Taille et forme des semences de maïs (Zea mays l.) : variabilité et effets sur la croissance, le développement et le rendement

Christian Bockstaller

▶ **To cite this version:**

Christian Bockstaller. Taille et forme des semences de maïs (Zea mays l.) : variabilité et effets sur la croissance, le développement et le rendement. Sciences agricoles. Institut National Polytechnique de Lorraine, 1993. Français. NNT : 1993INPL035N . tel-01776481

HAL Id: tel-01776481

https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01776481

Submitted on 24 Apr 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITÉ DE LORRAINE

AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4
Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10
http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php
http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm

13600 16186

93 INPL 035 N

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'AGRONOMIE
ET DES INDUSTRIES ALIMENTAIRES

Laboratoire d'Agronomie et d'Environnement - INRA

[M] 1993 BOCKSTALLER, Ch.

THESE

présentée en vue de l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'I.N.P.L.

en Sciences Agronomiques

par

Christian BOCKSTALLER

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE NANCY

TAILLE ET FORME DES SEMENCES DE MAIS (*Zea mays* L.) : VARIABILITE ET EFFETS SUR LA CROISSANCE, LE DEVELOPPEMENT ET LE RENDEMENT

Soutenue le 9 avril 1993, devant le jury composé de :

A. GUCKERT	
A. FLEURY	**Rapporteur**
Y. LE DEUNFF	**Rapporteur**
R. BOURDU	
P. GIRARDIN	
F. REBIFFE	

Laboratoire d'Agronomie INRA de Colmar

AVANT-PROPOS

Ce travail a été réalisé au laboratoire d'Agronomie de l'INRA de Colmar dans le cadre d'une convention CIFRE, signée entre l'INRA et la société Pioneer France Maïs. Je tiens à remercier :

_ Mr Ph. GIRARDIN pour m'avoir proposé ce sujet de thèse et pour avoir encadré le travail. Ses conseils, ses critiques et ses apports bibliographiques m'ont été utiles.

_ La société Pioneer France Maïs et plus particulièrement Mme F. REBIFFE, responsable du projet, pour tous les moyens mis à disposition, ainsi qu'Agnès GRIMAL pour sa disponibilité, son travail de laboratoire (test de germination,...) et sa relecture du document écrit, Marie-Véronique SACHOT du laboratoire Contrôle Qualité et Michel GROSJEAN et son équipe pour la mise en place des essais.

_ Le personnel du laboratoire d'Agronomie et plus particulièrement Jean-Louis MEYER et M. TRENDEL pour leur disponibilité dans la résolution de nombreux problèmes pratiques qui ont pu accompagner un tel travail, ainsi que mes collègues thésards Annie DUPARQUE et Eric LEBON pour leurs encouragements et leurs conseils.

_ Plusieurs stagiaires, Geneviève MULLER, Claudine BESSERER, Agnès BLONDEAU, dont le sérieux et l'endurance ont été appréciés, ainsi qu'Alexandra LEPPERT et Christiane REISSER qui en plus de sa participation aux expérimentations, a assuré la frappe et a participé à la mise en forme du mémoire.

_ M. GUTHMANN, agriculteur, pour avoir mis à disposition une parcelle en 1991 et 1992.

_ MM. A. FLEURY et Y. LE DEUNFF qui ont accepté d'être les rapporteurs de la thèse, ainsi que MM. A. GUCKERT et R. BOURDU, menbres du jury.

Enfin, j'exprime ma profonde reconnaissance à mes parents, pour leur dévouement et les sacrifices consentis durant mes études, et à mon épouse dont la présence à mes côtés au cours des derniers mois de rédaction, a été d'un grand soutien.

SOMMAIRE

	Page
INTRODUCTION	9
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	11
I- LA SEMENCE DE MAIS	11
1. Anatomie	11
1.1. Le péricarpe	11
1.2. Le pédicelle	11
1.3. Le tégument interne	12
1.4. L'albumen	12
1.5. L'embryon	
2. Développement et croissance de la semence	14
3. Aspects morphologiques	14
3.1. La forme	15
3.2. La taille	15
3.3. Densité	17
4. Hétérogénéité morphologique	17
II- CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DE LA SEMENCE ET IMPLANTATION DE LA CULTURE	20
1. Germination sensu stricto	20
2. Levée	21
III- CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DE LA SEMENCE ET CROISSANCE ET DEVELOPPEMENT	22
1. Phase juvénile	23
2. Suite du cycle	24
IV- CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DE LA SEMENCE ET PRODUCTION DE GRAINS	26
V- INTERACTIONS CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DE LA SEMENCE - FACTEURS DU MILIEU	29
VI- CONCLUSION	31
QUESTIONS ET METHODES	35
I- QUESTIONS	35
II- DECOUPAGE DE L'ETUDE	36
III- METHODES	36
1. Etude grain à grain à partir de l'épi	36
2. Etude à partir d'un lot brut	37
3. Interactions caractéristiques morpholog. de la semence-facteurs du milieu	37
4. Choix variétal	38
IV- TRAITEMENTS STATISTIQUES	39

RESULTATS 41

PREMIERE PARTIE : ETUDE GRAIN A GRAIN A PARTIR DE L'EPI 41

I- MATERIEL ET METHODES 41

1. Caractérisation de l'hétérogénéité 41

1.1. Repérage de la position des grains 41
1.2. Caractérisation morphologique 42
1.3. Détermination du volume des grains 42
1.4. Détermination du poids sec de l'embryon 42

2. Formation des classes de semences 42

2.1. Année 1990 43
2.2. Année 1991 43

3. Comparaison des classes au champ 47

3.1. Dispositif et mise en place 47
3.2. Mesures 48

II- RESULTATS 50

1. Caractérisation de l'hétérogénéité morphologique 50

1.1. Variabilité intra-épi 50

1.2. Variabilité inter-épi 56

1.3. Autres caractéristiques morphologiques 62

1.3.1. Volume de la semence 62
1.3.2. Poids de l'embryon 64

2. Comportement au champ 66

2.1. Développement 66

2.1.1. Levée 66
2.1.2. Stade foliaire 68
2.1.3. Floraison 70

2.2. Croissance 70

2.3. Rendement en grain 81

III- CONCLUSION 83

DEUXIEME PARTIE : ETUDE A PARTIR D'UN LOT BRUT DE SEMENCES

I- MATERIEL ET METHODES 85

1. Séparation en fraction 85

1.1. Année 1990 86
1.2. Année 1991 87
1.3. Année 1992 87

2. Caractérisation des fractions 88

2.1. Liaisons calibre-caractéristiques de la semence 88
2.2. Caractérisation morphologique 89
2.3. Qualité semencière 89

3. Comparaison des fractions au champ 90

3.1. Année 1990 90

3.1.1. Le dispositif 90
3.1.2. Mise en place 90
3.1.3. Mesures 91

3.2. Années 1991 et 1992 92

3.2.1. Le dispositif 92
3.2.2. Mise en place 93
3.2.3. Mesures 93

II- RESULTATS 95

1. Caractérisation des fractions 95

1.1. Liaisons calibre-caractéristiques semencières 95

1.1.1. Calibre et taille de semence 95
1.1.2. Calibre et forme de la semence 98

1.2. Caractérisation des fractions 100

1.3. Qualité semencière 104

2. Comportement au champ 106

2.1. Conditions météorologiques 106

2.2. Mesures de contrôle 108

2.2.1. Profondeur de semis 108
2.2.2. Date de levée et de floraison 110
2.2.3. Densité de peuplement et croissance 110
2.2.4. Densité de peuplement et rendement 111

2.3. Développement 113

2.3.1. Levée 113
2.3.2. Stade foliaire 113
2.3.3. Date de floraison femelle 118
2.3.4. Nombre de racines 118

2.4. Evolution du poids de semence 122

2.5. Croissance 125

2.5.1. Croissance en matière sèche 125
2.5.2. Surfaces foliaires 135
2.5.3. Hauteur des plantes 136
2.5.4. Vitesse de croissance 139
2.5.5. Discussion 142

2.6. Rendement en grain 146

III- CONCLUSION 151

TROISIEME PARTIE : INTERACTIONS TAILLE DE LA SEMENCE-CONDITIONS PEDOCLIMATIQUES 153

I- MATERIEL ET METHODES 153

1. Etude en chambre de culture 153

1.1. Protocoles 155
1.2. Mise en place 157
1.3. Mesures

2. Etude au champ 157

II. RESULTATS 159

1. Etude en chambre de culture 159

1.1. Mesures de contrôle 159

1.1.1. Suivi de l'humidité du sol 159
1.1.2. Eclairement 161

1.2. Traitement froid 162

1.2.1. Développement de la plante 162
1.2.2. Croissance 162

1.3. Traitement sec 170

1.3.1. Développement 170
1.3.2. Croissance 170

2. Suite du cycle 176

2.1. Date de levée des plantes repiquées 176

2.2. Traitement froid 178

2.2.1. Date de floraison femelle 178
2.2.2. Rendement en grain 178

2.3. Traitement sec 180

2.3.1. Date de floraison femelle 180
2.3.2. Rendement en grain 182

III- CONCLUSION 184

CONCLUSION GENERALE 185

Références bibliographiques 189

ANNEXES I-XXVI

INTRODUCTION

Comme chez beaucoup d'espèces végétales sauvages et cultivées, il existe chez le maïs une variabilité morphologique intraspécifique des semences qui se retrouve entre différents génotypes, mais aussi à l'intérieur d'une variété, et même pour une plante donnée au sein de l'épi. Cette hétérogénéité concerne la taille des semences mais aussi la forme, qui chez le maïs peut être plate ou ronde.

Pour beaucoup de cultures, les agriculteurs ont appris à trier leurs semences et à écarter les plus petites mal développées, de mauvaise qualité germinative. De là, il s'est répandu un soupçon quant au potentiel de production de plantes issues de petites graines, soupçon qui est plus ou moins fondé empiriquement sur des observations chez certaines espèces (WOOD et al. 1977). L'introduction des variétés hybrides chez le maïs a rendu obligatoire l'achat par les agriculteurs de nouvelles semences chaque année. La production de semences hybrides nécessite une technicité et des investissements, réservés à des entreprises semencières possédant le matériel génétique. Les producteurs de semences sont aussi obligés de trier les semences en fonction de la taille pour permettre un semis régulier, et en fonction de la forme lorsque les semences sont destinées à être utilisées avec des semoirs mécaniques. L'utilisation des semoirs pneumatiques a diminué le travail en usine et ne nécessite plus, en particulier, de séparation des grains plats et ronds. En tout cas, cette dépendance des agriculteurs vis à vis des firmes, les a amené à porter une attention particulière à l'aspect et à la qualité germinative des semences, et, à leur potentiel de rendement. Si les premiers font l'objet de contrôles réglementés et ne prêtent pas à discussion, il reste le troisième aspect quant aux performances des plantes issues de semences de taille et forme variables. Les agriculteurs marquent ainsi une préférence pour les grains plats moyens ou gros, au détriment des petites semences ou des rondes.

Cette question des liens entre caractéristiques des semences et comportement au champ intéresse les agronomes depuis plus d'un siècle (GALLOWAY 1894 dans STANTON 1984, JETHRO TULL 1733 dans ABD EL RAHMAN et BOURDU 1986). Ces études ont été entreprises la plupart du temps avec une optique d'optimisation des rendements. Plus récemment, la construction de modèles de croissance chez le maïs en particulier, a amené certains chercheurs à s'intéresser à ce problème (POMMEL 1990). Par ailleurs, les agronomes et les physiologistes sont aussi confrontés dans leurs travaux à cette variabilité morphologique des semences, qui peut constituer une source de variance résiduelle dans leurs expérimentations. Pour limiter d'éventuels biais, certains chercheurs travaillant sur le maïs ont été amenés à peser leurs semences et à ne choisir

que les grains dans une gamme restreinte de poids (MARCELLIN 1979, BRUCKLER 1983).

Ces considérations, nous conduisent à la question de base de cette étude : **Quels sont les effets de la taille et de la forme de la semence sur la croissance, le développement[1] et le rendement en grain du maïs ?**

L'objectif est de répondre aux interrogations des agriculteurs, comme des chercheurs utilisateurs de semences quant au potentiel de croissance ou de production du maïs grain issu de semences de taille ou forme variables.

Nous limiterons cette étude **à la variabilité morphologique des semences à l'intérieur d'une même variété**, et ne traiterons pas de celle entre différents génotypes, que certains travaux ont abordée (GUBBELS 1974, FOK AH CHUEN 1979, VAN DE VENTER et HOFFMAN 1988). Ces études dépassant le cadre d'un génotype ont une autre portée et ne permettent pas souvent d'apporter des réponses à la question des effets des caractéristiques semencières sur le comportement de la plante (HEYDECKER 1972 dans VAN DE VENTER et HOFFMAN 1988).

Mais avant de traiter des effets de la taille et de la forme, il conviendra de **définir** ce que sont **la taille et la forme de la semence**, et quels critères peuvent leur être associés. Ceci nous permettra dans un second temps, de **caractériser leur variabilité**, qui peut être abordée à deux niveaux : soit de l'épi de maïs, lequel présente une hétérogénéité visible à l'oeil nu, soit d'un lot brut provenant de l'égrenage d'un certain nombre d'épis. Les producteurs de semences travaillent avant tout à ce niveau. Ce travail de caractérisation de la variabilité morphologique permet d'apporter des informations sur les facteurs étudiés, en l'occurrence la taille et la forme de la semence, qui seront utiles pour **l'étude de leurs effets sur le comportement des plantes.**

La question centrale de ce mémoire sera étudiée au champ, à partir de semences venant soit directement de l'épi, soit d'un lot brut. Nous chercherons à nous placer dans des conditions de culture proches de celles des agriculteurs pour répondre à leurs interrogations. Nous serons donc confrontés à la variabilité des conditions pédoclimatiques ce qui amène directement à une autre question, portant sur les **interactions entre conditions pédoclimatiques et caractéristiques semencières**. Il s'agit de voir si un éventuel effet de la taille de la semence ou de sa forme sur le comportement des plantes est amplifié ou diminué, lorsque les conditions de milieu changent, et plus précisément, en situation de stress.

