₄ d			
28	blocs	51491,08	6,98 * *	6,70	105,66	146,12	MS ₃ a			
	hybrides	114984,38	15,59 * *				MS ₂ a			
	erreur	7375,68					MS ₁ b			
							MS ₄ b			

Tableau 24 : Analyse de la variance, poids des feuilles des hybrides expérimentaux MS₁, MS₂, MS₃ et MS₄ * 21 et 28 jours après émergence.

3. - Conclusion

On trouve le même classement que celui des poids des plantules. L'emploi des chambres climatisées a beaucoup amélioré la qualité du test.

E. - SURFACE FOLIAIRE

1. - Mode opératoire

Nous avons mesuré les surfaces des limbes des deux premières feuilles vraies 28 jours après émergence.

Les feuilles sont sectionnées au niveau de l'insertion entre pétioles et limbes. Les limbes sont étalés entre deux plaques de verre, nous les avons photocopiées et nous avons mesuré leurs surfaces à l'aide d'un planimètre (illustrations 1, 2, 3 et 4).

2. - Résultats



Nous avons réalisé trois répétitions.

Par l'analyse de la variance, nous avons trouvé un F calculé sur blocs de 1,67, le F tabulé (5 %) est de 5,14. F calculé est donc inférieur au F des tables, il n'y a pas d'effet répétition. Le F calculé sur variétés est de 11,12, le F tabulé est de 4,76, il y a donc effet variété. Les hybrides diffèrent l'un de l'autre par leurs surfaces foliaires.

Le CV est de 6,49 %.

Le classement des variétés est :

MS ₃	a	
MS ₂	a	b
MS ₁		b c
MS ₄		c

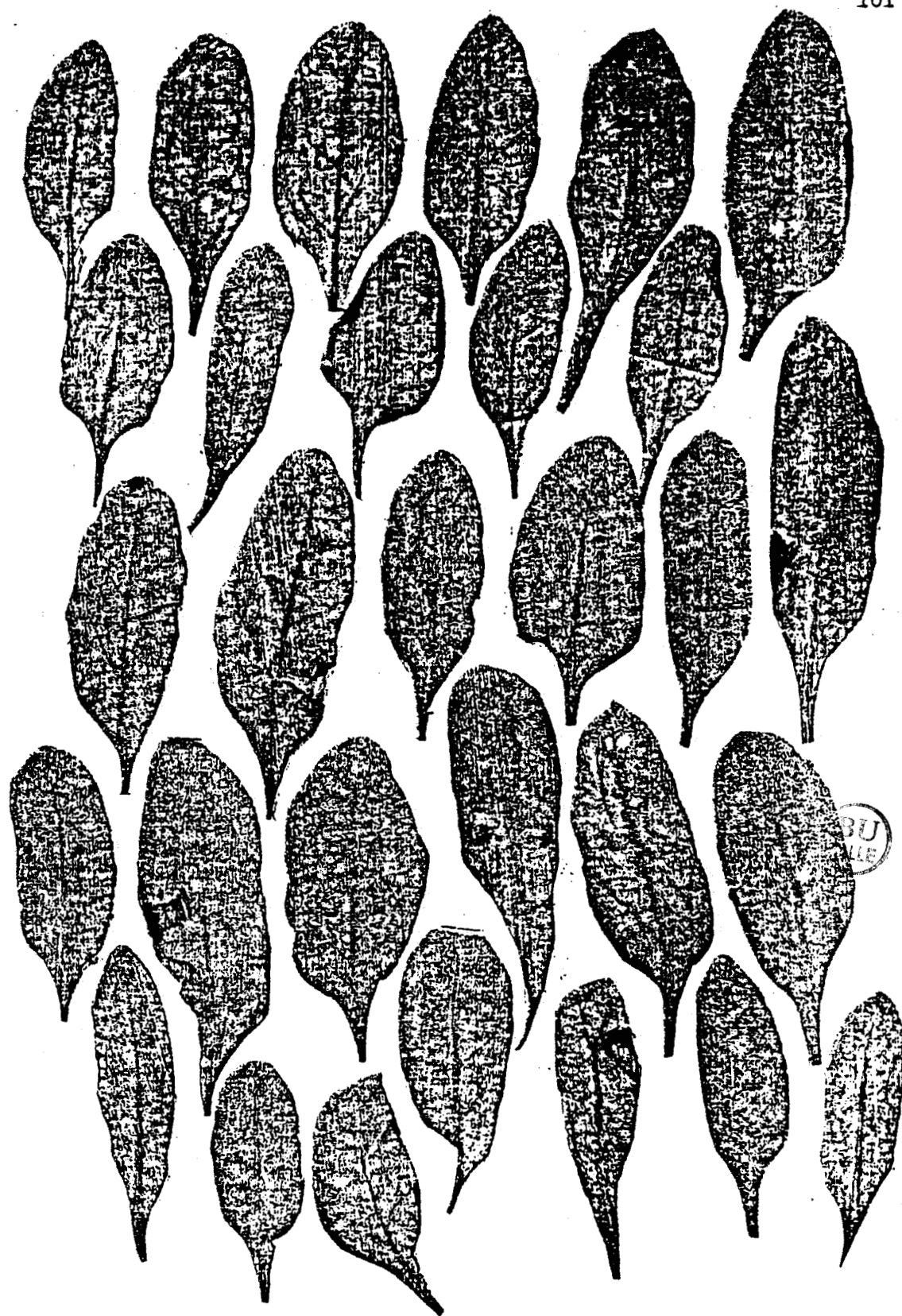


Illustration 1 : MS₁.

- surface totale de 30 feuilles	:	27 690	mm ²
- surface par feuille	:	923	mm ²
- écart-type	:	257	mm ²

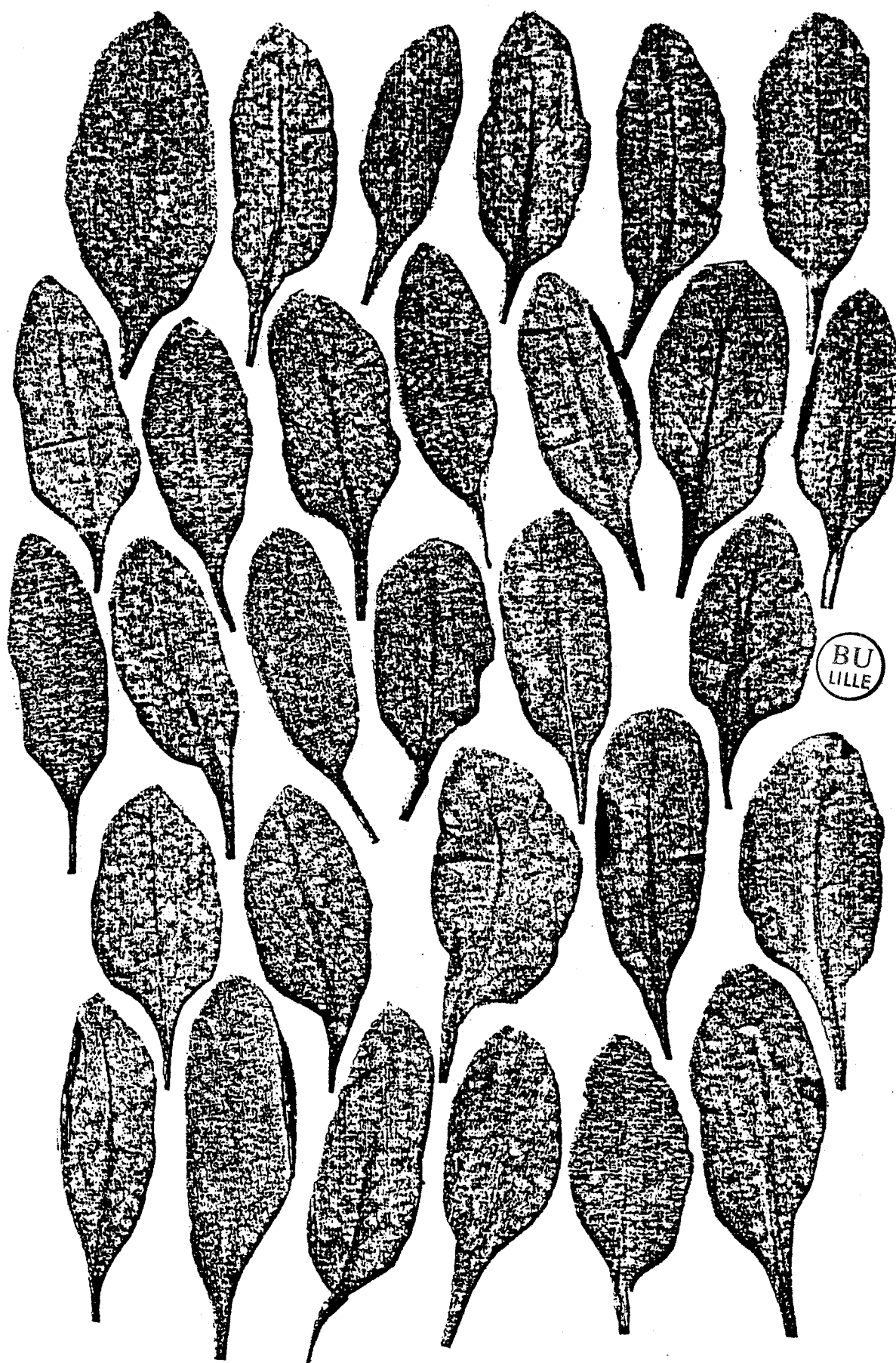


Illustration 2 : MS₂.

- surface totale de 30 feuilles	:	33300	mm ²
- surface par feuille	:	1110	mm ²
- écart-type	:	186	mm ²

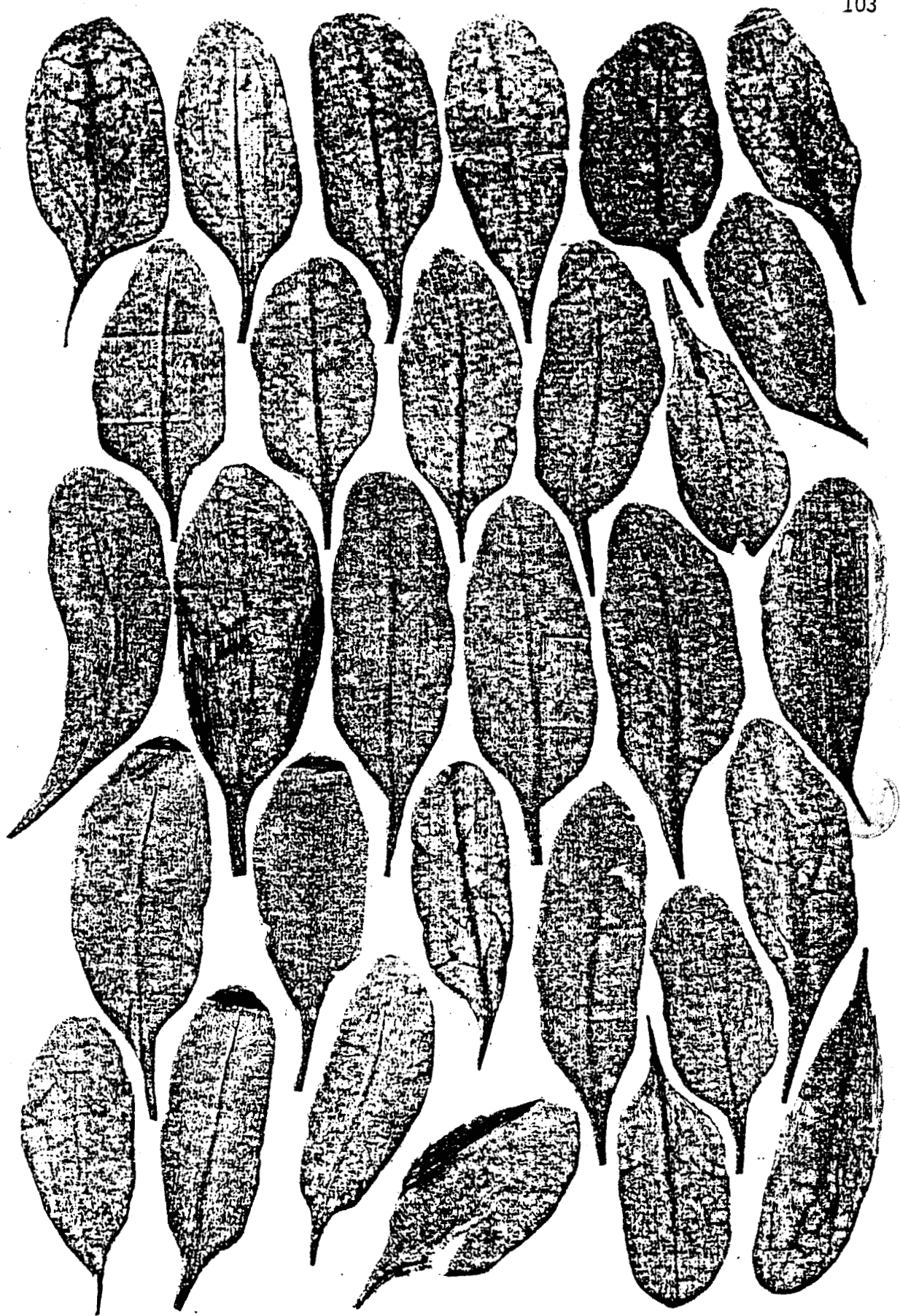


Illustration 3 : MS₃.