[1] Nous incluons dans le terme de développement tous les aspects qualitatifs de l'évolution d'une plante (CHAMPAGNAT et al. 1969), l'apparition de nouveaux organes, et, l'acquisition de stades physiologiques (floraison) et phénologiques (levée).

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I- LA SEMENCE DE MAIS

1. Anatomie

Pour les botanistes, le grain de maïs est un caryopse, c'est-à dire un fruit sec indéhiscent soudé à la graine unique qu'il contient. Ce type de fruit est caractéristique de toutes les céréales. Il se compose de plusieurs parties sans continuité histologique entre elles, ce qui facilite leur séparation (WOLF et al. 1952).

1.1. Le péricarpe

C'est l'enveloppe externe du grain. Il se présente sous forme d'une fine membrane, presque invisible. Son épaisseur est de l'ordre de 110 µm (HELM et al. 1969 dans WATSON 1987). Le péricarpe est issu de la transformation des tissus de l'ovaire de la plante femelle. Il dépend du génotype maternel uniquement. Cette enveloppe chitinisée et dure, plus ou moins colorée joue un rôle protecteur. Elle présente cependant des propriétés semi-perméables et permet des échanges osmotiques (WATSON 1987). La partie recouvrant l'embryon est l'écusson, qui constitue une zone de moindre résistance au gonflement lors de la germination (BOURDU et BOUSSER 1991).

1.2. Le pédicelle

A la base de la semence, le pédicelle ou ce qu'il en reste après égrenage, constitue le point d'insertion sur l'épi. Il ne représente que 0,8% du poids total du grain (Tab.1). La perte d'une partie lors de l'égrenage n'a donc qu'un faible effet sur le poids de la semence. Le pédicelle joue un rôle important dans le transfert des assimilats de l'épi vers le grain, durant la phase de remplissage. A la fin du remplissage du caryopse, une fine couche de couleur sombre se forme et bloque le passage. Il s'agit du"point noir", utilisé comme indicateur de maturité du grain (DAYNARD et DUCAN 1969). Sa formation résulte de l'écrasement par la croissance du scutellum, des cellules du pédicelle qui assurent le transfert des assimilats. Le pédicelle est constitué de tissus spongieux et fibreux, plus ou moins rétrécis par la dessiccation. Cette structure spongieuse lui permet

de jouer le rôle de mèche lors de l'imbibition (WOLF et al. 1952, BOURDU et BOUSSER 1991).

1.3. Le tégument interne

Il s'agit de l'enveloppe de la graine proprement dite. Elle se forme à partir des tissus de l'ovule. Chez le maïs, elle est très fine et transparente et adhère au péricarpe.

1.4. L'albumen

Il constitue la plus grosse partie de la semence (83% du poids sec (Tab.1)). Il est constitué de tissus triploïdes, qui sont issus de la fécondation d'un gamète mâle avec les deux noyaux polaires du sac embryonnaire femelle. L'albumen forme avec le scutellum les réserves de la semence. La couche externe, monocellulaire, est riche en huile et en protéines, accumulées sous forme de grains d'aleurone, d'où le nom de couche à aleurone. Le reste est surtout riche en amidon (88% du poids sec (EARLE et al. 1946 dans WATSON 1987)) sous forme de granules et contient des protéines.

L'amidon se retrouve sous deux formes, vitreux ou farineux. Leurs proportions relatives déterminent les différents types de grains (corné, corné-denté, denté...). Pour le maïs doux, l'amidon est remplacé par des glucides solubles. La couleur du grain dépend de celle de l'albumen. Cependant le scutellum ou le péricarpe peuvent aussi contenir des pigmentations (WOLF et al. 1952). La régulation génétique de la coloration est complexe.

1.5. L'embryon

L'embryon ou germe est constitué du scutellum, l'unique cotylédon, et de l'embryon proprement dit. Il représente environ 11% du poids sec de la semence (Tab.1). WOLF et al. (1952) ont trouvé pour une variété dentée, que le scutellum constitue 10,1% du poids sec total contre 1,3% pour l'embryon proprement dit. Le scutellum est considéré comme la première feuille, mais n'apparaît pas à la surface. Il n'est pas inclu dans le comptage de feuilles dans le cadre d'un suivi du développement. Le scutellum est riche en huiles (33% du poids sec de tout l'embryon), et à un degré moindre en protéines (18% du poids sec de tout l'embryon). C'est la partie utilisée (avec l'embryon) en huilerie. Il assure la fonction d'organe de réserve pour l'embryon (DURE 1960).

Tab.1 : Poids sec des différentes parties du grain en % du poids du grain.
Moyenne (et amplitude) sur 7 hybrides dentés,
(d'après EARLE et al. (1946 dans WATSON 1987)).

Parties	% poids sec du grain
albumen	82,9 (81,8-83,5)
embryon	11,1 (10,2-11,9)
péricarpe	5,3 (5,1-5,7)
pédicelle	0,8 (0,8-1,1)

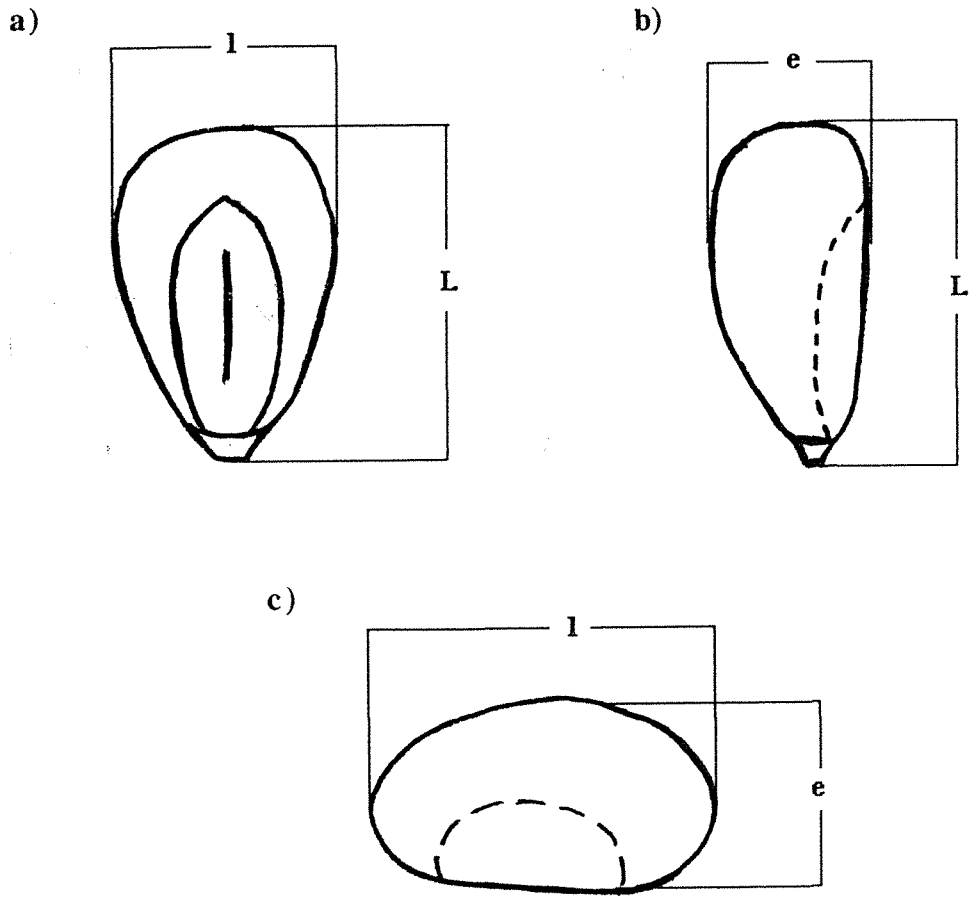


Fig.1 : Longueur (**L**), largeur (**l**) et épaisseur (**e**)
de la semence vue de :
a) de face **b**) de profil **c**) de dessus

L'épiderme dorsal du scutellum, séparé de l'albumen par une couche de cellules fibreuses, joue un rôle clé dans la germination (BOURDU et BOUSSER 1991). Cette couche monocellulaire assure la mise en place du système enzymatique déclenchant la germination, et intervient dans le transfert des réserves de l'albumen vers l'embryon.

Dans l'embryon proprement dit ou axe embryonnaire (WOLF et al. 1952), on distingue la future plantule, avec la radicule protégée par le coléorhize et les feuilles embryonnaires contenues dans le coléoptile. 5 ébauches foliaires sont généralement formées dans la semence mûre (RANDOLPH 1936, BELL 1952). D'après KIESSELBACH (1949) et JUGUET et al. (1986), le nombre varie entre 4 et 6 et dépend de la variété mais non de la position sur l'épi (BELL 1952). Dans notre étude, le terme d'embryon comprendra sauf précision, le scutellum et l'axe embryonnaire.

2. Développement et croissance de la semence

Après la fécondation, commence une phase de division cellulaire qui touche en premier lieu l'albumen. L'embryon se développe plus lentement au début (KIESSELBACH 1949), mais sera formé avant la fin du remplissage du grain (GIRARDIN 1991). Contrairement aux autres céréales et au soja, le développement de l'embryon est indépendant de celui de l'albumen (LAMPE 1931). L'accumulation d'amidon commence environ 15 jours après la fécondation, tandis que les divisions cellulaires ne cessent que 28 jours après (KIESSELBACH 1949).

GIRARDIN (1991) distingue 4 phases:

– une phase de latence à la fin de laquelle les ovules fécondés atteignent 5% du poids final du grain.

– la phase exponentielle qui correspond à l'entrée en phase de remplissage.

– la phase de remplissage où les grains présentent une croissance linéaire.

– la phase de dessèchement pendant laquelle l'humidité de la semence est ramenée à moins de 40%.

Durant cette période d'accumulation des assimilats, le grain semble atteindre son volume final avant la fin de la croissance pondérale (TOLLENAAR et DAYNARD 1978). Ceci a aussi été trouvé chez le blé par MILLET et PINTHUS (1984). Ces auteurs suggèrent une dépendance du poids final vis-à-vis du volume. TOLLENAAR et DAYNARD (1978) émettent l'hypothèse que le volume pourrait déterminer la force de puits du grain pour le remplissage.

3. Aspects morphologiques

Parmi les critères morphologiques, la taille et la forme sont les plus souvent utilisées. Mais ces notions nécessitent des définitions précises pour éviter toute confusion. La figure 1, nous donne une représentation des trois dimensions, longueur (ou hauteur) (**L**), largeur (**l**) et épaisseur(**e**). Pour la majorité des grains des variétés dentées, la longueur est supérieure à la largeur qui elle-même dépasse l'épaisseur.

3.1. La forme

Après un premier tri en fonction de la taille, les semences sont couramment séparées en fractions plates et rondes. Mais en observant des grains de plus près, on constate que la forme réelle est très variable. Vus dans un plan vertical de face, certains peuvent être de forme ronde, d'autres plus ou moins rectangulaires avec tous les intermédiaires. En considérant un plan transversal, il existe à côté des types extrêmes, ronds ou rectangulaires, d'autres types triangulaires ou plus irréguliers encore. L'épaisseur est aussi variable. La diversité est donc très grande. La classification en semences rondes et plates, reste très schématique. Elle est fondée sur l'épaisseur essentiellement, dans le cas normal où l'épaisseur est inférieure à la largeur. En effet, la séparation est effectuée par le passage au travers de grilles aux trous rectangulaires allongés, dont la longueur est supérieure aux dimensions des grains. Les semences "rondes" seront celles dont l'épaisseur dépasse la largeur des trous. Avec cette technique, des semences épaisses, mais de formes variables sont inclues parmi les rondes. Plusieurs auteurs (HICKS et al. 1976, SHIEH et McDONALD 1982, BAUDET 1987 et GRAVEN et CARTER 1990) ont eu recours à ce type de calibrage.

POMERANZ et al. (1985) utilisent un coefficient de sphéricité pour caractériser la forme. Ce coefficient (**CS**) repose sur l'hypothèse que le grain est un ellipsoïde de longueur **L**, largeur **l**, épaisseur **e** maximales. Le coefficient est alors :

$$CS = (L*l*e)^{1/3} \ / \ \max(L,l,e) \quad (1)$$

Si le grain était une sphère parfaite, **CS** serait égal à 1.

3.2. La taille

Il serait possible de définir la taille par l'une des trois dimensions : longueur, largeur ou épaisseur maximales (Fig.1). Mais d'un grain à l'autre, ces trois critères varient simultanément. Etant donnée en plus la très grande variabilité de la forme, il n'est pas possible d'associer à la taille une seule dimension. Plusieurs auteurs ont utilisé le poids de la semence, individuel ou de 100 grains ou plus, pour décrire la taille (HAMMES 1969, HUNTER et KANNENBERG 1972, ABD EL RAHMAN et BOURDU 1986, POMMEL 1990). Cependant taille et poids ne devraient pas être confondus selon HARMOND et al. (1965, dans BAUDET 1987). En effet la taille est reliée à l'espace occupé par le grain tandis que le poids (ou la masse plus précisément) représente une quantité de matière. A densité réelle constante, les deux sont proportionnels. Un meilleur critère pourrait être le volume réel de la semence qui intègrerait les 3 dimensions. Mais toutes ces caractéristiques physiques plus ou moins facilement mesurables, ne peuvent pas être utilisées pour un tri au niveau industriel.

Le calibrage reposant sur le passage des grains par des grilles à trous de dimension et forme variables est la méthode utilisée en production de semences. En général, les trous ronds servent pour un premier tri sur la taille et les fractions qui en résultent peuvent être repassées à travers des grilles à orifices allongés pour la séparation "plats-ronds" (cf. 3.1.). Le calibre sera donné par la dimension des trous. Cette méthode de tri pour la forme et la taille est utilisée par les auteurs cités en 3.1.. Cependant, la liaison entre le calibre et la taille réelle des semences n'est jamais évoquée et mérite réflexion.

Deux cas extrêmes et théoriques nous permettent d'approcher la notion de calibre :
– si tous les grains étaient de forme sphérique ou cylindrique, le calibre serait défini par le diamètre du trou, qui correspondrait au diamètre maximal des semences pouvant traverser la grille. Un seul critère mesurable, en l'occurrence le diamètre, suffirait pour définir la taille.

– une forme parallélépipédique serait l'autre extrême. Le grain ne peut alors traverser la grille qu'en se présentant devant le trou par sa surface la plus petite. Dans le cas où l'ordre normal de grandeur des 3 dimensions (L>l>e) est respecté et où les orifices des grilles sont de diamètre C, les semences passent par la grille si :

$$(l)^2+(e)^2<C^2 \qquad (2)$$

Le calibre serait alors défini par cette relation mathématique. Avec cette hypothèse, le calibre serait donc relié à 2 dimensions de la semence qui seraient normalement la largeur et l'épaisseur. Or la forme réelle du grain se rapproche dans certains cas d'une sphère, et dans d'autres d'un parallélépipède, avec tous les intermédiaires et les formes irrégulières. Il n'existe donc pas une relation unique entre les 3 dimensions du grain et le calibre.

Les semences retenues entre deux grilles successives ont donc des dimensions (largeur et épaisseur) comprises entre les limites données par des relations que nous avons définies dans des cas simples. Selon la forme des grains, les limites varieront. De plus, le tri ne porte pas sur la longueur des grains dans la majorité des cas. Un calibre comprendra donc des grains de taille variable. Ceci aura pour conséquence une hétérogénéité des poids des grains, qu'il sera intéressant de caractériser.

3.3. Densité

La densité peut être exprimée de 2 manières : la densité réelle et la densité apparente. La première résulte du rapport du poids de la semence par son volume. La seconde est le poids d'un volume donné de grains et intègre l'espace vide entre les grains. Elle est couramment utilisée, notamment pour la caractérisation et la classification des lots de grains à commercialiser (F.G.I.S. 1985 dans WATSON 1987). D'après POMERANZ et al. (1985), la densité apparente des grains ronds est supérieure à celle des plats, mais ne varie pas en fonction de la taille.

En revanche, le volume réel est fortement lié linéairement au poids. Un coefficient de corrélation hautement significatif, égal à 0,97 a été trouvé par BAUDET (1987), pour des données collectées sur 3 variétés. Chez le blé, le même résultat a été trouvé par MILLET et PINTHUS (1984). Cette forte liaison linéaire entre poids et volume a pour conséquence une faible variabilité de la densité, du moins pour des grains ne présentant pas des problèmes sanitaires ou de parasitisme. Des résultats de POMERANZ (1985) pour 3 hybrides, il ressort une très faible variabilité de la densité à l'intérieur de chaque variété.

4. Hétérogénéité morphologique

Les critères de taille et de forme étant définis, nous pouvons nous intéresser à l'hétérogénéité morphologique à l'intérieur d'une variété. Chez le maïs, la variabilité de la taille et de la forme sur l'épi a été évoquée par plusieurs auteurs, mais n'a pas fait l'objet

d'étude quantitative précise. Leurs affirmations reposent sur des observations isolées, mais ne concordent pas toujours.

En ce qui concerne la forme, il apparaît à l'œil nu qu'aux extrémités de l'épi se trouvent des grains ronds ou épais, et au milieu des plats. ABD EL RAHMAN et BOURDU (1986) et WATSON (1987), soulignent le rôle de l'espace disponible autour du grain en formation pour le déterminisme de la forme. Les grains du milieu seraient comprimés par les adjacents alors que l'absence de l'un d'eux permet aux voisins de s'épaissir.

Si MUJICA (1976) affirme que les grains du milieu sont les plus lourds, ABD EL RAHMAN et BOURDU (1986), WATSON (1987) et GRAVEN et CARTER (1990) évoquent la liaison taille-position sur l'épi, avec une diminution de la base au sommet. Pour former respectivement des classes de "grandes" et "petites" semences, KIESSELBACH (1937) a prélevé des semences du milieu et du sommet de l'épi. D'après OU-LEE et SETTER (1985), ce gradient serait dû a une disponibilité décroissante en assimilats. Ces auteurs ont augmenté la force de puits des grains du sommet, en faisant monter artificiellement la température de ces derniers. Le poids des grains apicaux a été ainsi accru sans modification du poids moyen de l'ensemble des grains de tout l'épi.

Chez le blé, une étude quantitative a été menée par CHAUSSAT (1975). Le poids de la semence est maximal au milieu de l'épi et sur le deuxième grain de chaque épillet, qui comprend généralement 3 grains ou 2 seulement pour ceux du sommet.

Plusieurs études ont porté sur des lots bruts de semences. Les classes de taille ont été généralement caractérisées par des poids moyens de semences pesées individuellement, ou par 100 ou plus. Le tableau 2 nous montre que l'ordre de grandeur des amplitudes des poids moyens étudiés est variable. En général le rapport entre les extrêmes se situe autour de 1,5-2. Dans le travail de HAWKINS et COOPER (1979) effectué au Kenya, les grosses semences étaient trois fois plus lourdes que les petites, ceci pour un hybride local. Le tableau 3 (BAUDET 1987) donne des valeurs supplémentaires pour le volume et la densité réelle calculée. Celle-ci varie faiblement en fonction des classes de taille.

HAMMES (1969) s'est intéressé en plus au poids de l'embryon et a montré qu'il existait une liaison positive entre le poids total du grain et celui du germe.

Toutes ces études nous donnent des ordres de grandeur de l'hétérogénéité, notamment pour le poids. Mais la variabilité à l'intérieur des calibres ou classes n'est jamais précisée, exception faite de POMMEL (1990) qui donne les amplitudes de poids à l'intérieur des classes de taille. POMERANZ et al. (1985) ont calculé les coefficients de variation de la sphéricité (exprimée par la relation (3)) pour chaque taille.

Tab.2 : Amplitudes de poids de semences entre classes de taille chez différents auteurs.

Auteurs	Nombre de grains / mesure	Poids (mg) grandes/petites semences
KIESSELBACH (1937)	100	292 / 158
HUNTER et al. (1972)	100	390 / 230
HAWKINS et al. (1979)	1000	613 / 225
ABD EL RAHMAN et al. (1986)	1	332 / 229 (1)
BAUDET (1987)	100	310 / 238 (1)
POMMEL (1990)	1	(310-370) / (140-170)
GRAVEN et al. (1990)	80000	261 / 199 (1) et 301 /188 (1)

(1) moyennes semences rondes et plates

Tab.3 : Poids, volume, densité réelle des semences en fonction de la taille et de la forme, d'après BAUDET (1987).

Tailles	poids (g /100 grains)	Volume (cm3 / grain)	Densité réelle (calculée)
Gros plats	292	0,223	1,303
Gros ronds	332	0,255	1,306
Petits plats	227	0,176	1,293
Petits ronds	258	0,202	1,291

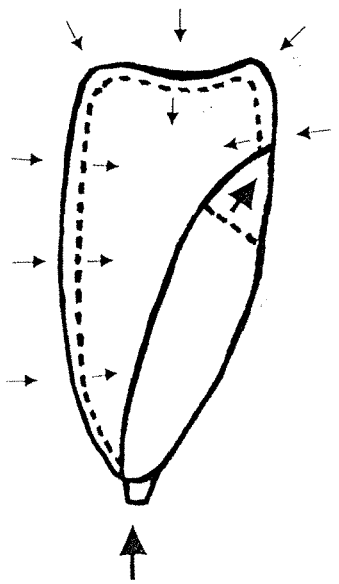


Fig.2 : Imbibition de la semence de maïs : les deux voies d'entrée de l'eau (McDONALD 1992).

→ imbibition de l'embryon (rapide) → imbibition de l'endosperme (lente)

- - - fronts d'eau

Ils varient entre 5,4% et 12,8%. Ils donnent par ailleurs les proportions pour chaque calibre, ceci pour 3 hybrides dentés. Les ronds (CS>0,70) représentent 1/4 environ du nombre total de grains. Mais il est probable que pour des hybrides cornés, la proportion soit supérieure.

II- CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DE LA SEMENCE ET IMPLANTATION DE LA CULTURE.

1. Germination sensu stricto

La germination proprement dite est précédée par une phase d'imbibition qui dépend uniquement de l'état hydrique de la semence et du lit de semences (BRUCKLER 1983). Même une graine morte qui ne germera plus présente ce phénomène. L'imbibition serait gouvernée selon McDONALD (1992) par deux mécanismes distincts (Fig.2). L'embryon s'hydrate rapidement en 15 heures environ, par l'entrée d'eau par le pédicelle, ce qui a aussi été observé par BOURDU et BOUSSER (1991). L'imbibition de l'albumen s'effectue plus lentement par la pénétration de l'eau selon un front régulier au travers du péricarpe. Cette voie d'entrée de l'eau avait déjà été mise en évidence par PHILLIPS (1968).

La germination commence avec la phase d'absorption d'eau qui déclenche la mise en place et le fonctionnement des systèmes enzymatiques. Le gonflement des tissus embryonnaires provoque l'éclatement de l'écusson. La sortie de la radicule marque la fin de la germination sensu stricto.

Une imbibition plus rapide des petites semences que des grosses a été observée par VAN DE VENTER et HOFFMAN (1988), sans que la germination ne varie. FOK AH CHUEN (1979) ne trouve pas d'effet de la taille de la semence sur les deux vitesses, d'imbibition et de germination. Cependant ces deux travaux reposaient sur des comparaisons intergénotypiques.

Dans une étude intragénotypique, MUCHENA et TROGAN (1977) n'observent pas en conditions hydriques normales des variations du taux de germination (exprimé en pourcentage) en fonction de la taille de la semence. Dans les travaux d'HUNTER et KANNENBERG (1972) ainsi que de GRAVEN et CARTER (1990), les contrôles de germination n'ont révélé aucune différence significative liée à la taille. SHIEH et McDONALD (1982) sur 2 lignées pures, Mo17 et B73, et BAUDET (1987) sur hybrides

n'ont pas non plus mis en évidence de liaison du taux de germination avec la taille. En revanche, les semences plates ont un meilleur comportement que les rondes pour le test de germination standard et le cold test. Ces résultats seraient dus à une altération de la qualité germinative des semences rondes durant le traitement industriel. En effet, les semences rondes ont des embryons qui sont pour la majorité plus exposés aux chocs mécaniques, nombreux en particulier durant le calibrage (SPITTEL et BRINKMANN 1985, BAUDET 1987). Par ailleurs, BAUDET a montré une certaine liaison (r=0,64), entre la densité apparente et la germination. Les corrélations entre la densité et les différents tests de qualité sont nettement meilleures à l'intérieur de chaque lot de semences et calibre que pour l'ensemble des données.

L'absence d'effet de la taille de la semence sur la germination, peut s'expliquer par le fait que l'imbibition de l'embryon, cruciale pour la germination, s'effectue principalement par l'intermédiaire du pédicelle et non à travers toute la surface du grain qui elle serait reliée à la taille. D'autre part la fraction de réserves de la semence consommées pour la germination serait une constante variétale et ne semblerait pas dépendre de la taille de la semence (POMMEL 1990).

2. Levée

La levée intervient avec l'apparition du coléoptile à la surface du sol, et correspond à un stade phénologique et non pas physiologique. Elle peut être caractérisée au niveau de la culture par le taux final de grains levés ou par la vitesse. Comme pour leurs tests de laboratoire, SHIEH et McDONALD (1982) ont mis en évidence un effet de la forme du grain sur le pourcentage de levée au champ, tandis que la taille n'intervient pas. Les résultats de GRAVEN et CARTER (1990) sont analogues, bien que l'effet de la forme soit moins net. Pour la durée semis-levée, aucun écart important (supérieur à 1,5 jours) n'a été noté entre différentes tailles de semences (HUNTER et KANNENBERG 1972, HAWKINS et COOPER 1979, GRAVEN et CARTER 1990). Seul MOURAUX (1991) a noté des écarts de levée entre classes de taille variable. Pour une variété (Lixis), les semences de poids moyen présentaient une levée plus rapide que les extrêmes, et pour une autre (Golda) seules les petites étaient en retard. Mais cet auteur n'a pas fait de tri de la forme à l'intérieur de chaque classe. Une interaction avec la forme est possible si dans chaque classe, semences rondes et plates ne sont pas représentées de manière égale. Des différences de qualité germinative entre classes de taille pourrait aussi être à l'origine de ces résultats de levée.

Cette absence d'effet de la taille de la semence sur l'implantation chez le maïs, se retrouve chez d'autres céréales (WOOD et al. 1977). La morphologie du caryopse fait que la taille de la semence reflète l'importance des réserves et de l'embryon. Les petites semences qui ne sont pas toutes viables, sont déjà éliminées en partie lors du battage. Ainsi les niveaux de germination des lots d'espèces à caryopse sont généralement supérieurs à 80%, et pour le maïs ils dépassent normalement 90%.

Chez le sorgho néanmoins, ABDULLAHI et VANDERLIP (1972) ont noté de moins bonnes performances des petites semences, surtout dans les tests de laboratoire. Mais sur un hybride de la même espèce, MARANVILLE et CLEGG (1977) n'ont pas observé d'effet de la taille sur la levée qui est, par contre, affectée par la densité de la semence. Des résultats similaires ont été obtenus par ALVIM (1975 dans BAUDET 1987).

Chez le millet américain, (*Pennisetum americanum* (L.), Leeke), la taille et la densité auraient aussi un effet sur le taux de levée (LAWAN et al. 1985). La nature de l'interaction entre ces deux facteurs révèle que c'est en fait le poids de la semence, qui intègre ces deux critères, qui interviendrait directement au dessous d'un seuil.

Pour le soja, il ressort des nombreux travaux cités par HOY et GAMBLE (1985) des résultats contradictoires quant à l'effet de la taille des semences sur la germination ou la levée. Ces auteurs ont trouvé un avantage des petites graines pour la germination (test standard), en travaillant sur une gamme étendue de lots. Cependant pour quelques lots de vigueur élevée, aucun effet de la taille de la semence n'apparaissait.

Pour d'autres espèces, comme la carotte ou la betterave, où la semence est un fruit indeshicent dans lequel la graine ne représente qu'une faible proportion de la semence, les grosses semences ont un meilleur comportement germinatif que les petites (WOOD et al. 1977).

III- CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DE LA SEMENCE ET CROISSANCE ET DEVELOPPEMENT

Au début du cycle de la plante, la croissance et le développement sont assurés par la consommation des réserves de la semence (COOPER et MACDONALD 1970). Chez le maïs, l'apport de la photosynthèse reste négligeable jusqu'au stade 2 feuilles étalées, stade où la quatrième feuille a déjà commencé à croître (COOPER et MACDONALD 1970, MARCELLIN 1979). Jusqu'à ce stade, les premiers auteurs n'ont pas observé de

différences de croisssance entre plantules qui ont grandi à l'obscurité, et d'autres cultivées à la lumière dans les mêmes conditions. En fait, durant cette période, la photosynthèse a déjà débuté. Mais les assimilats sont dirigés préférentiellement vers les processus respiratoires, tandis que le carbone hétérotrophe sert à la constitution des tissus de la plante (DELEENS et al. 1984). Cette première phase allant de la levée au stade 3-4 feuilles est couramment appelée phase hétérotrophe, ou encore phase juvénile, car la photosynthèse reste négligeable.

A la sortie de cette phase initiale, quand la photosynthèse a pris le relais comme source énergétique, la plantule de maïs entre dans une phase de croissance, tout d'abord lente puis rapide et linéaire. Ce cas de figure observé pour la plante entière, se retrouve organe par organe (HANWAY 1963). La première phase de croissance lente peut être très précisément ajustée chez le maïs par le modèle exponentiel (FLEURY et al. 1986).

1. Phase juvénile

Durant cette phase, plusieurs auteurs ont observé des écarts de croissance entre plantes venant de semences de taille différente. Sur le poids sec de plantules issues de grains germés lors de tests de germination, HAMMES (1969) pour des hybrides et SHIEH et McDONALD (1982) pour des lignées pures ont noté un effet de la taille de la semence. De même, ABD EL RAHMAN et BOURDU (1986) en chambre de culture, et POMMEL (1990) en serre, ont trouvé des résultats analogues en effectuant des suivis de croissance précis jusqu'au commencement de l'autotrophie. Les premiers observent des corrélations très étroites ($r>0,95$) entre le niveau de croissance à un jour donné et le poids initial de la semence.

En fait la croissance de la plantule est liée linéairement de la quantité de réserves consommées (COOPER et MACDONALD 1970). POMMEL (1990) retrouve ce résultat pour plusieurs tailles de semences. La croissance supérieure des plantules issues des gros grains par rapport à celles venant de petites s'explique ainsi par une plus grande consommation de réserves en valeur absolue par unité de temps. Cette supériorité n'est pas compensée par une efficience dans l'utilisation des réserves, légèrement supérieure pour les petites semences POMMEL (1990). La vitesse de consommation des réserves dépend donc de la taille de la semence, mais aussi du génotype (POMMEL 1990) et de la vigueur du lot (ABDUL-HAMID 1986).

Pour ce qui est de la forme, les plantules issues de semences plates présentent une croissance légèrement supérieure aux rondes (HAMMES 1969, SHIEH et McDONALD 1982). Mais ces résultats portent sur un stade précoce à la sortie des tests de germination. Dans le travail de SHIEH et McDONALD (1982), la vigueur plus faible des semences

rondes pourrait être à l'origine de leur moindre consommation de réserves (ABDUL-HAMID 1986), ce qui expliquerait cette croissance inférieure. ABD EL RAHMAN et BOURDU (1986) évoquent une croissance supérieure des plantes issues de semences rondes par rapport aux plantes venant de semences plates. Cependant ceci peut être expliqué par le poids supérieur des semences rondes par rapport aux plates de même classe de taille.

Durant cette phase hétérotrophe, où le développement est rapide (HEBERT 1986 dans POMMEL 1990), POMMEL (1990) n'a pas noté d'effet de la taille de la semence sur le déroulement des stades de développement, foliaire et racinaire. En fait, beaucoup de semences possèdent déjà 5 feuilles préformées (cf. paragraphe I-1.5.). De même, le passage à l'autotrophie qui est marqué sur une courbe de croissance par un changement de pente, s'effectue à un pourcentage de réserves consommées constant et indépendant de la taille. Ceci avait déjà été montré par ABD EL RAHMAN et BOURDU (1986). Cette valeur seuil est fonction de la variété (BOURDU et GREGORY 1983).

La croissance juvénile dépend donc de la taille de la semence et plus précisement de l'importance des réserves. L'embryon n'interviendrait donc pas. Chez le blé d'hiver, la taille de l'albumen influerait aussi sur la croissance initiale (SCOTT 1961 dans WOOD et al. 1977, BREMNER et al. 1963 dans WHALLEY 1966). Les premiers auteurs ont montré dans une seconde série d'expérimentations, une absence d'effet de la taille de l'embryon sur la croissance juvénile. Se pose alors la question de la répercussion de ces écarts de croissance initiale sur la suite du cycle, où la plante présente une nutrition autonome.

2. Suite du cycle

Selon WOOD et al. (1977), les effets de la taille de la semence dépendraient du niveau de l'augmentation de croissance produite par de grosses semences durant la phase juvénile. Pour des plantes de hauteur comprise entre 70 cm et 1 mètre, KIESSELBACH (1937), HUNTER et KANNENBERG (1972) ont trouvé respectivement des écarts de 1 et 6 % en faveur des plantes issues des grosses semences. HICKS et al. (1976) ont aussi observé un avantage des semences de taille supérieure avec des différences moyennes sur 4 essais de 4,4 % pour la hauteur des plantes (hauteur égale à 80 cm environ) et de 15 % pour la matière sèche. Aucune explication n'a été apportée. Il est possible que cela soit une conséquence des écarts apparus en phase hétérotrophe. Cependant, GRAVEN et CARTER (1990) n'ont pas observé entre calibres de différence de poids sec, pour des

plantes au stade 6 feuilles étalées, ni de hauteur à la floraison. MOURAUX (1991) n'a pas pu non plus mettre en évidence un effet de la taille sur la croissance, que ce soit à la sortie de l'hétérotrophie, à la floraison ou près de la récolte, en raison d'une variabilité des dates de levée (cf. II-2). Celle-ci a masqué d'éventuels effets induits par les caractéristiques de la semence.

Dans leur étude au Kenya, HAWKINS et COOPER (1979) ont suivi la croissance des plantes sur tout le cycle. L'effet net de la taille de semence observé à 10 feuilles initiées, tend à diminuer par la suite pour disparaître peu après la floraison mâle. De même, ils ont trouvé des différences de surfaces foliaires dues à la taille des semences, pour les premières feuilles. Cet effet diminue avec les feuilles suivantes. A partir de la 12ème feuille, il n'y a plus de différence. Cependant POMMEL (1991) affirme que l'avantage des grosses semences acquis durant la phase juvénile devrait se maintenir. Il se base sur une autre expérimentation (POMMEL et FLEURY 1989), où il montre que la croissance exponentielle de plantules de même date de levée mais de croissances différentes, ne dépend que du niveau initial de croissance à la sortie de l'hétérotrophie et non de la vitesse (donnée par le taux de croissance relatif). Mais dans ce cas, le poids de semence était inconnu et d'autres facteurs pouvaient intervenir. De plus, la croissance n'a pas été suivie en phase de montaison où elle devient linéaire.

Quant aux effets de la forme de la semence, HICKS et al. (1976) et GRAVEN et CARTER (1990) n'ont trouvé que des écarts faibles et non significatifs entre calibres plats et ronds. D'ailleurs chez ces derniers les semences rondes étaient plus lourdes que les plates, d'où une interaction possible avec la taille. Il manque aussi un suivi de la croissance sur tout le cycle dans ces deux travaux.

L'initiation des feuilles est légèrement retardée chez les plantes de petites semences, sans que le nombre final de feuilles ne soit affecté significativement (HAWKINS et COOPER 1979). Comme le nombre final de feuilles, les dates de floraison mâle (KIESSELBACH 1937, HICKS et al. 1976, HAWKINS et COOPER 1979), ou femelle (GRAVEN et CARTER 1990), varient peu en fonction de la taille de la semence. Le plus grand écart observé entre plantes issues de petites et grosses semences a été de 3 jours (HAWKINS et COOPER 1979).

Chez d'autres espèces, la croissance dépend aussi de la taille des semences. KAUFMANN et GUITARD (1967), ont observé que les plantules d'orge sont plus courtes pour des petites semences. De même, la surface des deux premières feuilles seulement et non des suivantes, était affectée. Les résultats sur orge de McDANIEL (1969), qui a pris le poids frais comme critère de croissance, vont dans le même sens.

Cet auteur a mis en évidence une activité respiratoire mitochondriale supérieure chez les grosses semences. Chez le maïs, une consommation plus rapide des réserves par les plantules de grosses semences (POMMEL 1990), traduirait ce phénomène.

Dans le cas du millet (*Pennisetum americanum* (L), Leeke), aucun effet de la taille n'a été observé sur la croissance par LAWAN et al. (1985). En revanche, la densité intervient. Comme pour le taux de levée (cf. II-2), le poids de semence serait à l'origine d'une variation de 6-7 jours de la date d'anthèse, au dessous d'un certain seuil.

Pour d'autres espèces non céréalières comme le soja, les auteurs ne s'accordent pas toujours. BURRIS et al. (1973) observent, pour les petites semences une hauteur inférieure durant tout le cycle par rapport à trois calibres supérieurs. De même, la surface du cotylédon et de la 1ère feuille dépendent de la taille. REDDY et al. (1989) au contraire n'ont pas observé d'effet sur la hauteur. Mais dans ce dernier travail, les trois calibres étudiés correspondaient aux trois utilisés par BURRIS et al. (1973), pour lesquels aucun effet sur la croissance n'avait été observé. De même, les écarts de poids de semence entre les calibres extrêmes ne dépassaient pas ceux de BURRIS et al. (1973) pour les trois calibres dont les plantes n'ont pas montré une croissance différente. Il pourrait donc exister un calibre seuil au dessous duquel des différences apparaissent.

Chez le colza, la croissance de plantes issues de grosses semences est restée supérieure jusqu'au mois de mars pour un semis précoce (13 septembre), et jusqu'à la récolte pour un semis tardif (13 octobre) (MENDHAM et al. 1981).

La majorité de ces auteurs se limitent à constater les effets de la taille sans apporter d'explication. Ils ne font pas référence à la période d'hétérotrophie, dont la durée peut aussi déterminer l'ampleur de l'effet taille. Chez le maïs en bonne condition de culture, elle est de 10 à 12 jours. PINTO (1981 dans BOURDU et GREGORY 1983) a trouvé le même ordre de grandeur pour le blé.

IV- CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DE LA SEMENCE ET PRODUCTION DE GRAINS

Dans le paragraphe précédent, nous avons vu que l'effet direct de la taille de la semence sur la croissance hétérotrophe peut se retrouver dans la suite du cycle au niveau des parties végétatives. De même, dans une revue bibliographique de TEKRONY et EGLI (1991) sur les relations entre la vigueur semencière et le rendement, il ressort que la croissance des parties végétatives est souvent supérieure quand la vigueur des semences

est élevée. TEKRONY et EGLI (1991) reprennent la définition de l'A.O.S.A. (1983) pour la vigueur qui consiste "en l'ensemble des propriétés de la semence qui déterminent une levée rapide et uniforme, et un développement normal des plantules dans une large gamme de conditions". Mais qu'en est-il des effets des caractéristiques semencières sur la croissance des organes reproducteurs tels les grains ?

Dans le cas de la vigueur, BURRIS (1975 dans TEKRONY et EGLI 1991) suggère que l'effet de celle-ci sur la croissance des parties végétatives se retrouve sur les organes reproducteurs si les croissances de ces deux composantes de la plante sont liées. L'effet de la vigueur sur le rendement en grain dépendrait donc de la relation entre le niveau de production de grains et la croissance végétative. Ces remarques portant sur la vigueur peuvent être transposées à l'étude des conséquences de la taille de la semence. Cependant les effets de la taille et de la vigueur peuvent être différents (WURR et FELLOWS 1985)

Chez le maïs, la relation entre la croissance végétative et rendement a été étudiée par EDMEADES et DAYNARD (1979), qui ont trouvé dans une étude plante à plante, une corrélation étroite, entre la photosynthèse à la floraison (à laquelle est lié le niveau de croissance) et le rendement. Mais il ne s'agit pas d'une liaison directe de cause à effet. L'activité photosynthétique à la floraison donne une idée de la quantité de rayonnement pouvant être interceptée pendant le remplissage et donc de la croissance potentielle, puisque durant cette phase la morphologie de la plante ne varie plus. Ceci est confirmé par RUGET (1989) dans une expérimentation au champ. Cet auteur n'a pas observé de variation de rendement entre plantes présentant une croissance différente avant floraison mais ayant intercepté une quantité de rayonnement équivalente durant la phase de remplissage du grain. Des différences de rendement liées à la taille de semence pourraient être induites par un effet de celle-ci sur le niveau de croissance à la floraison. En revanche des écarts de croissance avant floraison qui ne se retrouvent pas à ce stade, ne devraient pas influer sur le rendement final.

Or nous avions vu dans le paragraphe III-2, qu'aucun auteur n'avait mis en évidence des différences de croissance importantes, sinon de l'ordre de 1-6 % pour la hauteur en milieu de cycle (KIESSELBACH 1937, HUNTER et KANNENBERG 1972, HICKS et al. 1976, GRAVEN et CARTER 1990), et de 15 % environ pour la matière sèche (HICKS et al. 1976). Il est probable que dans ces travaux les écarts se soient estompés à la floraison comme l'ont observé HAWKINS et COOPER (1979), ce qui expliquerait l'absence de variation de rendements entre calibres observée par tous ces auteurs. Cependant, à l'exception de l'étude d'HAWKINS et COOPER (1979), ces travaux ne comprennent pas de suivi durant toute la phase de croissance végétative, de la phase hétérotrophe à la floraison et manquent donc d'éléments explicatifs précis.

A ces travaux déjà cités, s'ajoutent encore ceux de SHARMA (1974 dans HAWKINS et COOPER 1979) et de RAMMANA (1967 dans HAWKINS et COOPER 1979). Ce dernier qui a effectué son étude dans le cadre d'une thèse de l'Université de Thaïlande, est le seul à avoir trouvé un effet positif de la taille des semences sur le rendement chez le maïs.