- surface totale de 30 feuilles	:	38850	mm ²
- surface par feuille	:	1295	mm ²
- écart-type	:	223	mm ²

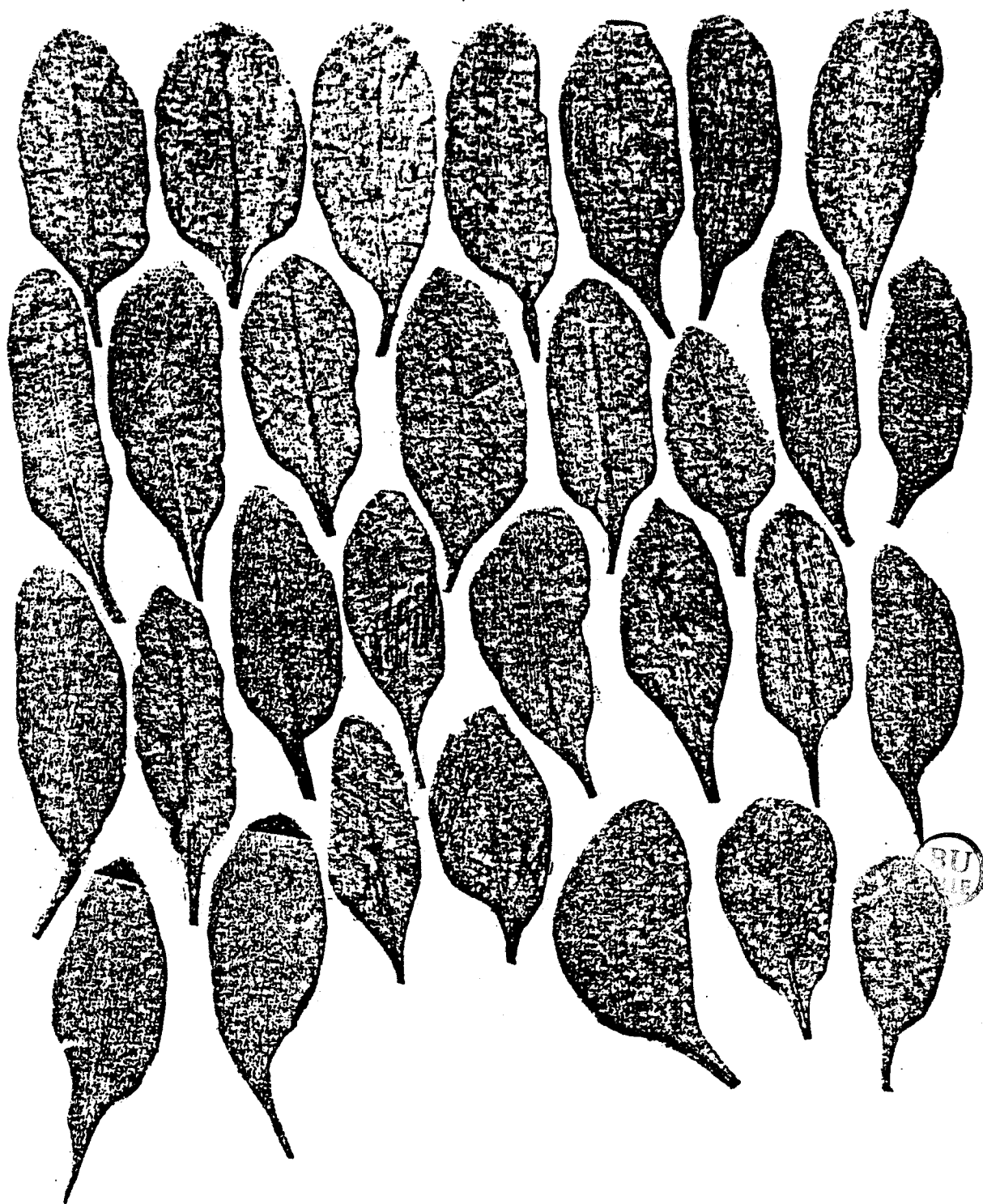


Illustration 4 : MS₄.

- surface totale de 30 feuilles	:	26460	mm ²
- surface par feuille	:	282	mm ²
- écart-type	:	202	mm ²

3. - Conclusion

On trouve le même classement des variétés qu'avec les autres critères.

Les hybrides MS_3 et MS_2 ne sont pas significativement différents. L'hybride MS_2 ne se distingue pas de l'hybride MS_1 par la surface de ses feuilles, de même que les hybrides MS_1 et MS_4 .

On peut donc différencier des hybrides par leur surface foliaire au stade juvénile. La seule difficulté réside dans l'évaluation des surfaces à l'aide du planimètre.

F. - POIDS DES LIMBES

Nous avons pesé les limbes des deux premières feuilles vraies ; nous avons trouvé les classements suivants :

- 21 jours après émergence

MS_3	a
MS_2	a
MS_1	b
MS_4	c

- 28 jours après émergence

MS_3	a
MS_2	a
MS_1	b
MS_4	b

Les CV sont de 5,35 % à 21 jours et 5,04 % à 28 jours. On trouve donc le même classement général et les mêmes degrés de signification que le poids des feuilles. Une seule exception à 21 jours : les hybrides MS_3 et MS_2 sont confondus.

G. - POIDS DE LA RACINE ET L'HYPOCOTYLE

Comme pour les autres caractéristiques, chez les hybrides expérimentaux nous n'avons retenu que les deux dates les plus discriminantes (21 et 28 jours après émergence). Nous avons réalisé 6 répétitions.

1. - Résultats



Dates en jour	hybrides	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	R ₆	μ	CV
21	MS ₁	169	205	207	209	233	196	203,2	10,2
	MS ₂	209	220	236	224	233	229	225,2	4,3
	MS ₃	198	246	251	234	252	236	236,2	8,5
	MS ₄	159	174	203	196	173	185	181,7	8,9
28	MS ₁	214	236	248	253	361	236	258,0	20,2
	MS ₂	280	247	274	287	380	304	295,3	15,4
	MS ₃	262	269	295	278	403	340	307,8	17,6
	MS ₄	175	242	225	252	337	250	246,8	21,3

Tableau 25 : Poids de la racine + hypocotyle (en mg) des hybrides expérimentaux MS₁, MS₂, MS₃ et MS₄ de la betterave à sucre, 21 et 28 jours après émergence.

C'est l'hybride expérimental MS₃ qui présente le poids de racines le plus élevé (tab. 25, fig. 9) suivi de l'hybride MS₂, MS₁ et MS₄.

A 21 jours le CV de l'hybride MS₂ est le plus faible. 28 jours après émergence, les CV des 4 hybrides sont plus élevés qu'à 21 jours.

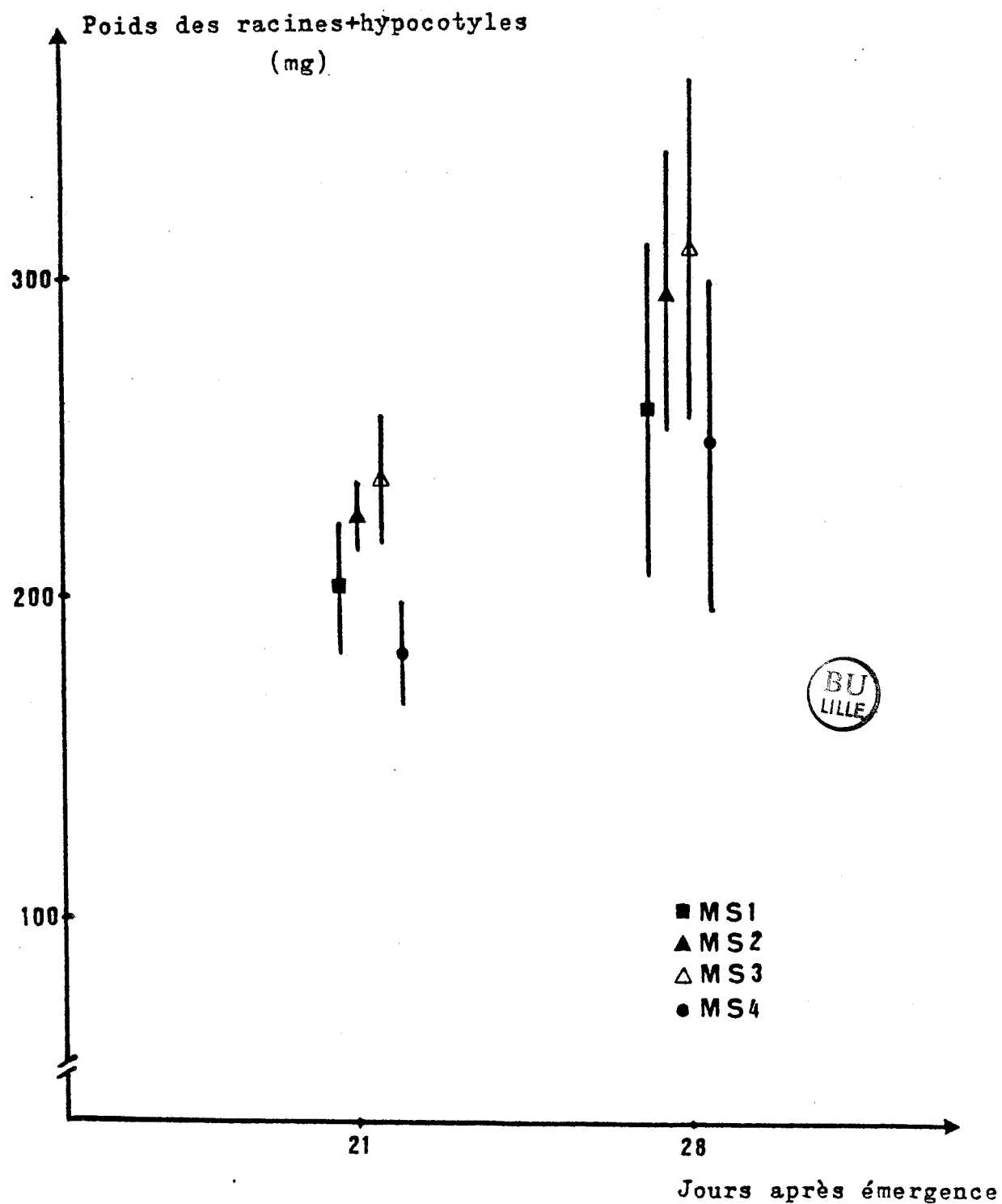


Figure 9 : Poids des racines et hypocotyles des hybrides expérimentaux MS₁, MS₂, MS₃ et MS₄, 21 et 28 jours après émergence.

2. - Analyse de la variance

L'analyse de la variance (tab. 26) montre qu'il y a effet répétition et effet hybride, cela veut dire que malgré la maîtrise des conditions d'expérimentation, l'effet répétition pour ce caractère a persisté. L'effet hybride signifie que les hybrides sont différents les uns des autres.

Les CV sont faibles, ce qui prouve que ce caractère est précis.

A 21 jours, on obtient 3 classes, MS_3 et MS_2 en première classe, MS_1 en 2ème classe et MS_4 en dernière position bien distincte. A 28 jours, seulement deux classes : MS_3 et MS_2 en 1ère et MS_1 et MS_4 en 2ème.

Les CV sont comparables à ceux des variétés commerciales malgré le contrôle de la température et de la lumière.

H. - LE RAPPORT RACINE + HYPOCOTYLE/FEUILLES + COTYLEDONS

Tel que nous l'avons mesuré, le rapport (R/F) n'a pas permis de distinguer les 4 hybrides entre eux.

Par l'analyse de la variance, nous avons trouvé les résultats suivants :

- à 21 jours

MS_1	a
MS_2	a
MS_4	a
MS_3	a

- à 28 jours

MS_3	a
MS_4	a
MS_1	a
MS_2	a



dates en jours	Source de variation	variance	F. calculé et degré de signification	C.V.	p.p.d.s.		classement des hybrides	
					0,05	0,01		
21	blocs	861,84	7,68 * *	5,01	13,03	18,02	MS ₃	a
	hybrides	3509,38	31,28 * *				MS ₂	a
	erreur	112,18					MS ₁	b
28							MS ₄	c
	blocs	9486,90	27,77 * *	6,67	22,74	31,45	MS ₃	a
	hybrides	5115,67	14,97 * *				MS ₂	a
	erreur	341,63					MS ₁	b
							MS ₄	b

Tableau 26 : Analyse de la variance, poids de la racine + l'hypocotyle des hybrides expérimentaux MS₁, MS₂, MS₃ et MS₄ 21 et 28 jours après émergence.

I. - TAILLE DES SEMENCES

Le poids de 1 000 pyxides (en g) :

MS_1 : 12,68

MS_2 : 12,82

MS_3 : 13,15

MS_4 : 12,48

En dépit de leurs calibres identiques, le poids de 1 000 pyxides diffère d'un hybride à l'autre.

Comme pour les variétés commerciales, nous avons décomposé les semences en péricarpes + téguments et germes.

Sans entrer dans le détail des résultats, nous considérerons la comparaison des moyennes.

1. - Analyse de la variance

L'analyse de la variance (tab. 27) montre qu'il n'y a pas d'effet répétition alors que pour les variétés commerciales (tab. 14), on avait un effet répétition sur le poids des pyxides. L'homogénéité du calibrage a fait disparaître cet effet.

Pour les 3 composantes (tab. 27), nous avons un effet hybride. Les hybrides diffèrent donc par le poids des pyxides, des péricarpes et des germes.

Les coefficients de variation sont faibles.

Le poids de pyxides classe les hybrides ainsi : $MS_3 > MS_2 \geq MS_1 > MS_4$.

L'hybride expérimental MS_3 a le même calibre de semences que les trois autres, mais ses graines sont plus denses ; l'hybride MS_2 prend la deuxième position, mais ne diffère pas de MS_1 ; l'hybride MS_4 occupe la dernière position par le poids de ses graines.

Sources de variation	degré de liberté	poids des pyxides		poids des péricarpes + téguments		poids des germes	
		variance	F	variance	F	variance	F
répétitions	5	328,07	1,81 NS	52,98	0,99 NS	185,34	1,07 NS
hybrides	3	3897,83	21,56 * *	957,93	17,85 * *	5153,49	29,65 * *
erreur	15	180,80		53,66		173,79	
Coeff. de variation en %		1,17		0,92		3,69	
classement des hybrides		MS ₃ MS ₂ MS ₁ MS ₄	a b b c	MS ₁ MS ₃ MS ₄ MS ₂	a b b c	MS ₃ MS ₂ MS ₁ MS ₄	a a b b

Tableau 27 : Analyse de la variance poids des pyxides, poids des téguments + péricarpes et poids des germes.

Par le poids des péricarpes + téguments, l'hybride MS_1 est en tête du classement, suivi des hybrides MS_3 et MS_4 qui ne se distinguent pas, puis c'est l'hybride MS_2 qui présente le poids des péricarpes le plus faible.

Par le classement des hybrides d'après leurs poids de germes, c'est l'hybride MS_3 qui est à nouveau en tête suivi de l'hybride MS_2 sans différence significative ; l'hybride MS_1 prend la troisième position sans différence significative avec l'hybride MS_4 .

2. - Conclusion

Le classement des hybrides par le poids de semence se confond exactement avec le classement des 4 hybrides par leurs rendements en sucre (tab. 20).

Le poids des semences et des germes apporte donc des renseignements importants en ce qui concerne la prévision du rendement au stade semence.

3ème PARTIE

RECHERCHE D'UNE FONCTION.