Mais plutôt que le rendement final, seules les premières composantes à se mettre en place pourraient être affectées (WOOD et al. 1977). Chez le maïs, il s'agit du nombre de rangs qui est déterminé assez tôt, vers la 7-8ème feuille (GAY et BLOC 1984). Pour cette composante, HAWKINS et COOPER (1979) n'ont pas observé sur le premier épi de différences dues à la taille, bien que la croissance ait été nettement affectée dans la première moitié du cycle. En fait cette composante ne dépend pas du niveau de croissance comme l'a montré BERTRAND (1991), qui a induit des écarts de croissances entre plantes par défoliation, ou en prenant justement des semences de taille variable.

La composante suivante est le nombre de grains par rang. Or celui-ci dépend de la vitesse de croissance à la floraison (BERTRAND 1991). Seuls HAWKINS et COOPER (1979) ont calculé des vitesses de croissance absolues entre le début de l'initiation des ovules et la fin de la floraison. Les écarts entre plantes issues de différentes tailles de semences sont faibles. Mais ces auteurs ne présentent pas de résultats sur cette composante. Seul le nombre de grains total par plante (deuxième épi inclu) est précisé et n'est pas lié à la taille de la semence.

Enfin, le poids du grain dépend directement des facteurs du milieu affectant sa croissance pendant le remplissage (GAY et BLOC 1984) et en particulier du rayonnement disponible durant cette phase. Les mêmes remarques que pour le rendement total en grain peuvent s'appliquer à cette composante.

Pour d'autres cultures avec récolte des organes reproducteurs, de nombreux travaux ne présentent pas de résultats homogènes. Chez le tournesol et le colza respectivement, ROBINSON (1974) et MENDHAM et al. (1981) ne trouvent pas d'effet. Mais ces derniers avaient mis en évidence des écarts de croissance sur une grande partie du cycle, et attribuent à la forte sècheresse estivale (essais réalisés en 1976), une disparition des effets à la récolte.

Le soja a fait l'objet de plusieurs travaux. FONTES et OHLROGGE (1972) et BURRIS et al. (1973) ont mis en évidence des différences dues à la taille de la semence. SATO et al. (1956 dans REDDY et al. 1989) et REDDY et al. (1989) n'ont pas observé d'effet. Les résultats de rendement de BURRIS et al. (1973), et de REDDY et al. (1989) sont à relier à ceux de croissance (cf. III-2). DHILLON (1973 dans REDDY 1989) note un meilleur rendement pour des petites semences. Mais aucune explication n'est

présentée. Un éventuel stress (hydrique notamment) pourrait en être la cause (MENDHAM et al. 1981).

Sur blé, MERCHETTI (1949) est aussi cité par REDDY et al. (1989) pour avoir trouvé une supériorité des petits grains. D'autres auteurs trouvent un lien positif entre taille de la semence et rendement chez les céréales à paille, tels KAUFMANN et McFADDEN (1963) sur orge, et AUTENSON et WALTON (1970) sur blé de printemps. Mais ces derniers montrent que le facteur taille de la semence n'explique que 4% de la variabilité du rendement. TEKRONY et al. (1991) sur blé et LAWAN et al. (1985) sur millet, n'ont pas pu mettre en évidence d'effet. Dans cette dernière étude, ceci peut être expliqué par l'indépendance de la croissance en début de cycle par rapport à la taille de la semence.

Cependant dans beaucoup de ces études, il manque des données concernant la croissance qui permettraient de comprendre les résultats portant sur le rendement.

Chez des espèces dont des organes de stockage racinaires sont récoltés, WOOD et al. (1977) citent plusieurs références pour la betterave sucrière et la carotte, où le rendement dépend de la taille de la semence. Dans le cas de cultures fourragères de graminées ou de trèfles à haute densité, la concurrence pour la lumière provoque la disparition des différences de croissance induites par la taille de la semence et lors de la récolte des parties végétatives, les effets initiaux ont été effacés (BLACK 1959, JONES 1971 dans WOOD et al. 1977).

V- INTERACTIONS CARACTERISTIQUES MORPHOLOGIQUES DE LA SEMENCE - FACTEURS DU MILIEU

Comme nous l'avons vu au paragraphe III-, c'est durant la phase de croissance juvénile que les semences peuvent influer sur la croisance. Durant cette période, la jeune plantule rencontre souvent des conditions difficiles, notamment pour la température. Elle est aussi sensible au stress hydrique (LAWLOR 1969, MILLEQUANT 1980).

Plusieurs auteurs déjà cités qui ont étudié les effets de la taille et de la forme de la semence se sont placés dans des conditions favorables (HAWKINS et COOPER 1979, ABD EL RAHMAN et BOURDU 1986). Ceux-ci soulignent la nécessité de répéter ce genre d'étude en situation stressante. ABD EL RAHMAN et BOURDU (1986) émettent l'hypothèse que les effets induits par la taille de semence, et des conditions climatiques défavorables à l'implantation, peuvent être cumulatifs. La question des interactions, entre

les caractéristiques morphologiques de la semence, taille, forme et les conditions pédoclimatiques, a été abordée par plusieurs auteurs.

MUCHENA et TROGAN (1977) se sont intéressés aux effets de la taille de la semence sur la germination en situation de stress hydrique, simulé en laboratoire par adjonction d'une solution de mannitol de concentration donnée. Si en conditions normales il n'existe pas d'écart de taux de germination entre différentes tailles de semences, en situation stressante les petites graines présentent un meilleur comportement. Leur seuil d'imbibition pour le déclenchement de la germination est probablement inférieur à celui des grosses graines. Des conditions froides simulées par le cold test, accentuent l'avantage des semences plates sur les rondes par rapport au test de germination standard. Il ne semble pas y avoir, cependant d'interaction avec la taille de la semence (SHIEH et McDONALD 1982, BAUDET 1987).

Pour la levée, il ne ressort aucune tendance claire des résultats des essais de HUNTER et KANNENBERG (1972), en conditions contrôlées comme au champ. Ces auteurs ont fait varier la température et la profondeur de semis dans des gammes assez larges, en croisant ces deux facteurs avec la taille de semence.

Selon GRAVEN et CARTER (1990), les semences rondes et surtout les petites rondes sont plus sensibles à des conditions froides au démarrage que les plates. C'est le pourcentage de levée et non la date, qui est affecté par cette interaction. Ces auteurs ont travaillé au champ, et les conditions stressantes ont été crées par un semis précoce et par l'absence de travail du sol.

POMMEL (1990) s'est intéressé à la profondeur de semis en conditions semi-contrôlées, à températures normales (sur la variété Dea). Jusqu'à la levée, les plantules issues de petites semences (140-200 mg) consomment davantage de réserves (en valeur relative par rapport au poids initial du grain), que celles venant de grosses (310-370 mg). L'augmentation de la profondeur (7 cm au lieu de 2), entraîne un accroissement de cette consommation et une accentuation de l'écart entre petites et grosses semences. La croissance supplémentaire du mésocotyle et le retard à la levée permettent d'expliquer cette surconsommation de réserves de l'albumen. Ainsi des conditions défavorables à la levée (profondeur de semis élevée, motte...) pourraient handicaper la croissance juvénile chez les petites semences, à cause d'un manque de réserves, et même, empêcher la levée.

DERIEUX et al. (1989) ont effectué une étude analogue à celle d'ABD EL RAHMAN et BOURDU (1986) en conditions froides (15°C le jour / 10°C la nuit). Ils ont aussi observé une croissance supérieure pour les plantules issues de grosses semences. Cependant, ils n'ont pas comparé leurs résultats avec d'autres, obtenus en conditions normales, ce qui leur aurait permis de s'intéresser aux interactions taille de la semence-température. Le passage à l'autotrophie a lieu, pour un pourcentage de réserves

consommées supérieur en conditions froides. Pour la variété LG11, ce niveau passe de près de 50% pour un régime de températures jour/nuit de 25/22°C (ABD EL RAHMAN et BOURDU 1986) à 77% à 15/10°C. Pour ces conditions de température défavorables, le pourcentage de réserves consommées reste indépendant de la taille de la semence.

Quant à la profondeur de semis, POMMEL (1990) n'a pas observé d'effet direct de ce facteur sur la croissance hétérotrophe, pour les deux tailles de semences. Il n'y aurait donc pas d'interaction avec la profondeur de semis, à condition que celle-ci ne soit pas trop pénalisante pour la levée, en entraînant une trop grande consommation de réserves pour les petites semences.

La croissance en milieu du cycle et le rendement ne semblent pas subir d'interaction conditions pédoclimatiques-taille ou forme de la semence (HICKS et al. 1976, GRAVEN et CARTER 1990). De même, la profondeur n'intervient pas à ce niveau, dans le cas d'un sol peu sensible à la battance (HUNTER et KANNENBERG 1972). Mais ces travaux, nous l'avons déjà dit, manquent d'un suivi de la croissance et du développement en début du cycle.

Il ressort donc que des conditions défavorables et en particulier, des températures basses, peuvent amplifier le désavantage des semences rondes pour la levée. La profondeur de semis et des problèmes de structure de sol peuvent se répercuter sur la croissance des plantules, issues des petites semences, si la levée a nécessité l'utilisation d'une trop grande part des réserves de la graine. Il manque encore des références sur les interactions entre un stress thermique ou hydrique, et les caractéristiques morphologiques de la semence, pour la croissance juvénile et la suite du cycle.

VI- CONCLUSION

Pour de nombreuses espèces végétales cultivées, et en particulier le maïs, les agronomes se sont intéressés aux liens qui existaient entre la taille de la semence et le comportement de la plante, au champ. Chez le maïs, la forme du caryopse a aussi fait l'objet de plusieurs études. Mais ces deux caractéristiques morphologiques ne sont pas toujours clairement définies. Le poids ou le calibre sont généralement utilisés pour classer les semences suivant la taille, tandis que la forme ne fait l'objet que d'une séparation, en semences rondes (ou épaisses) et plates. A l'intérieur d'une variété, l'hétérogénéité morphologique est rarement caractérisée et quantifiée, au niveau de l'épi, tout comme dans un lot brut formé à partir d'un certain nombre d'épis. Les liens entre différents

critères (poids, volume, dimensions) pourraient aussi être précisés. La variabilité dans les classes de taille formées, mériterait aussi plus d'intérêt, surtout lorsqu'il s'agit de calibres qui sont liés à plusieurs critères. Tous ces aspects, qui ont trait à la caractérisation des semences, n'ont pas intéressé les agronomes, qui se sont penchés avant tout sur les effets des calibres des semences sur le comportement cultural des plantes qui en sont issues.

Chez le maïs, plusieurs résultats semblent acquis, pour la première phase du cycle, allant du semis au stade 4 feuilles :

– La germination et la levée ne dépendent pas de la taille de la semence en conditions normales, notamment en l'absence d'obstacles mécaniques liés à la structure du sol (mottes...), mais de la forme plate ou ronde du grain. Ceci se produit lorsque les semences rondes sont de moins bonne qualité germinative.

– Après la levée, la croissance de la plantule dépend directement des réserves de l'albumen de la semence, jusqu'au stade 3-4 feuilles. Bien que la photosynthèse commence avant ce stade, elle n'intervient pas au niveau de la croissance. Durant cette période, la croissance est liée directement au poids de la semence et donc à la taille. En effet, les grosses graines présentent une vitesse de consommation des réserves supérieure. Ces études en conditions contrôlées ou semi-controlées n'ont pas été poursuivies durant tout le cycle.

Plusieurs auteurs ont travaillé au champ, sur tout le cycle du maïs. Aucun effet de la taille ou de la forme de la semence sur le rendement n'a été trouvé. Cependant exception faite du travail d'HAWKINS et COOPER (1979), les autres manquent d'un suivi de croissance, comprenant plusieurs points de mesure et permettant de comprendre les résultats concernant le rendement. Or les effets sur le rendement qui pourraient provenir de la semence sont fonctions des liens croissance-rendement. De même, dans la plupart des travaux, peu d'informations sont données sur les dates de levée, les profondeurs de semis, pour chaque classe de taille ou de forme. Le travail d'HAWKINS et COOPER (1979) laisse apparaître que l'effet initial de la taille de la semence sur la croissance disparaît peu à peu, pour s'estomper à la floraison, ceci pour des dates de levée égales et ainsi, le rendement n'a pas été affecté. Cette étude a été menée au Kenya, dans des conditions différentes de celles trouvées sous nos latitudes, avec d'autres variétés bien plus grandes et semées à plus faible densité.

Chez d'autres espèces les résultats sont très variables. Quelques travaux suggèrent l'existence d'un seuil en dessous duquel, un effet de la taille de la semence apparaît sur le comportement au champ. L'apparition de stress au cours du cycle peut parfois expliquer la disparition des effets observés au début ou apporter des éléments explicatifs à des études qui ont mis en évidence un avantage des petites semences.

Les interactions caractéristiques de la semence-conditions pédoclimatiques à l'implantation, ont été abordées par certains auteurs. Il en ressort qu'une profondeur de semis élevée, et / ou des problèmes de structure de sol (mottes, battance), peuvent nuire à la levée des plantes issues des petites semences et handicaper fortement la croissance des plantules. Pour la croissance et le développement en phase juvénile, les interactions entre la taille ou la forme de semence et un stress thermique ou hydrique, n'ont pas été étudiées de près.

Dans tous ces travaux, les hétérogénéité inter ou intra-épi n'ont jamais été distinguées. Seul KIESSELBACH (1937) sur des populations et non des hybrides, a comparé des semences de taille différentes, provenant de zones distinctes de l'épi, sans observer des écarts de rendement.

A partir de cette étude bibliographique, nous pouvons préciser les questions posées dans l'introduction. Il ressort en premier lieu qu'il serait intéréssant **de caractériser et quantifier l'hétérogénéité morphologique, au sein d'un même épi notamment,** ce qui a été souvent négligé.