RENDEMENT AUX CHAMPS ET UNE DES VARIABLES
DE LA PLANTULE.

Dans l'analyse des données que nous venons de réaliser à la fois sur les variétés et les hybrides nous avons abouti à un classement par les moyennes des variétés et d'hybrides en fonction de leur rendement aux champs et d'un caractère quantitatif de la plantule. A l'exception du calcul de corrélation sur un couple de variable très faible ($n = 4$). p. 51 et p. 59 nous n'avons pas établi de relation directe entre les deux classements. En outre nous effaçons dans ce classement l'information de la variabilité des caractères quantitatifs et si nous n'en tenons pas compte nous faussons les conclusions.

A. - LE TEST PRECOCE SUR LE PLAN STATISTIQUE

En effet le sélectionneur attend du test précoce un résultat fiable et utilisable sur tout matériel.

Par le test précoce le sélectionneur veut reconnaître sur la plantule le caractère du rendement aux champs qu'il ne peut estimer que plus tard, ce qui lui permettra d'économiser le temps de choisir la meilleure ou quelques unes des meilleures souches dès le stade plantule.

Pour réaliser ce tri il faut pouvoir prédire à partir d'un caractère de plantule le rendement aux champs, cette démarche correspond exactement à la méthode statistique de la régression, qui permet d'établir une fonction entre deux variables. Dans notre expérience la variable indépendante est le rendement aux champs (variable X) et la variable dépendante est l'un des caractères de la plantule (variable Y). La régression consiste à établir la fonction suivante :

Valeur du caractère de la plantule : fonction de la valeur rendement aux champs et la recherche statistique consiste à démontrer que cette relation existe bien dans notre matériel.

B. - LE PROBLEME STATISTIQUE POSE PAR LES DONNEES

La structure de nos données classe l'analyse de la régression dans le modèle II. En effet à la fois la variable X et la variable Y sont soumises aux fluctuations d'échantillonnage déterminés par les conditions d'environnement. Selon les auteurs le calcul de régression sera toujours biaisé et il est très compliqué. Les ouvrages de statistiques récents conseillent aux agronomes d'utiliser la régression qui montre simplement que les 2 variables sont liées, sans démontrer une fonction ; malheureusement la démarche expérimentale suivie ne nous permet pas d'exploiter la méthode de la corrélation, en effet celle-ci suppose que l'on mesure les 2 variables sur le même individu, dans notre cas cela suppose que la variable rendement aux champs du bloc 1 correspond aux mêmes plantes du bloc 1 ce qui n'a pas été réalisé.

Le seul calcul de corrélation possible est celui entre les 4 moyennes rendement aux champs et les 4 moyennes plantules, le coefficient de corrélation dans ce cas n'est pas exploitable car il est soumis à une grande fluctuation d'échantillonnage. Normalement un coefficient de corrélation n'a de sens que s'il porte sur un minimum de 30 couples de valeurs.

Pour nous permettre d'établir un test précoce nous avons donc été obligés de trouver un moyen pour utiliser la régression.

Nous rendons la variable X stable en considérant la moyenne des rendements et nous conservons la variabilité de la variable Y, nous nous situons ainsi dans le modèle I de l'analyse de régression, dans lequel nous pouvons trouver s'il y a fonction entre les 2 variables.

C. - ANALYSE DE LA REGRESSION DE LA VARIABLE PLANTULE, VARIABLE RENDEMENT AUX CHAMPS

1. - Choix des variables

Nous n'effectuerons ce calcul que sur les hybrides sur lesquels nous disposons d'un plan complet d'expérimentation (cf. P. 90).

L'analyse de la variance nous a montré que le seul rendement en sucre permet de séparer MS_3 de MS_4 ou de MS_2 et MS_1 , mais ces deux derniers sont confondus. De ce fait nous les considérerons comme si nous n'avions que 3 hybrides MS_3 , MS_4 et MS_1 (cf. p. 92).

Parmi les caractères morphologiques des plantules nous ne retiendrons que ceux où les 3 hybrides sont séparables par l'analyse de la variance, ce sont le diamètre de l'hypocotyle 21 et 28 jours (p. 88), le poids des plantules à 21 jours (p. 96) poids des feuilles (p. 99) poids des limbes à 21 jours (p. 105), poids de la racine + l'hypocotyle (p. 109) et poids des pyxides (p. 111).

Nous effectuerons d'abord le calcul le plus simple dans lequel nous prenons la moyenne par hybride, ce calcul permettra d'estimer la fonction qui était estimée dans le classement trouvé au chapitre IV, 2ème partie, et ensuite nous ferons le calcul sur la variable Y en y introduisant la variabilité introduite par les blocs. En raison de l'ampleur des calculs nous n'effectuerons ce travail que sur la variable diamètre de l'hypocotyle*.

* La méthode utilisée est préconisée par SOKAL R. ET ROHLF F.J., dans leur excellent ouvrage BIOMETRY, 2ème édition 1981, p. 468 et 480-482.

2. - Calcul de la régression en utilisant la moyenne de la variable dépendante.

Les résultats de ce calcul sont données par la droite de la régression (figure 10) et le tableau donnant les test de signification de la régression (tableau 28). Nous voyons que dans la majorité des cas il y a régression linéaire, sauf pour le diamètre de l'hypocotyle à 21 jours ; pour toutes les variables la droite de régression nous apporte une information supplémentaire, à partir d'un rendement donné nous pouvons prédire le caractère de la variable plantule, mais nous devons rappeler que dans ce calcul nous ne tenons pas compte de la variabilité apportée par les blocs, inconvénient signalé plus haut.

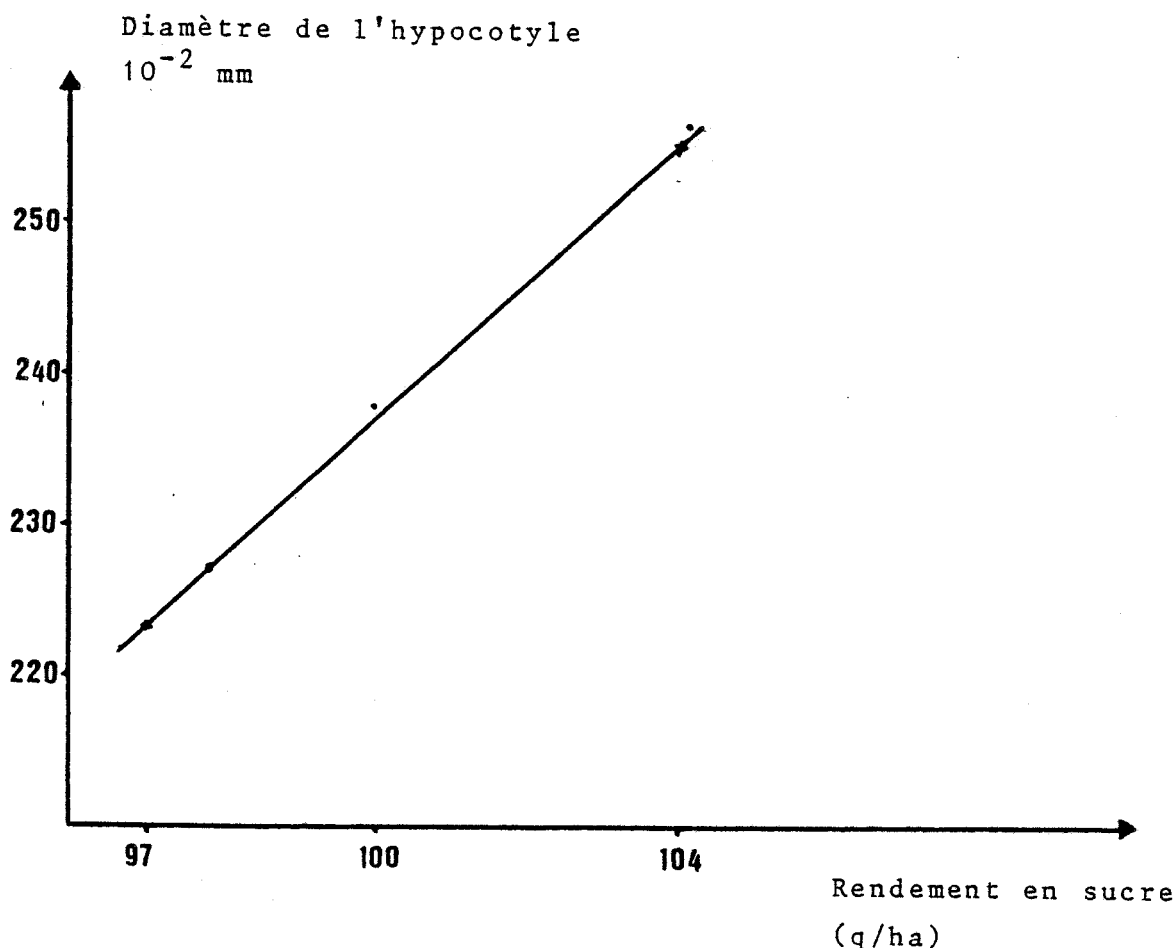


Figure 10 : Droite de régression diamètre del'hypocotyle, 28 jours après émergence, rendement en sucre de la betterave à sucre.

$$Y = 4,55 X - 218,30$$

variable Y dépendante analysée		F. calculé et degré de signification	
diamètre de l'hypocotyle	21 j.	39,98	N.S.
diamètre de l'hypocotyle	28 j.	970,64	* *
poids des plantules	21 j.	410,00	*
poids des feuilles	21 j.	425,27	*
poids des limbes	21 j.	629,07	*
poids de la racine + l'hypocotyle	21 j.	217,31	*
poids des pyxides		635,00	*

Tableau 28 : Résultats des tests de signification de la régression; la variable Y étant la moyenne par hybride (n = 3).

F. théorique à 1 ddl

0,05 = 161

0,025 = 648

N.S. : F. non significatif

* : F. significatif à 0,05

* * : F. significatif à 0,025



3. - Exploitation de la variabilité introduite par les blocs

Nous avons effectué le calcul sur le diamètre de l'hypocotyle à 21 jours l'analyse de la variance ayant montré qu'il n'y a pas effet bloc, et à 28 jours (cf. p. 88).

3.1 - Régression diamètre de l'hypocotyle 21 jours, rendement en sucre.

Les données sont les suivantes :

variable indépendante X = rendement en sucre (q/ha)

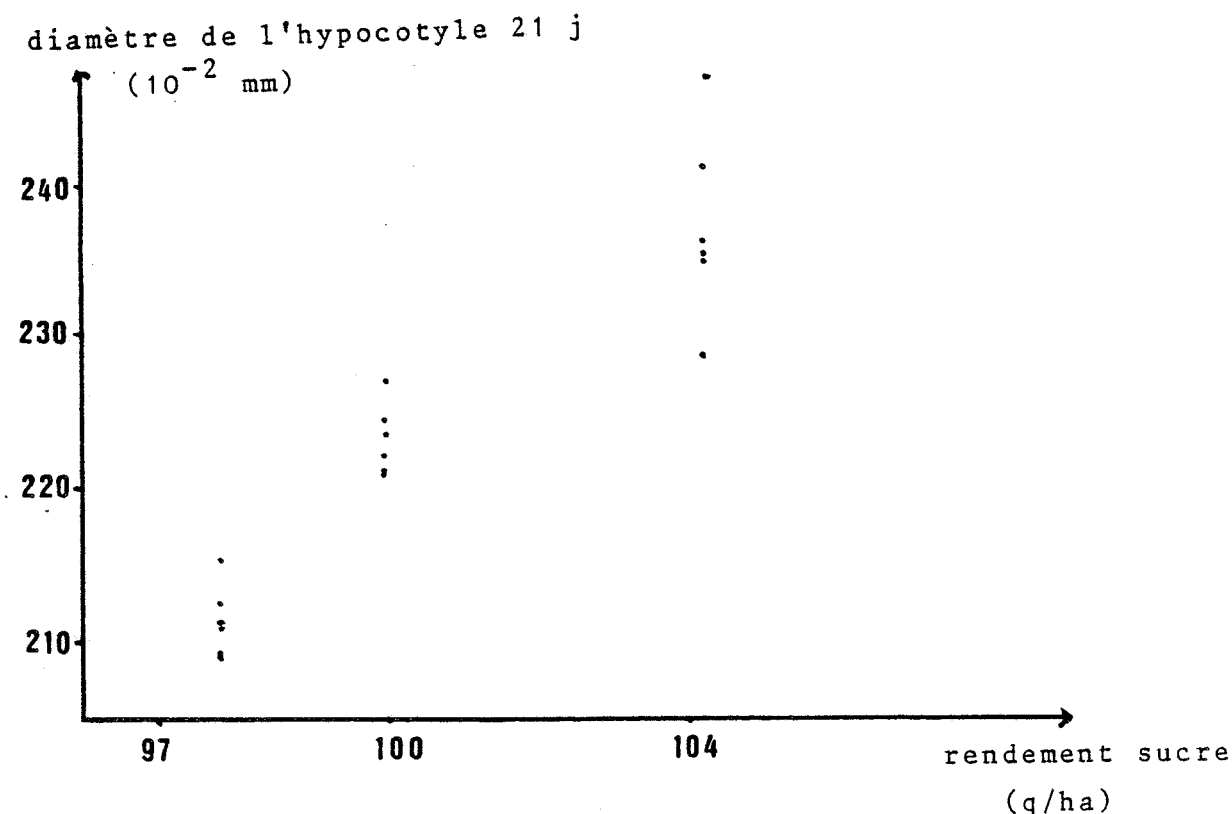
variable dépendante Y = diamètre de l'hypocotyle (10^{-2} mm)

X	104,21	99,97	97,84	BU LILLE
Y	236,0	224,6	212,6	
	241,1	222,2	208,2	
	247,0	223,5	211,1	
	234,8	220,9	215,3	
	235,3	227,0	208,4	
	228,6	220,9	211,3	

Le test de l'analyse de régression donne le tableau suivant :

Source de la variation	ddl	SS = somme des carrés quadratiques	MS = moyenne des écarts quadratiques	F
entre hybrides	2	2029,0744	1014,5372	58,6039**
régression linéaire	1	1985,8970	1985,8970	45,9939NS
déviatiion de la régression à l'intérieur des hybrides	1	43,1774	43,1774	2,4941NS
	15	259,6767	17,3118	
Total	17	2288,7511		

On voit que les 3 hybrides sont distincts (F. significatif au delà de 0,01) ; par contre la dispersion des couples est compatible avec la régression ($F = 2,4941$ non significatif mais il n'y a pas de régression ($F = 45,9939$ non significatif), ce qui veut dire que la variance de Y ne peut pas être expliquée par la régression en X. Cette propriété est visible sur le diagramme de dispersion. Les différents points des couples présentent une dispersion aléatoire.



donc lorsque la variabilité de Y intervient dans le calcul de régression le résultat reste identique à celui obtenu sur les moyennes (cf. tableau 28).