Des travaux sur les conséquences sur la croissance et le développement, plusieurs questions demeurent:

_ **La taille de la semence a-t-elle un effet sur la croissance au delà de la phase hétérotrophe et sur le rendement en grain?**

_ **Existe-il une taille de semence "seuil" au dessus de laquelle des éventuelles différences de croissance deviennent négligeables ?**

_ **La forme de la semence influe-t-elle aussi sur le comportement au champ indépendamment des effets sur la levée ?**

Ces questions peuvent être traitées en tenant compte de la **variabilité morphologique intra-épi, ou inter-épi** ou encore des deux confondues, ce qui a été le cas dans la grande majorité des travaux cités dans ce chapitre. Jusqu'à présent l'effet de la taille de la semence a été étudié principalement en situation favorable ou sans contrôle précis des conditions au démarrage. La question suivante subsiste :

_ **Existe-t-il au niveau de la croissance hétérotrophe des plantules, des interactions entre la taille de la semence et les conditions pédoclimatiques à l'implantation ?**

En d'autres termes, nous chercherons à voir si un stress au démarrage amplifie ou masque l'avantage des grosses semences et si le rendement en grain peut être affecté.

QUESTIONS ET METHODES

I- QUESTIONS

De l'étude bibliographique, il ressort que la germination et la levée ne sont affectées que par la forme plate ou ronde des semences. Cette toute première phase du cycle de la plante ne constituera pas le centre de nos investigations, mais fera l'objet de contrôles (test de germination, notation des levées...).

Si les semences plates présentent souvent un meilleur comportement germinatif que les rondes, en raison d'une sensibilité moindre aux chocs mécaniques, les effets de la **forme plate ou ronde** des semences sur la croissance et le développement des plantes **indépendamment de ceux sur la levée**, doivent être précisés.

Un autre résultat acquis est la dépendance étroite de la croissance hétérotrophe ou juvénile vis-à-vis de l'importance des réserves, et donc de la taille de la semence. Se pose alors la question de savoir si **cet effet sur la croissance et le développement se retouve dans la suite du cycle de la plante, et à la récolte sur le rendement en grain**. Peu de résultats reposant sur un suivi de la croissance durant tout le cycle jusqu'à la floraison sont à notre disposition. Seule une étude menée dans des conditions de culture (variété, densité) différentes de celles rencontrées couramment en France, montre la disparition progressive de cet effet (HAWKINS et COOPER 1979). Mais peu d'éléments explicatifs sont apportés. Il n'est pas exclu qu'un éventuel effet de la taille de la semence sur la croissance par exemple, ne puisse être trouvé qu'au dessous d'un certain **seuil** de taille.

Enfin, l'effet des caractéristiques du grain et notamment de la taille peut être différent selon les conditions pédoclimatiques, et plus particulièrement en cas de stress durant la phase juvénile, où la plante dépend directement de la semence. Au vu des travaux déjà effectués, nous retiendrons le cas d'un stress thermique (période froide) ou hydrique (sècheresse). Le premier étant le plus fréquent sous nos latitudes. Nous en arrivons donc à l'étude **des interactions entre la taille de la semence et les conditions pédoclimatiques pour la croissance des plantules,** qui est le caractère le plus étroitement lié à la taille de la semence (cf. étude bibliographique III-1).

II- DECOUPAGE DE L'ETUDE

L'hétérogénéité morphologique peut être abordée, soit au niveau de l'épi semence, soit au niveau d'un lot brut formé à partir d'épis. En partant des épis, il est possible de distinguer la variabilité intra et inter-épi, ce qui n'est pas possible pour un lot brut. Mais c'est à ce niveau que les producteurs de semences doivent faire face à la variabilité morphologique. Nous mènerons donc en parallèle deux études respectivement, à partir de l'épi semence et du lot brut de semences.

III- METHODES

Nous commencerons par caractériser **l'hétérogénéité morphologique** des semences, au niveau de l'épi et d'un lot brut de semences.

L'étude au niveau de l'épi est indispensable pour faire la part de la variabilité intra et inter-épi. Nous utiliserons ensuite ces informations pour former des classes de grains suivant la taille ou la forme réelle. De même avec l'utilisation de fractions de calibrage d'un lot brut, la caractérisation des semences est nécessaire pour avoir une idée de la taille réelle des grains. Nous disposerons ainsi d'un matériel connu pour l'étude des effets de la taille ou de la forme des semences sur le comportement végétatif des plantes et sur le rendement. Dans la mesure du possible nous chercherons à nous placer dans des conditions de culture standards, proches de celles de l'agriculteur.

Un contrôle de certains facteurs (profondeur de semis...) devra être inclu pour mettre en évidence d'éventuels effets de la taille ou de la forme du grain, et minimiser les interactions avec ces facteurs. De même, il est important de se placer en conditions initiales identiques avec en particulier des dates de levées homogènes pour séparer les effets des caractéristiques de la semence sur la levée et sur la croissance et le développement postérieurs à celle-ci.

1. Etude grain à grain à partir de l'épi

Dans un premier temps, nous commencerons par caractériser les semences par les principaux critères pouvant être associés à la taille ou à la forme. Nous étudierons leur variabilité sur l'épi et les relations existant entre ces critères.

L'étape suivante consistera à former à partir d'un groupe d'épis homogènes, des classes de semences, en tenant compte de leurs caractéristiques morphologiques et de leur position sur l'épi. L'hétérogénéité inter-épi sera abordée à partir d'épis de différents types

y compris les épis mal fécondés. Nous étudierons au champ le comportement des plantes issues de ces classes de semences.

Dans cette partie, l'étude au champ se fera avec des semences repérées et caractérisées grain à grain, dont on conservera les informations morphologiques jusqu'à la récolte. Ceci nous permettra d'étudier très précisément les liaisons entre les différentes caractéristiques semencières et le comportement au champ des plantes qui en sont issues.

2. Etude à partir d'un lot brut

Dans le cas d'un lot brut de semences, la taille des grains sera reliée au calibre c'est-à-dire au diamètre des trous des grilles retenant les semences. Une deuxième séparation en grains plats et ronds à l'aide de grilles adéquates, nous permettra d'étudier les effets de la forme. Ce mode de tri reprend la technique utilisée en production de semences. L'efficacité du calibrage dépend du nombre de grilles et de l'écart entre les diamètres des trous de ces grilles. L'idéal serait de prendre une fraction de semences prise entre deux grilles successives. Pour déceler un éventuel seuil pour le calibre, il est important de travailler sur des fractions successives. Ces considérations sont à la base des choix des grilles pour la constitution des fractions.

Comme nous l'avons vu dans l'étude bibliographique, le calibre de la semence est relié à plusieurs critères morphologiques. Les semences de chaque fraction seront caractérisées par des grandeurs morphologiques tel le poids. Nous chercherons aussi à relier le calibre à la taille de la semence.

La méthode de tri utilisée, nous permet de travailler sur une quantité plus grande de semences, que dans l'étude grain à grain. L'étude au champ se fera au niveau de microparcelles. Des conditions de culture standards seront appliquées. Nous inclurons dans l'étude un essai semé en place et un essai semé avec une densité supérieure qui sera ramenée par éclaircissage au niveau de peuplement voulu. Cette technique permet de contrôler la densité, et de l'homogénéiser entre traitements afin d'éviter des interactions. Cependant cette intervention peut entraîner une certaine sélection des plantes.

3. Interactions caractéristiques morphologiques de la semence-facteurs du milieu

Pour l'étude des interactions entre la taille de la semence et les facteurs climatiques, il nous faudra trouver ou créer des conditions de stress. Une première possibilité est de répéter l'étude sur plusieurs sites présentant une variabilité suffisante.

Cependant, des contraintes géographiques et économiques, qui nous interdisaient un trop grand éloignement des sites, ne permettaient pas d'obtenir des situations très constrastées. D'autre part, l'aspect aléatoire du climat et les interactions entre plusieurs facteurs non contrôlables sont aussi des inconvénients.

Une autre possibilité est de procéder à des semis décalés sur un site, ce qui permettrait de se placer en situation thermique bien constrastée. Cependant, en plus d'un manque de contrôle des conditions existantes, cette technique entraîne un décalage dans le temps entre les traitements, et donc les stades de développement des plantes, décalage qui peut durer tout le cycle. Ainsi, par exemple si un stress hydrique se produit avant floraison, les plantes des différentes dates de semis ne seront pas au même stade, et présenteront des sensibilités variables à ce stress.

Reste alors une troisième voie, le travail en chambre de culture, lequel permet un meilleur contrôle des facteurs du milieu, et donc la réalisation d'éventuels stress. Cependant, cette méthode est aussi sujette à critiques. Les conditions sont artificielles notamment pour l'éclairage, la ventilation et l'humidité de l'air. Elles ne présentent pas non plus les variations journalières rencontrées dans un milieu naturel. D'autre part, il est difficile d'amener les plantes jusqu'à la récolte dans des conditions proches de celles au champ. Une chambre de culture avec un éclairement puissant et coûteux est nécessaire. En plus, le nombre de plantes déjà limité l'est encore davantage si les écartements entre plantes pour des densités normales au champ sont respectés. Pour remédier à cet inconvénient, nous avons décidé, après avoir cultivé les plantes en chambre de culture en début du cycle, et les avoir soumises à un stress, de les repiquer au champ lorsqu'elles se trouvent au début de l'autotrophie (stade 4 feuilles), ce qui permet un suivi jusqu'à la récolte. Néanmoins, un stress dû au repiquage, peut aussi induire un biais à cette méthode.

4. Choix variétal

Comme cela a déjà été évoqué, notre sujet porte sur l'hétérogénéité morphologique des semences à l'intérieur d'une variété. Une interaction taille ou forme de la semence-variété n'est cependant pas à exclure. Cette question aurait pu motiver l'utilisation de plusieurs cultivars, pour lesquels l'étude serait répétée. Certains auteurs (HUNTER et KANNENBERG 1972, HICKS et al. 1976, GRAVEN et CARTER 1990) ont privilégié cette voie en limitant le nombre de traitements, en l'occurrence, les classes de taille et de forme de grains.

De notre côté, nous avons préféré multiplier le nombre de fractions de semences pour une variété donnée, afin de pouvoir déceler un éventuel seuil au niveau de la taille, et

prendre une seule variété. Le choix de Dea comme cultivar se justifiait pleinement pour plusieurs raisons :

– il s'agit de la variété la plus cultivée sur une grande partie du territoire français, à l'exception des régions méridionales et de l'extrême nord. Elle correspond donc tout à fait aux conditions de cultures standards que nous recherchons.

– de nombreux travaux de recherche en France ont porté sur cette variété qui sert de référence. Les résultats de notre travail pourront répondre directement aux interrogations déjà évoquées de certains chercheurs.

IV- TRAITEMENTS STATISTIQUES

Avant toute analyse statistique faisant appel à des tests, nous avons examiné les données brutes en représentant les valeurs des répétitions par niveau de traitement sur des graphiques dans le cas des dispositifs expérimentaux à blocs aléatoires complets. Ceci permet de déceler les valeurs anormales qui augmentent la variance résiduelle, et de voir dans quelle mesure les distributions des valeurs de chaque traitement se recoupent. Cette représentation des données peut révéler des effets, alors que les différences sont données non significatives par l'analyse de variance ou d'autres méthodes similaires en raison d'un manque de puissance de ces tests (nombre de répétitions trop faible, variance résiduelle élevée...). Dans le cas d'un grand nombre de répétitions, nous avons utilisé un mode de représentation par "boîte à pattes" (Angl. "box plot") développée par TUCKEY (1977 dans SAS Institute 1988), qui donne une représentation synthétique des distributions par traitement (annexe 1).

Après avoir fait appel dans un premier temps à des méthodes descriptives, nous avons eu recours à l'analyse de variance ou à la comparaison des moyennes selon les questions posées. Pour celle-ci, notre choix s'est porté sur la méthode Newman et Keuls, qui assure le meilleur équilibre entre les risques de 1ère et 2ème espèce (DAGNELIE 1970a). Dans le cas des dispositifs de la troisième partie portant sur l'étude des interactions, nous avons effectué l'analyse de variance selon un modèle décrit par McINTOSH (1983). Par ailleurs, nous avons utilisé un test de comparaison des pentes de droite de régression, décrit par DAGNELIE (1970b).

Tous les calculs statistiques ont été effectués avec le logiciel SAS.

RESULTATS

PREMIERE PARTIE :
ETUDE GRAIN A GRAIN A PARTIR DE L'EPI

Dans cette partie, nous aborderons l'hétérogénéité morphologique des semences au niveau de l'épi, ce qui nous permettra de distinguer les variabilités intra-épi et inter-épi. La question qui se pose est de savoir si la taille ou la forme de la semence, compte tenu de sa position sur l'épi et du type d'épi, influe sur la croissance et le développement de la plante au delà de la phase hétérotrophe, et, sur le rendement en grain. Les liaisons entre croissance et caractéristiques de la semence seront étudiées.

I- MATERIEL ET METHODES

1. Caractérisation de l'hétérogénéité

Cette étude a été menée en 1990 et 1991. A chaque fois, nous avons sélectionné dans le lot initial d'épis fourni par la société **Pioneer France Maïs**, un petit nombre d'épis bien remplis jusqu'au sommet, n'ayant perdu qu'un minimum de grains et sans problème sanitaire. En 1990, 4 épis sur lesquels nous avons caractérisé tous les grains ont été utilisés. Ces épis supposés homogènes ne devaient servir qu'à l'étude de l'hétérogénéité intra-épi. En 1991, nous avons tenu compte de l'hétérogénéité inter-épi. 25 épis bien remplis et 6 épis mal fécondés, totalement ou en partie, ont formé l'échantillon de départ. Pour chaque épi, nous avons choisi 4 rangs non contigus, pour la caractérisation des semences.

1.1. Repérage de la position des grains

Tous les grains d'un rang ont été repérés par le numéro de rang et par son niveau d'insertion sur le rang ,donnés par un nombre entier, et marqué au crayon de papier. Il est à noter que l'arrangement des rangs et des couronnes sur les épis semences est moins régulier que chez les hybrides. La structure hélicoïdale de l'épi (BERTRAND 1991) est un facteur d'irrégularité supplémentaire.