3.2 - Régression diamètre de l'hypocotyle 28 jours rendement en sucre

Les données sont les suivantes

X	104,21	99,97	97,84
Y	252,7	232,6	224,0
	261,2	238,3	227,3
	256,4	244,2	229,3
	257,8	245,2	227,8
	259,9	237,8	227,1
	250,1	229,2	227,0

Analyse de la variance



Source de la variation	ddl	SS = somme des carrés quadratiques	MS = moyenne des écarts quadratiques	F
entre hybrides	2	2617,7250	1308,8625	0,14 NS
régression linéaire	1	2520,0964	2520,0964	0,2757NS
déviations de la régression	1	97,6306	97,6306	0,01 NS
à l'intérieur des hybrides	15	137106,5080	9140,4379	

L'analyse de la variance qui précède le test de signification de la régression (tableau ci-dessus) est à un seul facteur les hybrides, les blocs étant considérés comme de simples répétitions (l'analyse de la variance à la page 88 est à deux facteurs : blocs et hybrides ; dans ce cas F demeure non significatif c.a.d que les 3 moyennes du diamètre de l'hypocotyle ne sont pas séparables ; ceci implique qu'il n'y a pas régression. Donc lorsqu'on considère la fluctuation de l'échantillonnage on obtient un résultat différent (cf. tableau 28), avec les moyennes il y a régression, avec les répé-

titions il n'y a pas régression.

Il est très probable que nous retrouvions la même situation avec les autres variables de la plantule.

D. - CONCLUSION

On voit que les difficultés de l'analyse statistique viennent du fait que les caractères analysés sont sous l'influence très forte de l'environnement ; c'est la variabilité qui complique la conclusion. L'analyse de la régression nous amène à proposer un nouveau programme de mesure qui était au début de ce travail imprévisible : mesure 2 ou 3 caractères importants de la plantule, sur un échantillon de 100 plantules, extrait d'une population plus importante qui servira aux mesures du rendement aux champs. On disposera ainsi des résultats de deux variables prises dans la même population. Avec ces couples de valeur on pourra procéder à une estimation des coefficients de corrélation qui est un meilleur test statistique du modèle II de la régression. Il n'était pas possible d'envisager cette méthode quand on a commencé notre travail pour deux raisons.

La première : nous voulions faire un inventaire plus complet des caractères de la plantule ce qui, dans certains cas conduit à l'élimination des plantules.

La deuxième : après la réalisation de ce travail nous n'avons pas suffisamment insisté sur la variabilité des caractères, en outre nous n'étions pas suffisamment informé sur la physiologie de la jeune plantule. Nous n'avons donc pas voulu insérer dans notre expérimentation un processus plus long et plus difficile à réaliser.

Compte tenu des limites de notre méthode d'analyse dans la suite de la discussion nous centrerons notre attention sur les moyennes.

DISCUSSION

Le rendement global de la betterave à sucre est évalué par la quantité de sucre que fournit finalement un hectare cultivé. Pratiquement, c'est le produit du rendement en racines par le taux de sucre (%) que produisent celles-ci. Ainsi, on obtient un rendement de 112 qx de sucre/ha avec une variété de type E qui donne 70 tonnes de racines par hectare et dont la richesse en sucre est de 16 % par rapport au poids de pulpe fraîche. De même, le rendement d'une variété type Z sera de 95 qx si l'on récolte 50 tonnes de racines à 19 % de sucre.

Pour augmenter le rendement en racine de la betterave à sucre, les sélectionneurs utilisent des plantes de 5 mois avec un espacement standard (GASKILL, 1942 ; NICKOLS, 1938).

Rappelons que le poids des racines de plantules âgées de 3 semaines est en relation avec le rendement aux champs (coefficient de corrélation $r = 0,40$). Il en est de même du **diamètre de l'hypocotyle** dont le coefficient de corrélation avec le rendement aux champs est, cette fois, de 0,70 (DONEY et THEURER, 1976).

Pour les 11 sujets que nous avons étudiés au laboratoire, nous avons confirmé ces mêmes corrélations et nous en avons également établies d'autres, entre le rendement global en sucre et différents critères.

Le coefficient de corrélation est positivement significatif entre le diamètre de l'hypocotyle et le rendement en racine d'une part et, d'autre part, le sucre total à l'hectare (rendement aux champs). Les corrélations sont négatives entre le diamètre de l'hypocotyle des jeunes plantules et la teneur en sucre des racines. Les valeurs observées sont du même ordre que celles signalées par des auteurs cités précédemment.

Au début de notre travail, nous avons classé des variétés qui étaient éloignées les unes des autres par leur rendement aux champs.

Pour toutes ces variétés, nous avons montré qu'il est souhaitable de mesurer le diamètre de l'hypocotyle lorsque les plantules sont âgées de 3

à 4 semaines. Avant cette date, les erreurs de mesures sont plus importantes pour les différences à mettre en évidence entre les variétés. Lorsque les mesures sont faites plus tardivement, beaucoup d'hypocotyles, même dans les conditions les plus favorables, risquent d'être fissurés. Par contre, 21 ou 28 jours seulement après émergence, les coefficients de variation des variétés commerciales étudiées au laboratoire sont faibles (2,18 à 1,62 %) ce qui démontre la précision de notre test de sélection précoce. Son efficacité est comparable à celle des investigations classiques (rendement racine et sucre total à l'hectare par essais aux champs) dont la précision n'est d'ailleurs pas supérieure (C.V. de 2,45 à 2,75 %).

L'examen du seul diamètre de l'hypocotyle permet également de distinguer nettement des hybrides expérimentaux dont les caractères sont relativement peu éloignés. Aux mêmes dates de prélèvement (21 et 28 jours), la précision est également très grande. Toutefois, avec ce matériel, une stricte maîtrise de l'environnement (température, éclairage et ventilation) s'avère encore plus nécessaire qu'avec les variétés commerciales si l'on veut assurer des variances inter-bloc d'un niveau suffisamment faible. Rappelons qu'il faut également dans tous les cas synchroniser la germination du matériel testé (choix privilégié d'une température froide pour la germination). Précisons enfin que la mesure du diamètre de l'hypocotyle de 30 plantules par un manipulateur expérimenté s'effectue en 10 mn environ. Il existe actuellement des appareils automatiques susceptibles de faciliter encore ces opérations.

Le calcul du nombre de mesures et de répétitions sur ce critère a révélé que pour mettre en évidence une différence de 10 % entre les variétés les plus éloignées, 23 plantules seulement sont nécessaires pour chaque variété. De même, cette différence est révélée à partir de deux répétitions. Bien entendu, le nombre de plantules et de répétitions peut varier quelque peu avec le choix du risque, la date de prélèvement et le matériel étudié.

On pourrait, certes, remplacer la mesure du diamètre de l'hypocotyle par la pesée d'une fraction de cet organe. Mais cela implique une standardisation rigoureuse pour le prélèvement des fragments de 2 à 3 cm de longueur.

Le diamètre de l'hypocotyle est donc suffisamment intéressant pour la bonne relation avec le rendement qu'il exprime. L'appréciation de l'aptitude à la combinaison pour ce caractère est parallèle aux résultats de l'aptitude à la combinaison pour le rendement en racines.

Ces deux remarques importantes font que les auteurs en conseillent l'utilisation en sélection précoce.

Ceci souligne combien notre test est intéressant à appliquer tant pour sa précocité que pour l'économie de main d'oeuvre et de matériel qu'il procure par rapport aux méthodes classiques d'évaluation du rendement global en sucre à l'hectare.

La recherche d'un deuxième critère différentiel nous amène à considérer ensuite le poids global des plantules.

Comme RÖSTEL (1971), nous avons trouvé une corrélation positivement significative entre la valeur du poids frais des plantules et le rendement pondéral au champ. Soulignons que nos mesures peuvent s'effectuer après 21 ou 28 jours de culture, c'est-à-dire aux mêmes dates que celles du diamètre de l'hypocotyle. D'autre part, les manipulations sont faciles et à la portée d'un simple technicien. Avec ce critère, nous n'avons eu aucune difficulté pour classer tant les variétés commerciales que les hybrides expérimentaux entre-eux. Toutefois, les variances intravariétales restent plus élevées que celles trouvées sur le diamètre de l'hypocotyle. D'autre part, pour que les variances interblocs ne soient pas supérieures aux variances intervariétés, il est nécessaire d'acquérir une bonne maîtrise de l'environnement. Par exemple, avec un bon contrôle des conditions extérieures, nous avons trouvé chez les hybrides expérimentaux des variances entre blocs nettement inférieures aux variances entre les hybrides eux-mêmes et cela y compris lorsque les qualités génétiques de ces derniers sont très voisines du fait de leurs parents communs. De plus, les coefficients de variation chutent avec ce contrôle.

Ces constatations sont très importantes ; elles montrent jusqu'à quel point le critère poids des plantules est sensible aux conditions extérieures. Si ce critère était finalement retenu, la réussite du test dépendrait donc étroitement de ces conditions.

Ce critère corrèle également avec le diamètre de l'hypocotyle ($r = 0,73$).

Pour l'ensemble du matériel végétal étudié à l'aide du critère "poids frais", nous avons toujours obtenu le même classement que celui correspondant au rendement pondéral aux champs et même à la quantité de sucre total. Toutefois, pour que la sélection par le "poids frais" n'amène pas à obtenir des variétés très lourdes, et pauvres en sucre, le sélectionneur doit prendre en considération le poids sec des plantules qui est un meilleur indice de richesse en sucre que le simple "poids frais". En partant du principe que le sucre représente à peu près 80 % de la matière sèche totale, si on choisit des plantules qui ont un diamètre d'hypocotyle et un poids frais élevés, avec un poids sec convenable, on aboutit finalement à des variétés qui donnent plus de sucre à l'hectare.

On peut se demander si le simple examen du poids frais "racine + hypocotyle" n'est pas susceptible de nous mener aux mêmes résultats. Comme le soulignait déjà SNYDER, en 1979, ce critère est en étroite corrélation avec le diamètre de l'hypocotyle. Nos propres essais s'accordent sur ce point ($r = 0,65$). Toutefois, sa variance intravariétale est plus élevée que celle du diamètre de l'hypocotyle, la cause en est la prise en considération des racines secondaires dont le poids représente 13 à 15 % de l'ensemble racine principale + hypocotyle. Ce pourcentage augmente avec l'évaporation jusqu'à atteindre 40 %. De plus, nous avons observé que la déshydratation favorise aussi le développement des racines secondaires. C'est le cas, en particulier, lorsque les miniserres ne sont pas couvertes. Néanmoins, d'une manière générale, ce critère varie moins avec l'environnement que le poids des feuilles. En revanche, il est nettement influencé par l'allongement de l'hypocotyle qui entre pour une large part dans la composante hypocotyle + racine. Ce facteur est fonction de la température, de l'humidité environnante et aussi de l'éclairement.

Rappelons à ce sujet les résultats obtenus en faisant varier l'hygrométrie, par exemple, avec des miniserres couvertes et d'autres non. La **longueur des hypocotyles** avait été mesurée 28 jours après émergence (on sait d'ailleurs que des résultats semblables auraient pu être observés dès le 14^e jour [KABIL, 1982]). Le fait d'enlever les couvercles des miniserres a diminué la longueur des hypocotyles de 14 à 21 % selon la variété. Mais la variabilité est plus grande par suite de l'hétérogénéité de l'alimentation en eau ; c'est pourquoi, nous avons, malgré tout, préféré ne pas éviter l'étiollement des hypocotyles car les expériences réalisées avec les miniserres non couvertes ne permettent pas de classer les variétés par suite de la variabilité des résultats.

En miniserres couvertes, avec les variétés commerciales, en considérant la longueur des hypocotyles, nous avons obtenu le classement suivant : variété B, A, D et C ; on obtient trois classes B bien distinctes, A et D constituent le même groupe et la variété C occupe la dernière position.

Parallèlement, les hybrides expérimentaux ont été classés selon l'ordre décroissant suivant : MS2, MS3, MS1 et MS4. Mais l'analyse de la variance montre que seuls les hybrides MS2 et MS4 sont significativement distincts.

Une série de plantules comparables, placées en miniserres non couvertes, a donné le classement suivant : MS4, MS2, MS1 et MS3. Cette fois, le F calculé sur la variable hybride n'est pas significatif.

Bien que la longueur de l'hypocotyle soit en relation étroite avec la teneur en sucre, nous sommes donc amené à écarter ce critère qui ne permet pas de distinguer finement les hybrides entre-eux.

Nous avons également tenté de classer variétés et hybrides expérimentaux en fonction du **poids global de leurs feuilles** à différents stades de culture. Le taux de discrimination par ce critère est inférieur à celui du diamètre de l'hypocotyle, poids des plantules et poids de la racine + l'hypocotyle chez les variétés commerciales. Ce critère, qui est une composante du poids des

plantules est aussi très influencé par les conditions environnantes. Le C.V. 21 jours après émergence qui est de 9 % chez les variétés commerciales n'est que de 3 % chez les hybrides expérimentaux.

Le siège de la photosynthèse étant dans les feuilles, l'efficacité photosynthétique pourrait être un critère satisfaisant dans la mesure où elle est liée à la productivité des plantes cultivées. Les particularités du développement foliaire de la betterave à sucre rend difficile la transposition directe des résultats obtenus avec d'autres espèces. Il serait donc intéressant de réaliser une étude sur les caractéristiques du feuillage. La surface et l'angle des feuilles sont cependant des caractéristiques plus faciles à apprécier à un stade avancé en culture aux champs.

En matière de sélection précoce, il est difficile d'évaluer l'angle des feuilles puisque les plantules sont sous lumière artificielle, le phototropisme trouble la mesure; par contre, nous avons évalué la **surface foliaire** précocement (bien que certains auteurs soulignent que ce critère demande un stade avancé chez la betterave à sucre).

Nous avons mesuré la surface foliaire des deux premières feuilles vraies des hybrides expérimentaux et évalué leur poids. Celui-ci nous a donné le même classement qu'avec les autres critères, classement qui correspond à celui déterminé au cours d'essais aux champs.

En ce qui concerne la surface foliaire, nous avons déterminé la surface de limbes des plantules de 4 semaines. Les différences sont tout-à-fait remarquables. Ainsi, au premier coup d'oeil, on constate déjà que c'est l'hybride expérimental MS3 qui présente les feuilles les plus étalées, suivi de l'hybride MS2, puis MS1 et MS4. Par les calculs de la surface en mm^2 , nous avons trouvé le même classement, avec 3 classes.

S'il faut à peu près 10 mn pour sélectionner et mesurer le diamètre de 30 hypocotyles, 1 mn pour peser 30 plantules, il faut 3 heures pour sectionner, étaler, photocopier et mesurer la surface de 30 limbes. Cette méthode de mesure à l'aide du planimètre manuel physique est longue ; néanmoins,

il existe des appareils électroniques et optiques automatiques qui permettent de mesurer plus de 500 feuilles à l'heure. L'inconvénient de ces appareils (de fabrication étrangère) est leur coût (entre 20 et 100 mille francs) ; c'est au sélectionneur de prendre sa décision en fonction de l'utilité de cet appareil. A notre avis, cet appareil est utilisé pour plusieurs espèces, donc c'est un outil de travail important qui peut apporter des renseignements pour la sélection.

Le rapport poids de la racine + l'hypocotyle sur le poids des feuilles + cotylédons (R/F) tel que nous l'avons mesuré n'a pas permis de distinguer les variétés et les hybrides entre-eux.

Nous avons trouvé la même allure de courbe en fonction du temps que celle trouvée par SNYDER (1979), mais avec des résultats différents. Ce dernier a réussi à distinguer les variétés entre-elles en considérant le "T.L.W.R."; ce critère corrèle peu avec le diamètre de l'hypocotyle. Pour réduire les variations dans l'évaluation du "T.L.W.R." cet auteur élimine les pétioles qui constituent au moins 15 % du poids des feuilles, il considère que leur contribution à la photosynthèse par unité de poids est bien moindre que celle des limbes. De plus, il ajoute que le rapport du poids des pétioles au poids des feuilles peut varier du simple au double 21 jours après émergence. Il élimine aussi les racines secondaires, il trouve que leur poids est relativement important puisque des variations de 1 à 9 fois peuvent être observées dans le rapport poids des racines secondaires sur poids de la racine principale plus l'hypocotyle des plantules de 21 jours. Il conserve donc la racine principale + l'hypocotyle et les limbes.

SNYDER estime que le poids frais des limbes est trop variable, par contre le poids frais de la racine + hypocotyle serait un paramètre plus précis pour établir la relation entre feuilles et racines.

Dans cette optique, SNYDER continue à considérer le "T.L.W.R." comme un critère de sélection dont il étudie l'héritabilité.

La taille des semences a fait l'objet de recherches, en Pologne, Allemagne et aux Etats-Unis pour la sélection précoce. Selon MAC LACHLAN (1972), la taille d'une graine monogerme exerce un effet important sur la production finale des racines, et par là même, peut donner au sélectionneur

un renseignement précieux sur la performance d'une famille ; ce critère est évidemment plus rapide que tous les autres tests qui peuvent être envisagés.

Selon PODLASKI (1983), la matière fraîche des plantules dépend du poids du fruit et de la graine, il constate qu'à une augmentation de 1 mg du poids d'une graine, correspond une augmentation de 5,83 mg du poids frais d'une plantule.

Par le poids des graines et des germes (embryons), nous avons réussi à différencier les variétés et les hybrides, c'est l'embryon qui donne le classement le plus proche de la réalité, le poids de l'embryon est proportionnel à la taille de la graine. En dépit, de leur calibre identique, les hybrides ont des poids de graines et de germes différents.

Au sein d'une même variété, nous avons cherché la relation qui existe entre le calibre, le poids des graines et les embryons, avec le diamètre de l'hypocotyle et le poids des plantules 28 jours après émergence. Nous avons trouvé que les poids des graines diffèrent significativement entre-eux selon le calibre. Par le poids des germes (embryons), nous avons trouvé que le 1er et le 2e calibre constituent une même classe qui est distincte du 3e et du 4e calibre. Par le diamètre de l'hypocotyle, nous avons trouvé le même classement, mais cette fois-ci avec seulement deux classes, le 1er et le 2e calibre forment une classe et les deux autres calibres forment une seconde classe.

Par le poids des plantules, nous avons trouvé exactement le même classement et le même degré de signification qu'avec le poids des embryons.

A chaque augmentation d'un mg du poids de la graine correspond une augmentation de 81 mg du poids des plantules et de 7/100e de mm du diamètre de l'hypocotyle 28 jours après émergence.

Puisque ces derniers ont une corrélation avec le rendement en racine, toute augmentation du poids de semences et surtout des embryons peut laisser presager une augmentation de rendement en sucre de quelques quintaux par hectare.

Selon DONEY (1981), la **taille des cellules** peut aussi être un critère de sélection précoce. Mais cette méthode est très longue car elle nécessite au préalable l'inclusion à la paraffine du matériel à analyser. Nous avons plutôt cherché à l'appliquer à des coupes rapides à main levée pratiquées sur des hypocotyles de jeunes plantules. Toutefois, en dépit de l'utilisation d'un petit microtome, ces coupes d'une épaisseur de 100 microns environ sont très fragiles quand les plantules ont moins de 21 jours. L'emploi d'un microtome à congélation permettrait d'examiner plus précocement les hypocotyles. Après coloration des coupes au rouge de ruthénium, on pourrait ainsi suivre l'évolution de la forme, de la taille et du nombre des cellules corticales. Mais cette technique de coupe à congélation, même si elle est plus précise, exige un travail important et ne permet pas de comparer rapidement et à grande échelle les différentes variétés et hybrides que nous avons considérés (Annexe IV).

Pour les 2 variétés étudiées (A et B), on peut seulement souligner que la prédominance des cellules allongées et de grande taille indique un meilleur rendement pondéral à l'hectare et par opposition les petites cellules rondes sont en relation avec la teneur en sucre (variété type Z).

Une autre technique d'analyse de cellules isolées préconisée par ROHR (1984) est, certes, plus rapide que les précédentes, mais elle ne permet pas le dénombrement des cellules et s'avère, par conséquent, plus aléatoire.

Les études fondamentales menées sur la **complémentation mitochondriale** visent davantage à élaborer ou consolider une théorie explicative de l'hétérosis.

La sélection sur l'efficacité mitochondriale serait un moyen très sophistiqué pour améliorer le potentiel des plantes. Cette recherche est très intéressante pour les sélectionneurs.

Les relations entre l'efficacité mitochondriale et le rendement ne sont qu'aperçues.

L'exploration de ce critère est confronté à des difficultés d'ordre technique au niveau de l'extraction et la répétitivité du culot mitochondrial pose des problèmes.

Le sélectionneur cherche des critères simples pour être utilisés comme contrôle de routine par un simple technicien ; il faudrait donc actuellement que l'extraction et les méthodes de mesure soient améliorées.

L'héritabilité de ce caractère chez la betterave à sucre n'a jamais été analysée en détail. Nous pensons que l'utilisation de ce critère en sélection précoce est encore loin d'être utilisée couramment.

Les méthodes d'analyses chimiques et biochimiques des plantes ont une grande importance dans la sélection. La différence d'activité et le spectre électrophorétique des isoenzymes glutamique déshydrogénase, glutamique estérase, phosphatase acide et invertase) parmi les variétés de betterave qui ont des différents degrés de fécondité, le polymorphisme des isoenzymes de la peroxydase en particulier est le plus souvent utilisé pour déterminer le degré d'hétérozygote des lignées. La peroxydase est une enzyme polyfonctionnelle, son activité est celle qui a été la mieux décrite, son intérêt est qu'elle dépend du génotype.

L'activité peroxydasique corrèle positivement avec la teneur en sucre. Pour notre part, nous cherchions des critères ayant une corrélation avec le rendement pondéral.

CONCLUSION

Les résultats de notre recherche se résume dans le classement parallèle remarquable des moyennes de caractère plantule, nous ne donnons ce classement que pour les hybrides où nous disposions des résultats complets du rendement aux champs, le tableau ci-dessous est dressé dans l'ordre décroissant des moyennes des hybrides.

type d'hybride

2

type d'hybride	1						
		D.H.21	D.H.28	P.PL21	P.F.21	P.L.21	P.PY
MS ₃	1°	1	1	1	1	1	1
MS ₂	2°	2	2	2	2	2	2
MS ₁	3°	3	3	3	3	3	3
MS ₄	4°	4	4	4	4	4	4

1 = classement pour la production de sucre à l'hectare

2 = classement pour les caractères de la plantule

D.H.21 = diamètre de l'hypocotyle à 21 Jours

D.H.28 = diamètre de l'hypocotyle à 28 jours

P.PL21 = Poids des plantules à 21 Jours

P.F.21 = poids des feuilles à 21 jours

P.L.21 = poids des limbes à 21 jours

P.PY = poids des pyxides

Le test précoce de sélection de la betterave à partir de plantules pour apprécier le rendement de la betterave peut s'énoncer comme suit :

D'après ce que nous avons vu précédemment, il suffit de mettre à germer classiquement à l'obscurité 200 graines de même calibre par hybride à tester. A 10° C, la germination dure 10 à 12 jours. Nous préconisons de réduire ce délai de moitié en réchauffant quotidiennement pendant 3 heures à 22° C environ. Le repiquage a lieu ensuite sur vermiculite imbibée de milieu de Heller dans des récipients de même taille, entreposés si possible dans une salle à hygrométrie

constante ou, sinon en miniserres couvertes. On constitue ainsi pour chaque hybride 4 blocs de 30 unités chacun.

Les plantules repiquées sont toutes au même stade physiologique et possèdent une radicule de 1 cm de long environ. En lumière continue de 5 000 Lux au moins et à $20^{\circ} \text{C} \pm 2$, l'émergence a lieu 24 heures plus tard. Dans ces conditions, maintenues rigoureusement les mêmes pour la totalité des variétés ou des hybrides testés, on procède ensuite après 21 (ou 28) jours au prélèvement des plantules.

Pour éviter le dessèchement des racines ou des feuilles, les plantules sont d'abord pesées globalement par bloc (mesure de poids frais).

Le diamètre de l'hypocotyle à la base des cotylédons est ensuite mesuré. L'ensemble du matériel de chaque bloc est enfin rassemblé et séché 48 h à l'étuve à 105°C pour mesurer le poids sec.

Le diamètre de l'hypocotyle et le poids frais des plantules suffisent pour distinguer nettement les hybrides en fonction de leur rendement en racine. Mais la mesure du poids sec apporte une information supplémentaire relative à la richesse en sucre. Celle-ci est indispensable car elle évite toute déviation de la sélection vers des variétés fourragères.

Nous pensons donc, avec ces seuls critères, avoir mis au point un test suffisamment précis et précoce de sélection des betteraves sucrières. Ce test a, en outre, l'avantage de nécessiter peu de main d'oeuvre, peu d'espace ; de plus, sa mise en oeuvre est simple et relativement peu coûteuse.

Il est néanmoins utile de rappeler que cette analyse est faite sur les moyennes et qu'elle doit être confirmée par une analyse qui prend en compte la variabilité des deux caractères mis en corrélation. Conjointement on pourra estimer la valeur de l'héritabilité du caractère diamètre de l'hypocotyle.

BIBLIOGRAPHIE

AHMED S.U. and ZUBERI M.I., 1973. - Effects of seed size on yield and some of its components in rape seeds.

Crop Sci., 13 : 119-120.

AKESON W.R. and WIDNER J.N., 1980. - Laboratory packed sand test for measuring vigor of sugarbeet seed.

Crop Sci., 20 : 641-644.

AKESON W.R., 1981. - Relationship of sugarbeet fruit size to vigor of commercially processed seed lots and cultivars.

Crop Sci., 21 : 61-65.

ARCHIMOWITSCH A., 1954. - Methods of sugarbeet selection in the U.S.S.R.

J.A.S.S.B.T. VIII (II) : 166-172.

ARTSCHWAGER E., 1926. - Anatomy of the vegetative organs of the sugar beet.

J. Agric. Res., 33 : 143-175.

ARTSCHWAGER E., 1930. - A study of the structure of sugar beet in relation to sugar content and type.

J. Agric. Res., 40 : 867-915.

ASAY K.H., NELSON C.J. and HORST G.L., 1974. - Genetic variability for net photosynthesis in tall fescue.

Crop Sci., 21 : 571-574

AUSTIN R.B. and LONGDEN P.C., 1967. - Some effects of seed size and maturity on the yield of Carrot Crops.

Journal of Horticultural Sciences, 42 : 239-253.

BATTLE J.P. and WITTINGTON W.J., 1971.- Genetic variability in time to germination of sugar beet clusters.

J. Agric. Sci. Can., 76, 27-32.

- BEHL R.K. and SINGH V.P., 1977. - Effect of leaf angle on root yield and sucrose content of sugar beet.
Plant breeding abstracts, 1979. Abst. nb. 2910.
- BERDAHL J.D., RASMUSSEN D.C. and MOSS D.N., 1972. - Effect of leaf area on photosynthetic rate, light penetration and grain yield in barley.
Crop Sci., 12 : 177-180.
- BERGEN P., 1962. - An improved method for the evaluation and selection of sugar beets (*Beta vulgaris* L.). 1. - The selection of individual plants.
J. Amer. Soc. Sugar beet Tech., 11 : 668-675.
- BERGEN P., 1967. - Dry matter of the petiole as an index for the selection of sugar beet plants.
J.A.S.S.B.T., 14 : 396-399.
- BERGEN P., 1967. - Seasonal patterns of sucrose accumulation and weight increase in sugar beets.
J.A.S.S.B.T., 14 : 538-545.
- BLACK J.U. 1958. - Competition between plants of different initial seed size in swards of subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.) with particular reference to leaf area and the light microclimate.
Aust. J. Agr. Res. 9 : 299-318.
- BLACKLOW W.M., 1972. - Influence of temperature on germination and elongation of the radicle and shoot of Corn (*Zea mays* L.).
Crop Sci., 12 : 647-650.

BLACKMAN G.E. and BLACK J.N., 1959. - Physiological and ecological studies in the analysis of plant environment. XII the role of light factor in limiting growth.

Ann. Bot., N.S., 23 : 131-145.

BLEASDALE J.K., 1966. - Plant growth and crop yield.

Annals of applied biology, 57 : 173-182.

BONNER J., 1962. - The upper limit of crop yield.