L'absence d'un grain sur le rang, suite à la non fécondation de l'ovule ou tout autre problème, entraîne un épaississement des grains voisins, utilisant l'espace

disponible. Des décalages par rapport aux grains des rangs contigus apparaissent. Ce phénomène surtout visible dans le milieu de l'épi où les grains sont normalement plats, a été pris en compte dans la détermination des niveaux d'insertion. Par comparaison avec les rangs voisins, des grains absents ont pu être repérés et inclus dans la numérotation. Un décalage entre rangs pour la hauteur d'insertion a été ainsi minimisé, même si l'erreur a été parfois d'un niveau.

1.2. Caractérisation morphologique

Le poids frais (semence à moins de 14% d'humidité) a été déterminé sur une balance de précision ($\pm 10^{-4}$ g). La comparaison de valeurs de poids frais nécessite des taux d'humidité constants, pour être significative. Le fait que les grains aient été soumis au même séchage en usine après récolte, a probablement homogénéisé les humidités. D'autre part un certain nombre de semences devaient être réutilisées, ce qui excluait un séchage total, qui peut altérer la qualité germinative.

Les trois dimensions, longueur, largeur, et épaisseur maximales ont été mesurées au pied à coulisse à cadran. Le placement du grain sur l'appareil est une source d'imprécision qui peut être amplifiée par la forme irrégulière d'un certain nombre de semences. La figure 3 précise les définitions des trois dimensions pour différents types morphologiques de grains. Pour les semences plates, l'embryon est le plus souvent vertical et a servi de référence pour la définition des trois dimensions. Dans le cas des grains épais ou ronds, la zone plate à l'opposé du pédicelle (Fig 3c), et la direction du pédicelle ont aussi servi de repères pour le placement des grains.

1.3. Détermination du volume des grains

En 1990, 20 grains de chaque classe ont servi à la détermination du volume. Celui-ci a été déterminé par déplacement d'un liquide, en l'occurrence l'éthanol, qui possède plusieurs avantages. Sa grande volatilité permet un séchage rapide du grain. MILLET et PINTHUS (1984) n'ont pas observé d'absorption par le caryopse, chez le blé. D'autre part avec l'éthanol, il s'établit un meilleur contact grain-liquide qu'avec l'eau sans formation de bulles d'air (WATSON 1987). Le grain est trempé dans le liquide dont le récipient est posé sur une balance de précision ($\pm 10^{-4}$ g). Lorsque la semence ne touche pas le fond du récipient, la balance affiche la masse du liquide déplacé, dont le volume est celui du grain immergé. La densité de l'éthanol étant connue, il est possible d'obtenir le volume.

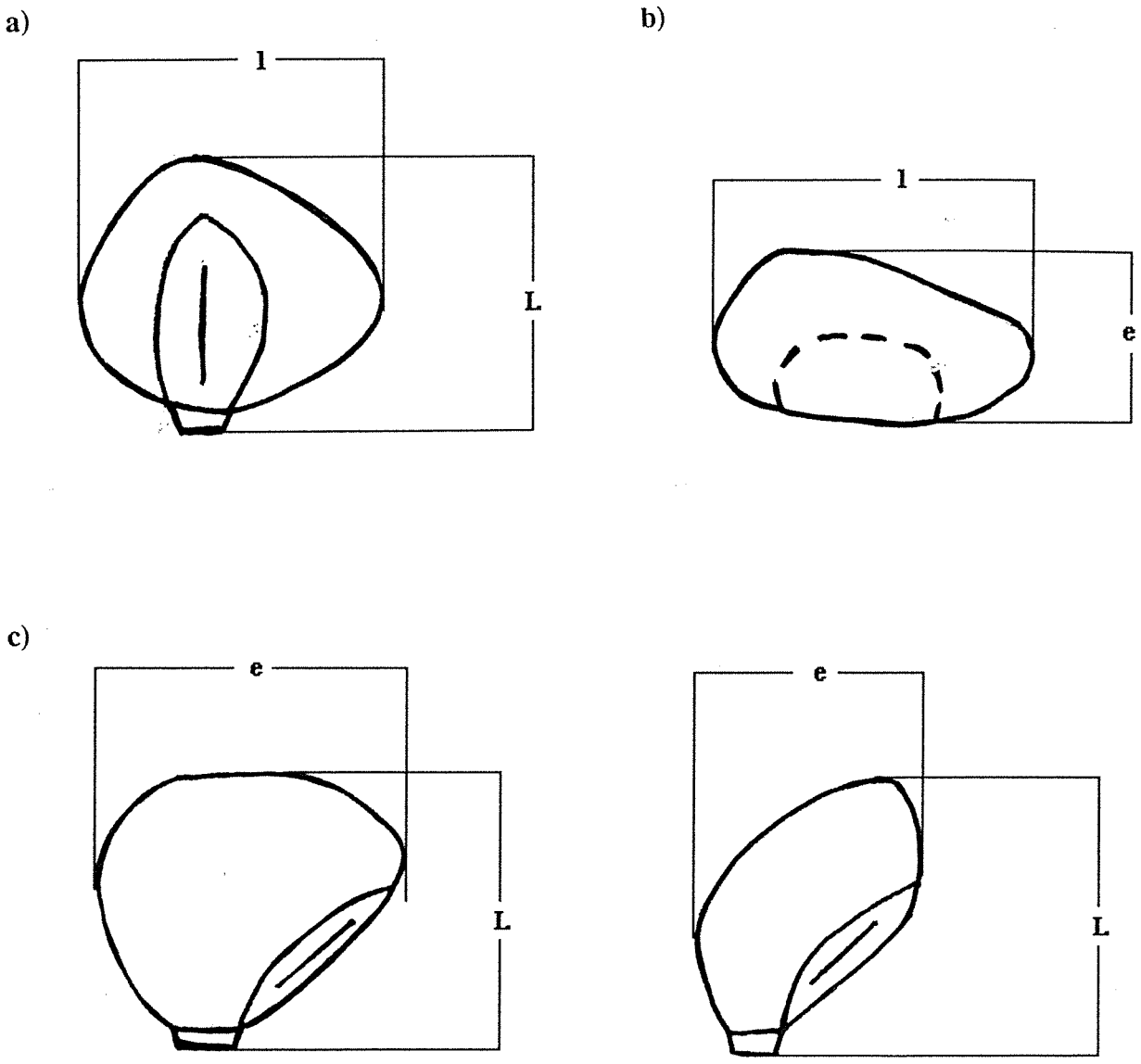


Fig.3 : Mesure de la longueur (**L**), la largeur (**l**), et l'épaisseur (**e**) du grain pour des formes de semence particulières vues :
a) de face **b**) de dessus **c**) de profil

Une étude préliminaire a permis de vérifier la bonne répétabilité des mesures. La densité étant fonction de la température, un contrôle a lieu en début et fin de chaque mesure, par pesée de 50 ml d'éthanol sur la même balance. Pour chaque série de détermination de volume, nous avons utilisé la densité moyenne calculée sur les mesures de contrôles.

1.4. Détermination du poids sec de l'embryon

Pour la détermination du poids sec de l'embryon nous avons en premier lieu séparé celui-ci, du reste du grain. La dissection est effectuée après un trempage dans une solution d'acide chlorhydrique normale à température ambiante. Ceci permet de ramollir les tissus et empêche le déclenchement des processus germinatifs, qui peuvent modifier les résultats (DONALDSON et BLACKMAN 1974). La durée de trempage était d'environ 96 heures, temps après lequel la dissection au scalpel était aisée. Le grain est fendu selon l'axe longitudinal de l'embryon, ce qui offre un meilleur accès au germe.

2. Formation des classes de semences

Ces classes de semences représentent les principaux types morphologiques de grains sur l'épi, en fonction de leur position sur l'épi. Elles ont été formées à partir des grains caractérisés (cf. I-1.), en vue d'une comparaison des performances des plantes qui en sont issues. Ceci nous a amenés à limiter au maximum la variabilité intra-classe compte tenu du nombre de grains disponibles et des effectifs nécessaires pour l'étude au champ et les mesures destructives, comme celle du poids sec de l'embryon. Trois critères, le poids, l'épaisseur et le niveau d'insertion sur l'épi ont servi pour le tri. Le numéro de rang de l'épi n'a pas été retenu.

La séparation sur la forme est sommaire puisque seule l'épaisseur est prise en compte. Les résultats de la caractérisation (cf. II-1) nous ont amené à utiliser l'épaisseur plutôt que le coefficient de sphéricité comme critère de la forme du grain. D'ailleurs, les grains ronds sont plus des grains épais que des grains sphériques. Ce tri sur l'épaisseur correspond aussi au tri effectué par les industriels avec les grilles (cf. étude bibliographique I-3.1.), bien que la valeur seuil ne soit pas semblable. En effet, pour des raisons d'effectif, nous avons abaissé le seuil à 5 mm au lieu de 5,4 mm qui correspond à la grille 13 1/2 utilisée dans l'étude à partir d'un lot brut de semences (cf. 2ème partie II-1).

2.1. Année 1990

Les 5 classes suivantes dont les caractéristiques sont précisées dans le tableau 4, ont été constituées:

Classe ELB : "grains épais lourds du bas de l'épi"
Classe EmM : "grains épais moyens du milieu de l'épi"
Classe PmM : "grains plats moyens du milieu de l'épi"
Classe PlM : "grains plats légers du milieu de l'épi"
Classe RlS : "grains ronds légers du sommet de l'épi"

Les classes **EmM** et **PmM** permettent de distinguer l'effet forme, et, **PmM** et **PlM** l'effet poids, indépendamment de la position sur l'épi. En revanche, l'effet position sur l'épi ne peut être distingué de l'effet poids, en comparant **ELB, EmM, RlS**. Pour cela, il aurait fallu ajouter des classes comme par exemple: "grains épais (ou ronds) légers du bas de l'épi", ou "grains ronds lourds du haut de l'épi". Mais comme nous le verrons, le poids de la semence est lié à la position sur l'épi, de sorte que ce type de grain constitue des cas rares dus à des conditions spéciales, ce qui fait que les effectifs de ces classes ont été trop faibles.

Pour les classes de grains plats légers du milieu PlM, l'utilisation d'un grand nombre de grains de l'épi n°7 (Tab.5), a permis sa constitution. Or, cet épi présentait un poids moyen de semence inférieur et a peut-être subi un stress durant le remplissage. Ainsi une variabilité inter-épi a pu être prise en compte. C'est pourquoi en 1991, nous n'avons pas gardé cette classe et l'avons remplacée par une classe de grains venant d'épis de type particulier (PlMS).

2.2. Année 1991

Les 6 classes suivantes dont les caractéristiques sont précisées dans le tableau 6, ont été constituées:

Classe ELB : "grains épais lourds du bas de l'épi"
Classe EmM : "grains épais moyens du milieu de l'épi"
Classe PmM : "grains plats moyens du milieu de l'épi"
Classe RlS : "grains ronds légers du sommet de l'épi"
Classe PlMS : "grains plats légers du milieu d'épis stressés"
Classe ELMF : "grains épais lourds du milieu d'épis mal fécondés"

Tab.4 : Caractéristiques des classes de semences en1990.

Classes	Niveau d'insertion (n° rang)	Poids de semence mg	Epaisseur mm
ELB	<8	[300 ; 350]	>=5
EmM	[10 ; 20]	[250 ; 300]	>=5
PmM	[12 ; 20]	[270 ; 300]	[4 ; 4,6]
PlM	[12 ; 20]	[220 ; 250]	[3,5 ; 4,8]
RlS	>23	[170 ; 200]	[4,3 ; 6,6]

Tab.5 : Distribution des grains (% nombre total) par épi à l'intérieur de chaque classe (1990).

Classes	% grains par classe			
	Epi 3	Epi 5	Epi 7	Epi9
ELB	26	43	0	31
EmM	29	44	8	19
PmM	42	31	0	27
PlM	23	10	48	19
RlS	29	18	35	18

Tab.6 : Caractéristiques des classes de semences en1991.

Classes	Niveau d'insertion (n° rang)	Poids de semence mg	Epaisseur mm
ELB	<8	[300 ; 350]	>=5
EmM	[10 ; 20]	[250 ; 285]	>=5
PmM	[10 ; 20]	[250 ; 280]	[4 ; 4,8]
RlS	>22	[180 ; 210]	>=5
PlMS	[10 ; 20]	[190 ; 220]	[4 ; 4,8]
ELMF	[10 ; 20]	[300 ; 350]	>=5,5

Les classes **ELB**, **EmM**, **PmM** et **RIS**, analogues à celles de 1990 ont été formées à partir de 16 épis. Ceux-ci présentaient un poids moyen de grain compris entre 230 mg et 285 mg.

A ces 4 classes s'ajoutent **PIMS** dont les grains plats légers du milieu proviennent de 5 épis de poids moyen de grain, situé entre 180 mg et 230 mg. Ces épis ont peut-être subi un stress (cf. II-1.2.). Des 25 épis, il en reste donc 4 avec un poids moyen de semence supérieur à 285 mg, qui ont été éliminés.

Enfin, à partir des semences des 6 épis mal fécondés (sur tout l'épi ou sur plusieurs rangs contigus), une classe de grains épais, lourds du milieu **ELMF**, a été formée. En comparant respectivement **ELB** avec **ELMF**, et **PIMS** avec **RIS** (classes au poids de semences à peu près semblables), l'effet du type d'épi d'origine pourra être étudié, tout en supposant que la forme et la position sur l'épi n'interviennent pas directement. D'après la bibliographie, l'hypothèse concernant l'absence d'effet de la forme est plausible. En incluant ces types d'épi nous aborderons donc la variabilité inter-épi.

3. Comparaison des classes au champ

Nous arrivons à l'étape suivante: **existe-il des différences de croissance et de développement et finalement de rendement entre plantes issues de ces classes de grains de l'épi ?** Cette question portera particulièrement sur la phase d'autotrophie. D'autre part, cette étude grain à grain avec conservation des données morphologiques de chaque semence au champ, nous permettra d'étudier d'une manière précise les liaisons existant entre les caractéristiques morphologiques, et, la croissance et le développement des plantes qui en sont issues.