Science, 137 : 11-15.

BOUILLENNE R., KRONACHER P.G., DE ROUBAIX J., 1940. - Etapes morphologiques et chimiques dans le cycle végétatif de la betterave sucrière.

Publ. Inst. belge Amélior. Bett., 3 : 87-166.

BOVEY R., 1979. - La défense des plantes cultivées. 864 p.

Payot Lausanne. La maison rustique. PARIS.

BROUGHAM R.W., 1960. - The relationship between the critical leaf area, total chlorophyll content and maximum growth rate of some pasture and crop plants.

Ann. Bot. N.S., 24 : 463-474.

BROWN S.J., 1981. - Germination and emergence of sugar beet at low temperatures.

In : *Plant breeding institut Trumpington Camb. CB₂ 2LQ England.* 93-103.

BURRIS J.S. and FEHR W.R., 1971. - Methods for evaluation of soybean hypocotyl length.

Crop Sci., 11 : 116-118.

- BURRIS O.T.E. and WAHAB A.H., 1973. - Effects of seed size on seedling performance in soybeans. II. seedling growth and photosynthesis and field performance.
Crop Sci., 13 (2) : 207-210.
- BUTTERFASS T., 1968. - Endopolyploidy and yield of diploid and tetraploid sugar beets.
Theor. Appl. Genet., 38 : 294-297.
- BUZANOV I.F., USTIMENKO BAKUMOVSKY A.V. and OSTROVSKO A.I., 1966. - Physiological and technological properties of sugar beet polyploid varieties.
Sel skohoz biol. (Agric. Biol.) 1 : 654-665.
- CAMPBELL R.E. and VIETS F.G., 1967. - Yield and sugar production by sugar beets as affected by leaf area variations induced by stand density and nitrogen fertilization.
Agronomy journal, 59 : 349-354.
- CARBONNEAU A., 1976. - Principes et méthodes de mesure de la surface foliaire. Essai de caractérisation des types de feuilles dans le genre *Vitis*.
Ann. Am. Plantes, 26 (2) : 327-343.
- CHAUSSART R., LE DEUNFFY Y., 1975. - La germination des semences. Collection dirigée par P. PESSON.
Institut national Agronomique, 232 p.
- CHRISTMAN J., 1973. - L'anatomie et la croissance racinaire de la betterave sucrière.
Hautes études betteravières et agricoles, 21 : 10-16.
- CHRISTMAN J., 1975. - Génétique et méthodes modernes de sélection de la betterave sucrière.
Ind. Alim. et agricoles, juil. 721-728.

- CLARK E.A. et LOOMIS P.A., 1979. - La dynamique de la croissance foliaire des betteraves à sucre.
Bull. d'inf. Inst. Belge pour l'Amélioration de la betterave.
14 : 31-32.
- COOPER C.S. and FRANSEN S.C., 1974. - Contribution of cotyledons to growth of the sainfoin seedling.
Crop Sci., 14 ; 732-735.
- CROSBIE T.M., MOCK J.J. and PEARCE R.B., 1977. - Variability and selection advance for photosynthesis in Iowa stiff stalk synthetic maize population.
Crop Sci., 17 : 511-514.
- CSAPODY M. and CSAPODY G.Y., 1969. - An evaluation of monogerm sugar beet strains on the base of their seedling weights.
Plant Breeding Abstracts 1974 ; Abst. n° 5337.
- DAGNELIE P., 1969. - Théorie et méthodes statistiques.
Application à l'Agronomie, Tomes I et II, DUCULOT, GEMBLoux, 841 p.
- DAVIDSON J.L. and DONALD C.M., 1958. - The growth of swards of subterranean clover with particular reference to leaf area.
Aust. J. Agr. Res., 9 : 53-72.
- DEBOWSKI W., 1981. - Badania NAD polimorfizmem isoenzymów peroksydazy Linii Burakow I ICH Mieszanców HODOWLA Reslin Akluina tyzacja I.
Nasiennictwo Tom 25, Zeszyt 1/2 : 1-17.
- DEMARLY Y., 1963. - Génétique des tétraploïdes et amélioration des plantes.
Ann. Am. plantes, 22 (2) : 187-200.

DENEUCHE J., 1976. - Sélection de la betterave à sucre.

Cultivar, 88 : 25 - 27.

DESPREZ M., 1981. - Principes et techniques de la sélection de la betterave à sucre.

Cultivar spécial betterave, 144 : 27-29.

DONEY D.L., WYSE R.E. and THEURER J.C., 1975. - Mitochondrial efficiency and growth rate in sugar beet.

Crop Sci., 15 : 5-7.

DONEY D.L., THEURER J.C. and WYSE R.E., 1975. - Absence of a correlation between mitochondrial complementation and root weight heterosis in sugar beets.

Euphytica, 24 : 387-392.

DONEY D.L. and THEURER J.C., 1976. - Hypocotyl diameter as a predictive selection criterion in sugar beet.

Crop Sci., 16 : 513-515.

DONEY D.L., 1979. - Seedling physiology and sugar beet yield.

Journal of the A.S.S.B.T., 20 (4) : 399-417.

DONEY D.L., WYSE R.E., THEURER J.C., 1981. - The relationships between cell size, yield and sucrose concentration of the sugarbeet root.

Canadian journal of plant Science, 61 (2) : 447-453.

DONEY D.L., THEURER J.C., 1982. - A modified reciprocal recurrent selection breeding method for sugarbeet.

Plant breeding abstracts. 1982. Abst. nb 2902.

- DONEY D.L. and THEURER J.C., 1983. - Genetics of cell size and sucrose concentration in sugarbeet.
Crop Sci., 23: 904-907.
- DORNHOFF G.M. and SHIBLES R.M., 1970. - Varietal differences in net photosynthesis of soybean leaves.
Crop Sci., 10: 42-45.
- DORNHOFF G.M. and SHIBLES R.M. 1976. - Leaf morphology and anatomy in relation to CO₂ Exchange rate of soybean leaves.
Crop Sci., 16 : 377-381.
- DOXTATOR C.W. and FINKNER R.E., 1958. - Sugar beet germination selection results in osmotic pressure solutions I. Germination methodology and osmotic selection effects on germination of four varieties.
Journal of the A.S.S.B.T. X (3) : 237-246.
- DOXTATOR C.W. and HELMERICK R.H., 1962. - Selection for seed size in monogerm varieties.
Journal of the A.S.S.B.T., 12 : 268-272.
- DUBUCQ M., BOUCHET M. et GASPAR T.H., 1973. - Activité peroxydase et isoperoxydases dans la betterave sucrière.
Journal of the I.I.R.B., 6 (3) : 109-116.
- DUNCAN W.G., 1971. - Leaf angles, leaf area and canopy photosynthesis.
Crop Sci., 11 : 482-485.
- ECHEVIN R., OBRE A., 1964. - Biologie végétale. Angiospermes I. Apétales et Dialypétales
Edition DOIN, 495 p.

EIK K., HANWAY J.J., 1966. - Leaf area in relation to yield of corn grain.

Agronomy Journal, 58 : 16-18.

ELLERTON S., 1971. - Sugar beet and seed production.

Agricultural progress, 46 : 32-39.

FICK G.W., WILLIAMS W.A. and LOOMIS R.S., 1973. - Computer simulation of dry matter distribution during sugar beet growth.

Crop Sci., 13 : 413-417.

FOLLETT R.F., SCHMEHL W.R. and VIETS F.G., 1970. - Seasonal leaf area dry weight and sucrose accumulation by sugar beets.

Journal of the A.S.S.B.T., 16 : 235-252.

FRANCIS C.A., RUTGER J.N. and PALMER A.F.E., 1969. - A rapid method for plant leaf area estimation in maize (*Zea mays* L.).

Crop Sci., 9 : 537-539.

GALLAIS A., 1968. - Evolution de la vigueur des variétés synthétiques tétraploïdes au cours des générations de multiplication. I. En régime de panmixie.

Ann. Am. pl., 13 (1) : 5-15.

GASKILL J.O., 1942. - Selection of sugar beets for size of root under wide and normal spacings.

Proc. Am. Soc. Sugar beet Tech. 3 : 372-377.

GASPAR T., BOUCHET M., 1973. - Peroxidase as biochemical measure of fresh weight and sugar yield in sugar beet.

Experimentia, 29 : 10-12.

- GENDRAUD M. et LAFLEURIEL J., 1977. - Comparaison des teneurs en saccharose et en nucléotides riches en énergie des graines en germination d'une betterave sucrière et d'une betterave fourragère.
Phytochemistry, 16 : 1289-1290.
- GEORGESCU C.M., RÖMER D. and OLTEANU G.H., 1979. - Peroxidase activity as a possible test for distinguishing S-Plasm from N. Plasm in sugar beet (*Beta vulgaris* L.).
Euphytica 28 : 779-784.
- GIBSON M.S., 1981. - Investigation of new methods for assessing vigor of sugar beet.
Sugar beet Res., 12 : 187-196.
- GIGNOUX J., 1960. - Recherches morphologiques et physiologiques sur les principaux types de betteraves cultivées.
Thèse de Docteur ingénieur, Marseille n° 50296.
- GILMAN D.F., FEHR W.R. and BURRIS J.S., 1973. - Temperature effects on hypocotyl elongation of soybean.
Crop Sci., 13 : 246-249.
- GOVET J.P., 1974. - Les comparaisons de moyennes et de variances. Application à l'agronomie.
Bureau d'études statistiques de l'I.T.C.F., Paris .
- HADDOCK J.L., LINTON D.C. and HURST R.L., 1956. - Nitrogen constituents associated with reduction of sucrose percentage and purity of sugar beets.
Journal of the A.S.S.B.T., 9 : 110-117.
- HANSON W.D., 1973. - Changes in efficiencies and numbers of chloroplasts associated with divergent selections for juvenile productivity in *Zea mays* L.
Crop Sci., 13 : 386-387.

- HANSON W.D., MORELAND D.E. and SHRINER C.R., 1975. - Correlation of mitochondrial activities and plant vigor with genotypic backgrounds in maize and soybeans.
Crop Sci., 15 : 62-66.
- HATFIELD J.L. and EGLI D.B., 1974. - Effect of temperature on the rate of soybean hypocotyl elongation and field emergence.
Crop Sci., 14 : 423-426.
- HECKER R.J., STAFFORD R.E., HELMERICK R.H. and MAAG G.W., 1970. - Comparison of the same sugar beet F₁ hybrids as diploids, triploids and tetraploids.
Journal of the A.S.S.B.T., 16 : 106-116.
- HEICHEL G.H. and MUSGRAVE R.B., 1969. - Varietal differences in net photosynthesis of *Zea mays* L.
Crop Sci., 9 : 483-486.
- HEINISCH O. and BÖHME L., 1959. - The question of the correlation between the number of ring of vascular bundlers and the percentage dry matter content of beets.
Sugar beet res., 38 : 7-37.
- HELMERICK R.H., FINKNER R.E. and DOXTATOR C.W., 1963. - Variety crosses in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). I. Expression of heterosis and combining ability.
Journal of the Am. Soc. Sugar beet Technol. 12 : 573-584.
- HILLS F.J., BURTH L.M., HOLMBERG D.M. and ULRICH A., 1954. - Response of yield-type versus sugar-type varieties to soil nitrogen levels and time of harvest.
Proc. Am. Soc. Sugar beet Technol., 8 : 64-70.

- HOGABOAM C.J. and SNYDER F.W., 1964. - Influence of size of fruit and seed on germination of a monogerm sugar beet variety.
J.A.S.S.B.T., 13 : 116-126.
- HOOVER R.M. and GOODIN J.R., 1966. - High temperature studies of sugar beet germination.
J.A.S.S.B.T., 14 : 61-66.
- HOPKINSON J.M., 1964. - Studies on the expansion of the leaf surface IV. The carbon and phosphorus economy of a leaf.
Journal of Exp. Botany, 43 : 125-137.
- HULL R. and SCOTT R.K., 1969. - A comparaison of methods of growing sugar beet seed.
Journal of agricultural Science, 72 : 109-117.
- HUMPHRIES E.C. and FRENCH S.A., 1969. - Photosynthesis in sugar beet depends on root growth.
Planta, 88 : 87-90.
- I.T.C.F., 1975. - L'élaboration d'un protocole d'essai.
Bureau d'études statistiques de l'Institut technique des céréales et fourrages, PARIS, 103 p.
- JAMES D.W., RICHARDS A.W., WEAVER W.H. and REEDER R.L., 1971. - Residual soil nitrate measurement as a basis for managing nitrogen fertilizer practices for sugar beets.
J.A.S.S.B.T., 16 : 313-322.
- JAMES D.W., DONEY D.L., THEURER J.C. and HURST R.L., 1978. - Sugar beet genotype, N and soil moisture availability interactions in components of beet yield and quality.
Agron. J., 70 : 525-531.

JOHNSON G.R., 1973. - Relationships between yield and several yield components in a set of Maize hybrids.
Crop Sci., 13 : 649-651.

JOHNSON G.R., 1973. - Diallel analysis of leaf area heterosis and relationships to yield in maize.
Crop Sci., 13 : 178-180.

JOHNSON G.R., 1974. - Predictions of G.C.A. model estimates of total leaf area and leaf area distribution from leaf area of parental inbreds.
Crop Sci., 14 : 44-46.

JOLY A., 1980. - Test de détermination précoce du rendement des plantes. Application à la betterave à sucre.
Mémoire de fin d'études I.S.A. de Beauvais.

JUMELLE H., 1910. - Les Apétales à tubercule.

Dans les plantes à tubercules alimentaires DOIN, Paris, 287-298.

KABIL M., 1982. - Test de détermination précoce du rendement de la betterave à sucre.
Diplôme d'études approfondies, Institut Agricole de Lille I.

KAUFMANN M.L., 1958. - Seed size as a problem in genetic studies in barley.
Proc. genet. Soc. Canada III, (2) 30-32

KNEEBONE W.R. and GREMER C.E., 1955. - The relationship of seed size to seedling vigor in some native grass species.
Agron. J., 47 : 472-477.

- KNEEBONE W.R., 1956. - Breeding for seedling vigor in sand
Bluestem (*Andropogon ballii* Hack) and other native grasses.
Agron. J., 48 ; 37-40.
- KNITTLE K.H. and BURRIS J.S., 1979. - Soybean hypocotyl growth
under field conditions.
Crop Science, 19 : 37-41.
- KOLMIEZ O.K., 1960. - Die Hauptverfahren zur Verbesserung der Auslese
bei monokarpen Zuckerrüben im Saatzuchtprozeß.
Sach. Svekla., 5 : 41.
- KRALOVIC J., 1979. - Relation entre les produits d'assimilation, le
couvert végétal et l'élaboration de saccharose.
*Bulletin d'Information Institut belge pour l'amélioration
de la betterave*, 14 : 29-30.
- KULENEV D., 1967. - Studies of the efficacy of selection in summer crop
of high-sugar varieties of sugar beet by their initial growth
rate.
Plant breeding Abstract, Abst. N° 1114.
- KURSANOV A.L., 1967. - Les bases biochimiques de la translocation et
de l'accumulation du saccharose chez la Betterave sucrière.
I.I.R.B., 2 : 162-183.
- LABIB A., 1977. - Activité et structure des mitochondries isolées
durant la germination chez le blé tendre. Relations avec l'hété-
rosis et la stérilité mâle cytoplasmique.
Thèse de 3ème cycle, Orsay.
- LABY H., 1981. - Physiologie de la Betterave à sucre.
Cultivar, 144 : 41-45.
- LAMBERT A., 1975. - Contribution à l'étude de la vigueur hybride chez
le maïs (*Zea Mays* L.) par l'analyse des propriétés oxydatives
des mitochondries.
Thèse de 3ème cycle, Orsay.

LECOMPT M., 1965. - L'expérimentation et les engrais.
S.P.I.E.A., Paris, 45-50.

LITTORALE (la) 1984.- Collection des ravageurs de la Betterave
19, quai du Port Neuf, 34505 Béziers cedex.

LONGDEN P.C., SCOTT R.K. and WOOD D.W., 1974. - Grading monogerm
sugar beet and its influence on performance.
J. agric. Sci. Camb., 83 : 125-133.

LOOMIS R.S. and NEVINS D.J., 1963. - Interrupted nitrogen nutrition
effects on growth, sucrose accumulation and foliar development
of the sugar beet plant.
J.A.S.S.B.T., 12 : 309-322.

LOOMIS R.S. and WILLIAMS W.A., 1963. - Maximum crop productivity :
an estimate.
Crop Sci., 3 : 67-72.

LOOMIS R.S., 1979. - Ideotype concepts for sugar beet improvement.
J.A.S.S.B.T., 20 : 323-342.

MACKAY D.B., 1961. - The effect of pre-washing on the germination of
sugar beet.
J. nat. Inst. Agric. Bot., 9 : 99-103.

MAC LACHLAN J.B., 1972. - Effect of seed size on yield of monogerm
sugar beet.
Ir. J. Agric. Res., 11 : 233-236.

MAC LACHLAN J.B., 1972. - Estimation of genetic parameters in a
population of monogerm sugar beet (*Beta vulgaris* L.).
Ir. J. Agric. Res., 11 : 319-325.

MADALEGERI B.B. et RAU S.K., 1979. - Evaluation de la surface foliaire
de la Betterave sucrière.
*Bulletin d'Information Institut Belge pour l'Amélioration
de la Betterave*, 14 : 32-33.

- MC FARLANE J.S., SKOYEN I.O. and LEWELLEN R.T., 1972. - Performance of sugar beet hybrids as diploids and triploids.
Crop Sci., 12 : 118-119.
- MILFORD G.F.J. and WATSON D.J., 1971. - The effect of nitrogen on the growth and sugar content of sugar beet.
Ann. Bot., 35 : 287-300.
- MILFORD G.F.J., 1973. - The growth and development of the storage root of sugar beet.
Ann. App. Biol., 75 : 427-438.
- MILFORD G.F.J., 1976. - Sugar concentration in sugar beet varietal differences and the effects of soil and planting density on the size of the root cell.
Ann. App. Biol., 83 : 251-257.
- MORTON A.G. and WATSON D.J., 1948. - A physiological study of leaf growth.
Ann. Bot. N.S., 12 : 281-310.
- MOULE C., 1982. - Betterave. Dans phytotechnie spéciale III.
Plantes sarclées et diverses. La maison rustique, Paris, 99-143.
- NELSON C.J., ASAY K.H., HORST G.L. and HILDEBRAND E.S., 1974. - Field measurement of photosynthesis in a forage grass breeding program.
Crop Sci., 14 : 26-28.
- NELSON C.J., ASAY K.H. and HORST G.L., 1975. - Relationship of leaf photosynthesis to forage yield of tall fescue.
Crop Sci., 15 : 476-478.
- NICKOLS S.B., 1938. - Growing sugar beets in hills free from competition.
Proc. Am. Soc. Sugar beet Technol., 1 : 39-40.

- OHKI K. and ULRICH A., 1973. - Sugar beet growth and development under controlled climatic conditions with reference to night temperature.
J.A.S.S.T., 17 : 270-279.
- OLDEMEYER R.K., 1975. - Introgression hybridation as a breeding method in *Beta vulgaris*.
J.A.S.S.T., 18 : 269-273.
- OWEN F.V., 1942. - Inheritance of cross and self-sterility and self-fertility in *Beta vulgaris*.
J. of Agric. Res., 64 : 679-698.
- OWEN F.V. and RYSER G.K., 1942. - Some mendelian character in *Beta vulgaris* and linkage observed in the Y - R - B group.
J. Agric. Res., 65 : 155-171.
- PACK D.A., 1927. - Ring density of sugar beets as a character for selection.
American J. of Botany., 14 : 238-245.
- PACK D.A., 1930. - Selection characters as correlated with percentage of sucrose, weight and sucrose content of sugar beets.
J. Agric. Res., 40 : 523-546.
- PEARCE R.B., CHARLSON G.E., BARNES D.K., HART R.H. and HANSON C.H., 1969. - Specific leaf weight and photosynthesis in alfalfa.
Crop Sci., 9 : 423-426.
- PEARCE R.B., MOCK J.J. and BAILEY T.B., 1975. - Rapid method for estimating leaf Area per plant in maize.
Crop Sci., 15 : 691-694.

- PEPPER G.E., PEARCE R.B. and MOCK J.J., 1977. - Leaf orientation and yield of maize.
Crop Sci., 17 : 883-886.
- PETO F.H., 1964. - Methods of loosening tight seed caps in monogerm seed to improve germination.
J.A.S.S.B.T., 13 : 281-285.
- PHILIPPEAU G., 1974. - Puissance d'une expérience. Nombre de répétitions nécessaires pour comparer deux ou plusieurs traitements.
Bureau d'études statistiques de l'I.T.C.F., Paris, 24 p.
- PHILIPPEAU G., 1977. - Théorie des plans d'expériences. Application à l'agronomie.
Bureau d'études statistiques de l'I.T.C.F., Paris, 205 p.
- PODLASKI S.Z., 1983. - Effect of some properties of fruits on germination, field emergence and growth of sugar beets.
Department of plant breeding and seed science, Warsaw.
Agricultural university, 02-528 Warszawa, Ul. Rakowiecka, 26/30
12 p.
- POWERS L., 1957. - Identification of genetically superior individuals and the prediction of genetic gains in sugar beet breeding programs.
J. of the A.S.S.B.T., 9 : 408-432.
- POWERS L., SCHMEHL W.R., FEDERER W.T. and PAYNE M.G., 1963. - Chemical genetic and soils studies involving thirteen characters in sugar beets.
J. of the A.S.S.B.T., 12 : 393-448.
- ROGLER G.A., 1954. - Seed size and seedling vigor in crested wheat grass.
Agron. J., 46 : 216-220.
- ROHR R. and BONGA J.M., 1984. - A method to isolate the female sexual cells of *Larix decidua* for cytological studies.
Can. J. Bot., 62 : 1651-1658.

RÖSTEL H.J., 1968. - Probleme und Ergebnisse der Züchtung ausschoss resistenz bei monokarpen Zuckerrüben in Kleinwanzleben.

Arepa IV : 165-178.

RÖSTEL H.J., 1971. - Möglichkeiten der frühdiagnose in der Zuckerrüben Züchtung.

Arch. für Züchtungs forchung, 1 : 23-36.

RÖSTEL H.J., 1974. - Results of breeding for seed quality and the relationships between seed quality and performance in the first year.

Plant breeding abstract, 44 ; n^o 5343.

RYSER G.K., MYRON S., ULRICH A. and OWEN F.V., 1959. - Some chemical and physiological characteristics of imbred lines of sugar beets.

J.A.S.S.B.T., 10 : 525-543.

SAVITSKY V.F., 1950. - A method of selection for earliness of root development in sugar beets.

Proc. Am. Soc. Sugar beet Technol., 6 : 195-197.

SAVITSKY V.F., 1954. - Relation between weight of fruit and weight of germ in mono and multigerm Beets.

Proc. 82nd gen. meet. A.S.S.B.T., 6 : 16-22.

SAVITSKY V.F., RYSER G.K., RUSH G.E. and PARRISH C.P., 1954. -

Inter-relation between weight of seed and fruit and utilitarian characters in imbred lines and hybrids of monogerm sugar beets.

Proceeding of the A.S.S.B.T., 8 : 399-403.

SCHNEITER A.A., MC DANIEL R.G., DOBRENZ A.K. and SCHUNHORST M.H., 1974. - Relationship of mitochondrial efficiency to forage yield in alfalfa .

Crop Sci., 14 : 821-824.

- SCHWARTZ D., 1963. - Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes.
Flammarion et Cie, 290 p.
- SCOTT R.K., HARPER F., WOOD D.W. a,d JAGGARD K.W., 1974. - Effect of seed size growth, developement and yield of monogerm sugar beet.
J. Agric. Sci., 82 : 517-530.
- SCOTT K. et JAGGARD K., 1979. - Comment se développe la Betterave, de la graine au sucre.
Bulletin d'Information Belge pour l'Amélioration de la Betterave, 14 : 30-32.
- SHIMAMOTO Y. and HOSOKAWA S., 1967. - Statistical and genetical analysis of the root growth in sugar beets. I. Changes in genetic parameters following the process of growth.
Bull. Sugar beet. Res., 9 : 118-122.
- SHIMAMOTO Y. and HOSOKAWA S., 1969. - Genetic variability of certain characters at various growth stage in sugar beet.
Japan J. Breeding, 19 : 100-105.
- SNYDER F.W. and FILBAN C., 1970. - Relation of sugarbeet seedling emergence to fruit size .
J.A.S.S.B.T., 15 : 703-708.
- SNYDER F.W., 1970. - Effect of leaf area and nitrogen on root weight and sucrose of sugar beets.
J.A.S.S.B.T., 16 : 8-25.
- SNYDER F.W., 1974. - Comparative leaf area dry matter accumulation by maize and sugar beet.
Crop Sci., 14 : 529-533.

SNYDER F.W., 1974. - Maturity effects on fruits characteristics germination and emergence of sugar beet.

J.A.S.S.B.T., 18 : 87-95.

SNYDER F.W., 1975. - Leaf and root accretion by sugar beet seedlings in relation to yield.

J.A.S.S.B.T., 18 : 204-213.

SNYDER F.W. and CARLSON G.E., 1978. - Photosynthate partitioning in sugar beet.

Crop Sci., 18 : 657-661.

SNYDER F.W., CARLSON G.E., SILVIUS J.E. and BUNCE J.A., 1979. - Selecting for taproot to leaf weight ratio and its effect on yield and physiology.

J.A.S.S.B.T., 20 : 386-398.

TERRY N., 1971. - Sugar storage mechanisms in beets.

California Agriculture, 25 : 12-14.

THEURER J.C., 1979. - Growth patterns in sugar beet production.

J.A.S.S.B.T., 20 : 343-367.

TISCENKO A.V. and JURKO V.S., 1967. - Seed quality and productiveness of monogerm sugar beet.

Plant breeding Abstract, 37 ; Abs n° 4733.

TOSSELL W.E., 1960. - Early seedling vigor and seed weight in relation to breeding in smooth brome grass. *Bromus inermis* Leyss.

Can. J. Plant. Sci., 40 : 268-280.

TOWSEND C.E., 1976. - Combining ability for seedling dry weight and forage yield in cicer milkvetch.

Crop Sci., 16 : 480-482.

TRANCHEFORT J., 1974. - La régression. Application à l'agronomie.
I.T.C.F.

TSUDA C., 1977. - Genetic studies on the negative correlation
between root weight and sugar content in sugar beets.
Japan J. Breed, 27 : 305-320.

ULRICH A., 1952. - The influence of temperature and light factors
on the growth and development of sugar beets in controlled
climatic environments.
Agronomy Journal, 44 : 66-73.

VICTOR T.S. and WANDER HOFF L.N., 1975. - Mechanical inhibition of
hypocotyl elongation induces radial enlargement.
Plant Physiol., 56 : 845-846.

VIETOR D.M., ARIYANAYAGAM R.P. and MUSGRAVE R.B., 1977. - Photo-
synthetic selection of *Zea Mays* L.. I. Plant age and leaf
position effects and a relationship between leaf and
Canopy rates.
Crop Sci. 17 : 567-573.

VINCOURT P., 1977. - Aspects statistiques de la qualité d'un plan
d'expériences.
Ann. Am. plants, 27 : 211-222.

VIVIEN A., 1920. - Saccharogenic content and selection of sugar
beets.
Bull. Ass. Chem. Sucr. Dist., 38 : 143-163.

WANJURA D.F. and BUXTON D.R., 1977. - A systematic method for
studying seedling emergence.
J.A.S.S.B.T., 19 : 207-218.

WARREN J.A., 1963. - Use of empirical equations to describe the effects
of plant density on the yield of corn and the application
of such equations to variety evaluation.
Crop Sci., 3 : 197-201.

- WATSON D.J., 1952. - The physiological basis of variation in yield.
Adv. Agron. IV : 101-145.
- WATSON D.J., 1956. - Leaf growth in relation to crop yield in the growth of leaves.
E.D.F.L., Milthorpe Butterworths London, p. 178-191.
- WATSON D.J., 1958. - The dependence of net assimilation rate on leaf area index.
Ann. Bot., N.S., 22 : 37-54.
- WATSON D.J., 1962. - An attempt to increase yield by controlling leaf area index.
Ann. Appl. Biol., 50 : 1-10.
- WHITEHEAD F.H. and MYERSCOUGH P.J., 1962. - Growth analysis of plants. The ratio of mean relative growth rate to mean relative rate of leaf area increase.
New phytol. ., 61 : 314-321.
- WILHELM W.W. and NELSON C.J., 1978. - Growth analysis of tall fescue genotypes differing in yield and leaf photosynthesis.
Crop Sci., 18 : 951-954.
- WILLIAMS W.T., 1956. - Etiolation phenomena and leaf expansion. In the growth of leaves.
Ed. F.L. Milthorpe , p 127-138 ; *Butterworths, London*.
- WINNER C., 1974. - Die Jugendentwicklung der Zuckerrübe in ihrer Bedeutung für das spätere Wachstum und den Ertrag.
Zucker, 27 : 517-527.
- WINTER E.J., SALTER P.J., STANHILL G., BLEASDALE J.K.A.. - Measurement of leaf area in the growth of leaves.
Ed. F.L. Milthorpe, p 195-202, *Butterworths, London*.
- ZELITCH I., 1973. - Plant productivity and the control of photorespiration.
Proc. Nat. Acad. Sci., U.S.A., 70 : 579-584.

ANNEXES

ANNEXE IMilieu de Heller

<u>Macroéléments</u>	Concentration massique (mg/l)	Concentration millimolaire
KCl	750	10,059
Na NO ₃	600	7,060
Mg SO ₄ , 7 H ₂ O	250	1,014
Na H ₂ PO ₄ , 2 H ₂ O	125	0,801
Ca Cl ₂ , 2 H ₂ O	75	0,510
<u>Oligoéléments</u>		
Zn SO ₄ , 7 H ₂ O	1	0,0035
H ₃ BO ₃	1	0,0162
Mn SO ₄ , H ₂ O	0,1	0,0006
Cu SO ₄ , 5 H ₂ O	0,03	0,00012
Al Cl ₃	0,03	0,00022
Ni Cl ₂ , 6 H ₂ O	0,03	0,00013
KI	0,01	0,00006
Fe Cl ₃ , 6 H ₂ O	1	0,0037
Na ₂ EDTA	5	0,0134

ANNEXE II

T.M.T.D. (ou disulfure de tétraméthylthiourame), thiourame ou thirame, est un fongicide organique de la famille des thiocarbamates qui ne contient pas d'ion métallique. Il est très peu soluble dans l'eau et compatible avec la plupart des autres produits antiparasitaires, à l'exception des arsénates et des carbolinéums. Peu toxique pour l'homme et les abeilles, il présente toutefois l'inconvénient de provoquer des réactions allergiques chez certaines personnes, notamment une irritation des voies respiratoires et de la peau.

Le T.M.T.D. est efficace contre les tavelures, la pourriture grise, la moniliose, la cloque du pêcher, la maladie criblée. Il faut toutefois éviter d'appliquer ce fongicide sur des fruits destinés à la conserverie. On utilise également le T.M.T.D. pour la désinfection des semences de diverses plantes maraîchères et de grande culture (BOVEY, 1979).

ANNEXE III

Noctuelles ou vers gris.

Noctuelles des jardins, des moissons, gamma, etc...

(*Euxoa nigricans* L., *Scotia segetum* Schiff, *Autographa gamma* L.)

Les papillons sont nocturnes, d'une envergure de 30/40 mm ; les ailes antérieures sont généralement grisâtres avec des tâches noires, variables suivant les espèces. Les chenilles ("vers gris") des deux premières espèces sont très peu velues, grisâtres ; elles se tiennent, durant la journée, immobiles au pied des plantes et enroulées sur elles-mêmes ; celles de la noctuelle gamma, longues de 40/50 mm sont vertes avec six lignes longitudinales blanchâtres.

L'hibernation se fait à l'état d'oeufs pour la noctuelle des jardins ; les dégâts sont maximaux en mai et les chenilles se nymphosent dans le sol. Les papillons apparaissent entre le 10 juillet et le 10 août ; ils pondent quelques jours plus tard. Les chenilles de la noctuelle des moissons hibernent dans le sol et s'alimentent à partir de la fin mars ; les papillons déposent en juin un millier d'oeufs, isolément ou en petits groupes. Il y a une génération au Nord de la Loire et deux au Sud.

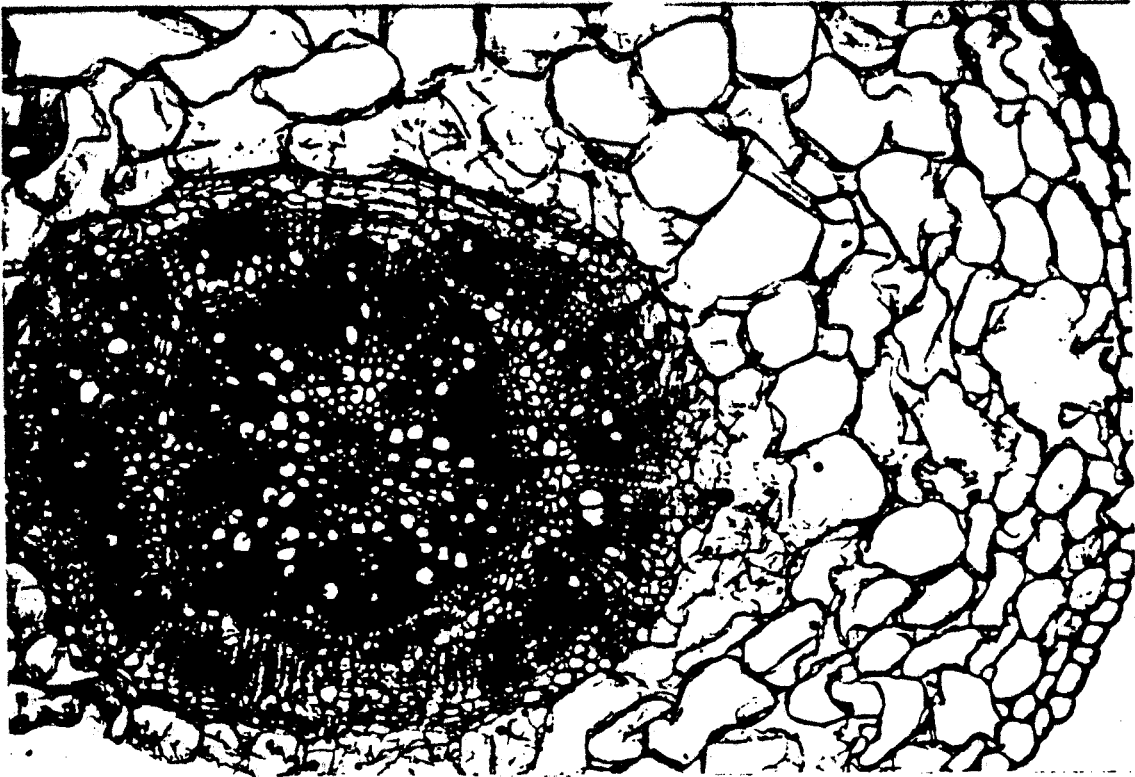
La noctuelle gamma hiberne au sud de la Méditerranée ; elle arrive au début de mai dans le Sud-Est, à la fin mai dans la région parisienne et dépose ses oeufs sous les feuilles. Les papillons apparaissent à partir de la mi-juillet et donnent une seconde génération.

Les pontes printanières des trois espèces sont faites à la face inférieure des feuilles des plantes adventices ; les chenilles rongent d'abord les feuilles de ces plantes, puis s'en vont sur les plantes cultivées : céréales, betteraves, pommes de terre, tabac, vigne, et rongent les feuilles ou coupent le pétiole.

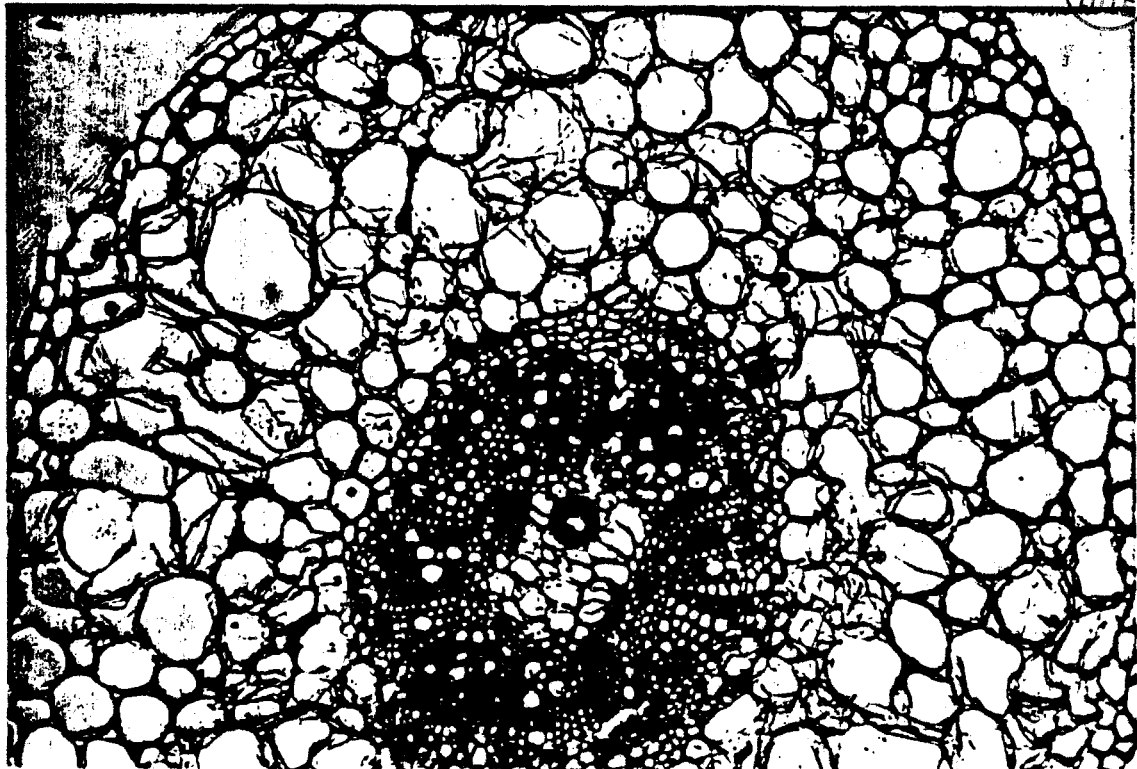
ANNEXE IV

Coupe transversale dans la partie moyenne des hypocotyles de plantules de Betterave à sucre 28 jours après émergence.

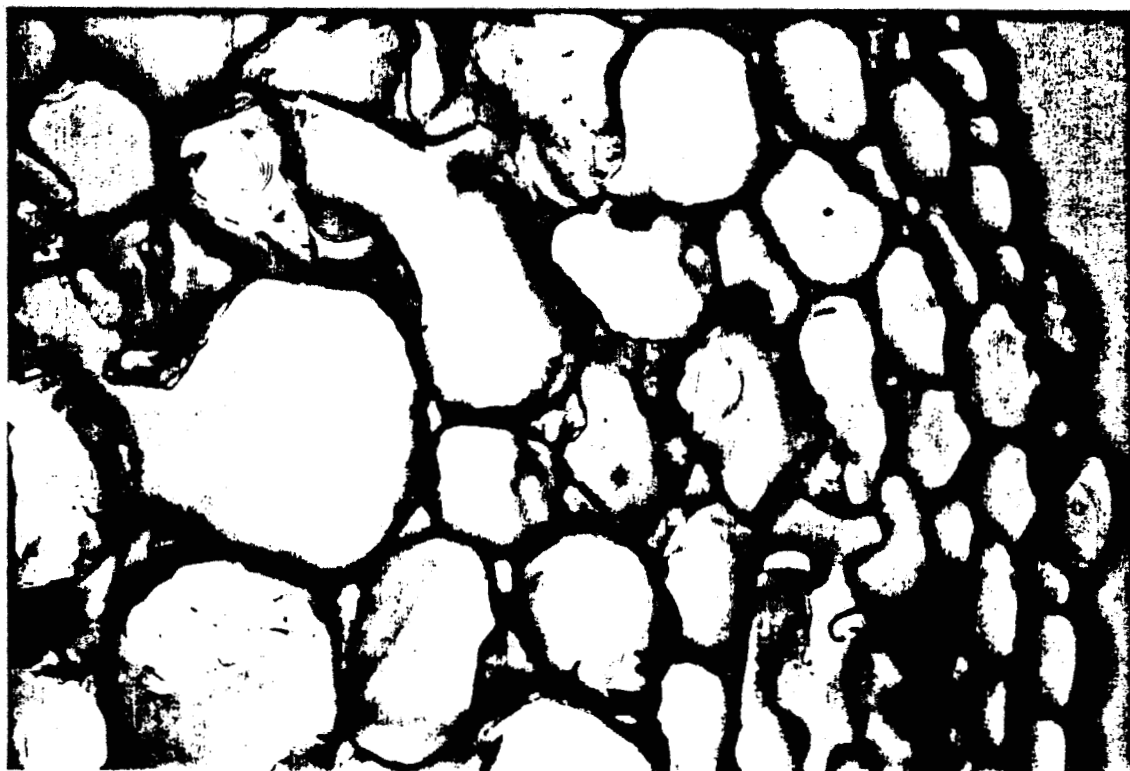
- a : variété A (x 66)
- b : variété B (x 66)
- c : variété A (x 166)
- d : variété B (x 166)



a



b



c



d

R E S U M E

Pour créer des variétés de betterava à sucre répondant aux exigences des agriculteurs (rendement) et des industriels (qualité technologique), le sélectionneur doit mettre en oeuvre des moyens importants. Ce dernier ne dispose pas de méthodes d'investigation suffisamment précoces et efficaces lui permettant de repérer les meilleurs hybrides issus de croisements ; il doit donc tester l'ensemble de ces hybrides. Un test de détermination précoce du rendement peut permettre d'apprécier l'aptitude à la combinaison pour ce caractère dès les premiers stades de la croissance et peut donc se substituer à une culture de racines, ce qui représente un gain de temps très appréciable pour le sélectionneur.

Nous avons recherché des caractères en relation avec le rendement. Seul le poids des embryons et des plantules, ainsi que le diamètre de l'hypocotyle, peuvent être utilisés comme critères de sélection précoce chez la betterave à sucre. Ces paramètres sont plus faciles à apprécier que les autres et répondent ainsi aux objectifs fixés au départ.

Ces critères nous ont permis de classer des variétés commerciales et des hybrides expérimentaux inconnus au départ, et nous avons observé les mêmes résultats que ceux obtenus par expérimentations aux champs.

Ce criblage au stade juvénile de la plante est une nouvelle méthode de sélection très pratique et peu coûteuse.

Mots clefs : *Beta vulgaris* L., betterave à sucre, plantules, hypocotyle, émergence, sélection, variété, hybride, rendement, précoce.