3.1. Dispositif et mise en place

La caractérisation fine, grain à grain des semences utilisées pour cette expérimentation et la nécessité de conserver l'information de chaque semence, a limité l'effectif disponible. Il était donc impératif de réduire les sources d'hétérogénéité non contrôlées, interagissant avec les facteurs étudiés. A côté des conditions pédoclimatiques difficiles à maîtriser, les hétérogénéités de peuplement sont aussi susceptibles de poser des problèmes dans l'interprétation des résultats. A l'origine de cette variabilité peuvent se trouver des conditions difficiles lors de l'implantation (climat, structure du sol, profondeur du semis), qui entraînent un étalement de la levée.

La croissance et le développement, surtout au début, peuvent être affectés (POMMEL et FLEURY 1989). Une hétérogénéité spatiale dans le peuplement avec des écartements irréguliers dus aux manques et aux poquets, devait aussi être évitée dans la mesure du possible.

Ces contraintes expérimentales nous ont amenés à contrôler les conditions d'implantation en optant pour une technique particulière. Les semences ont été semées dans des mottes de tourbe de forme cubique, de 4,5 cm de côté. Ce type de substrat favorise les conditons d'imbibition, à quoi s'ajoute une faible profondeur de semis de 1 cm. En 1990, nous avons en plus placé les mottes en serre, en les arrosant abondamment, pour optimiser les conditions de levée. Ceci n'a pas été répété en 1991, où les mottes ont été mises à l'air libre, mais protégées des précipitations avec un arrosage contrôlé et non limitant. Ce changement nous a été inspiré par les résultats de 1990.

Les plantules toutes au stade 2-3 feuilles, ont été repiquées en mottes au champ, selon un dispositif en blocs aléatoires complets de 3*10 plantes par classe. Les 10 plantules étaient placées côte à côte sur le même rang, avec des écartements réguliers de manière à obtenir une densité de 90 000 plantes/ha, l'écartement interrang étant de 75 cm. Ce repiquage à un stade où la plantule a entamé sa croissance, présente l'avantage de pouvoir éliminer des plantules anormales, ou ayant levé tardivement. En 1990, 10 plantes sur 14, et en 1991 10 plantes sur 15, par classe et répétition, ont été ainsi à chaque fois sélectionnées.

Cette technique peut aussi susciter des critiques. Le repiquage ne correspond pas aux conditions normales de culture pour le maïs, et est susceptible de provoquer des stress chez la plantule. Un risque d'hétérogénéité non contrôlée est donc possible. Pour y remédier, nous avons enterré la plantule avec la motte et arrosé abondamment après repiquage. Cependant, en raison de la petite taille des mottes, les racines des plantules ont eu le temps de coloniser le milieu extérieur et d'occuper les espaces entre les mottes avant repiquage. Un certain enchevêtrement des racines en a résulté, ce qui a entraîné des cassures lors du repiquage. Cette atteinte du système racinaire des plantules a pu constituer un biais à cette expérimentation. Pour en limiter les effets, les plantes représentant une croissance anormale ont été éliminées. La conduite culturale de ces essais a été analogue chaque année, à celle menée sur les expérimentations en microparcelles (étude à partir d'un lot brut de semences).

3.2. Mesures

Une fois le repiquage effectué, nous avons suivi régulièrement la hauteur de la plante, mesurée en étirant les feuilles verticalement, et le stade foliaire (nombre des feuilles visibles). L'impossibilité d'effectuer des mesures destructives (matière sèche), et sa réalisation aisée (par rapport à des mesures de surface foliaire) nous ont amené à prendre la hauteur comme critère de croissance. Mais au cours du développement, la liaison hauteur-biomasse devient de plus en plus lâche (POMMEL et FLEURY 1989).

En 1990, en raison d'un orage de grêle (50 mm environ) survenu le 19 juin, l'essai n'a pu être poursuivi au-delà du stade 12 feuilles. En 1991, la date de floraison femelle de chaque plante, c'est-à-dire le jour de sortie de la première soie, a été notée. L'essai a été récolté manuellement, plante à plante, à maturité. Sur chaque épi d'aspect normal, nous avons déterminé le poids total en grain, l'humidité après le passage à l'étuve pendant 48 h à 105°C, et les composantes du rendement (nombre de rangs, de grains par rang et poids 1000 grains effectué sur 100 grains). Le nombre de rangs a été compté au milieu de l'épi. En cas d'irrégularité, certains rangs non terminés ont été assimilés à des demi-rangs. Le nombre de grains par rang a été noté sur un rang entier représentatif de l'épi. Les épis présentant des problèmes de fécondation ont été éliminés, de même que les plantes dont l'origine variétale était douteuse (aspect, floraison tardive...).

II- RESULTATS

1. Caractérisation de l'hétérogénéité morphologique

1.1. Variabilité intra-épi

Pour les différentes caractéristiques morphologiques de la semence, les moyennes sur 4 épis en 1990 et 25 épis normalement fécondés en 1991, sont données dans le tableau 7. Les trois dimensions des grains, longueur, largeur et épaisseur diffèrent nettement et l'ordre décroissant longueur, largeur et épaisseur, mentionné dans l'étude bibliographique (I-3.2.) se retrouve pour les moyennes. Cependant la variabilité de la longueur de la semence paraît inférieure à celle de la largeur et de l'épaisseur (Fig.4). La distribution des poids de semence est donnée par la figure 5 pour un épi de 1990. En considérant l'ensemble des coefficients de variation (C.V.) par épi, nous trouvons que le poids et l'épaisseur du grain varient le plus, suivis de la largeur, tandis que la longueur est la plus stable (Tab.8). Le C.V. du coefficient de sphéricité (CS3) ne dépasse pas 10%. En fait la longueur, qui apparaît le plus souvent au dénominateur de CS3 et qui varie faiblement, tamponne cette grandeur. Nous avons calculé un coefficient analogue (CS2) avec deux dimensions, la largeur (l) et l'épaisseur (e) :

$$CS2=(l*e)^{1/2} / \max(l,e)$$

Celui-ci varie davantage que CS3 mais avec un coefficient de variation inférieur à celui de l'épaisseur. Ainsi, nous avons utilisé comme critère l'épaisseur à la place de CS3 et CS2, pour trier les semences en fonction de la forme. Pour le poids du grain, nous trouvons des C.V. qui peuvent atteindre 20%. Pour les épis de 1991, nous n'avons travaillé que sur 4 rangs par épi, au lieu de la totalité en 1990, ce qui peut expliquer que des valeurs plus faibles (11%) aient été trouvées sur certains épis. Le rapport entre les extrêmes (maximum/minimum) trouvé pour le poids se situe entre 3,6 et 7,7 (2,5 et 3,2 si on élimine les grains de poids < 100mg) en 1990, et entre 1,7 et 4,2 en 1991.

Pour un épi moyen (n°3 de 1990), la variation de chacune des dimensions et du poids de la semence en fonction de la position sur l'épi est représentée sur les figures 6, 7, 8 et 9. La longueur diminue aux extrémités de l'épi, et au sommet en particulier, tandis qu'au milieu elle est assez stable. L'allure de la courbe de l'épaisseur en fonction du niveau d'insertion est inverse avec une augmentation à la base de l'épi surtout, et à un degré moindre au sommet. Un certain nombre de grains du milieu sont plus épais.

Tab.7 : Moyenne et coefficient de variation des moyennes par épi de plusieurs caractéristiques semencières en 1990 (n=4) et 1991 (n=25).

	1990		1991	
	Moyenne	C.V. (%)	Moyenne	C.V. (%)
Longueur (mm)	9,8	2,7	9,8	4,5
Largeur (mm)	7,7	3,1	7,7	4,2
Epaisseur (mm)	5,0	5,4	5,1	5,1
C.S.3	0,74	2,3	0,74	2,1
C.S.2	0,81	1,5	0,81	3,0
Poids (mg)	243	11,9	249	12,2

Tab.8 : Minimum et maximum des coefficients de variation (%) par épi de plusieurs caractéristiques semencières en 1990 (n=4) et 1991 (n=25).

	1990		1991	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Longueur	7,0	9,1	4,4	7,0
Largeur	10,0	11,9	7,4	11,9
Epaisseur	17,8	18,7	12,1	20,2
C.S.3	8,0	8,6	5,5	9,6
C.S.2	10,4	11,4	7,7	11,0
Poids	18,7	22,3	11,0	19,2

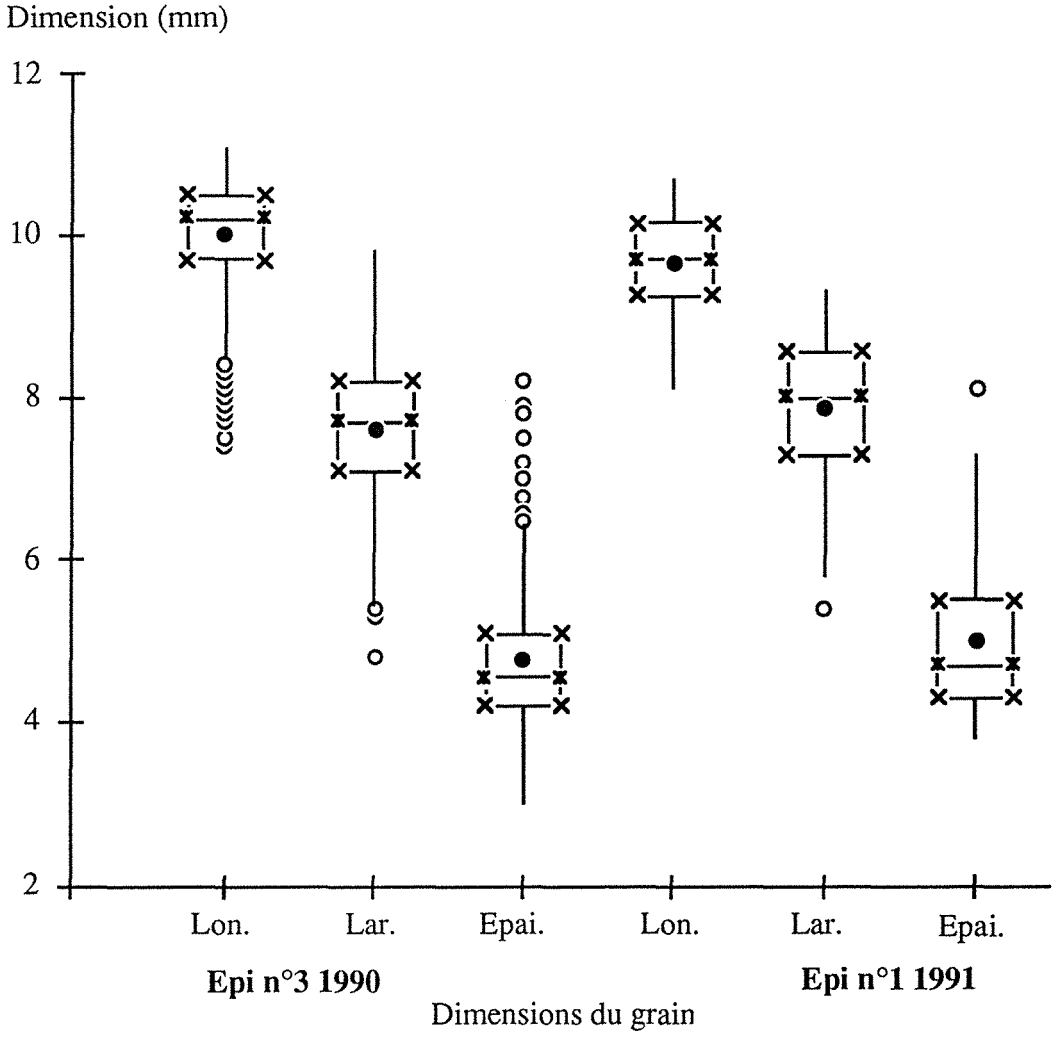


Fig.4 : Distributions des longueur, largeur et épaisseur de semence par épi.
(Représentation par "boîte à pattes")

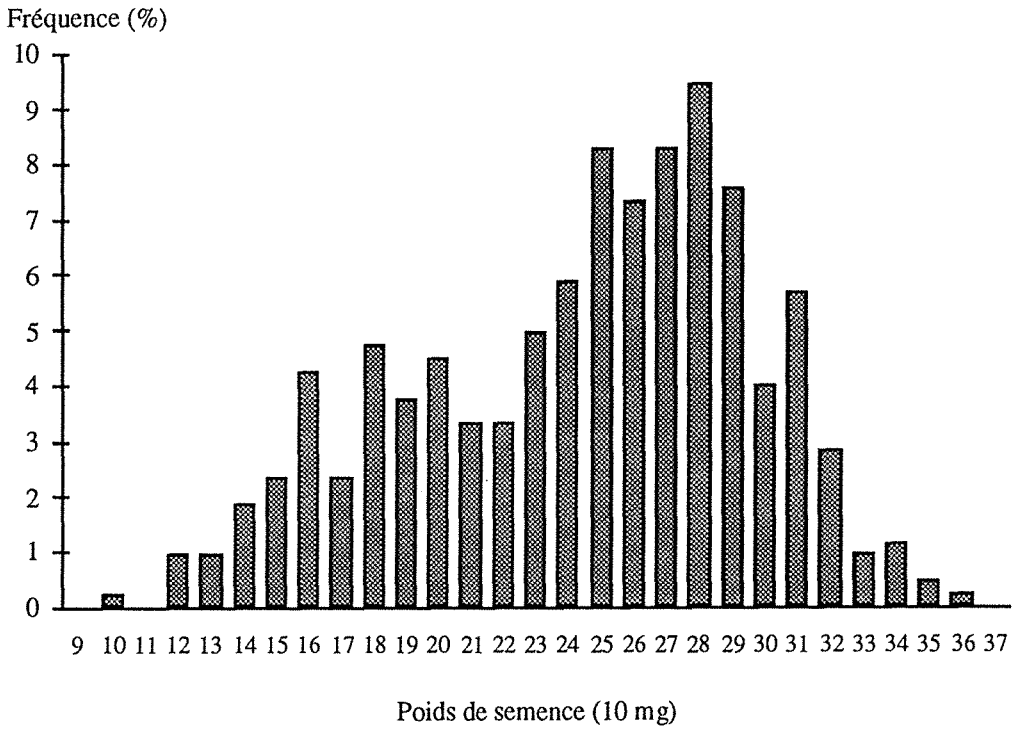


Fig.5 : Distribution des poids de semence d'un épi (n°3 1990)

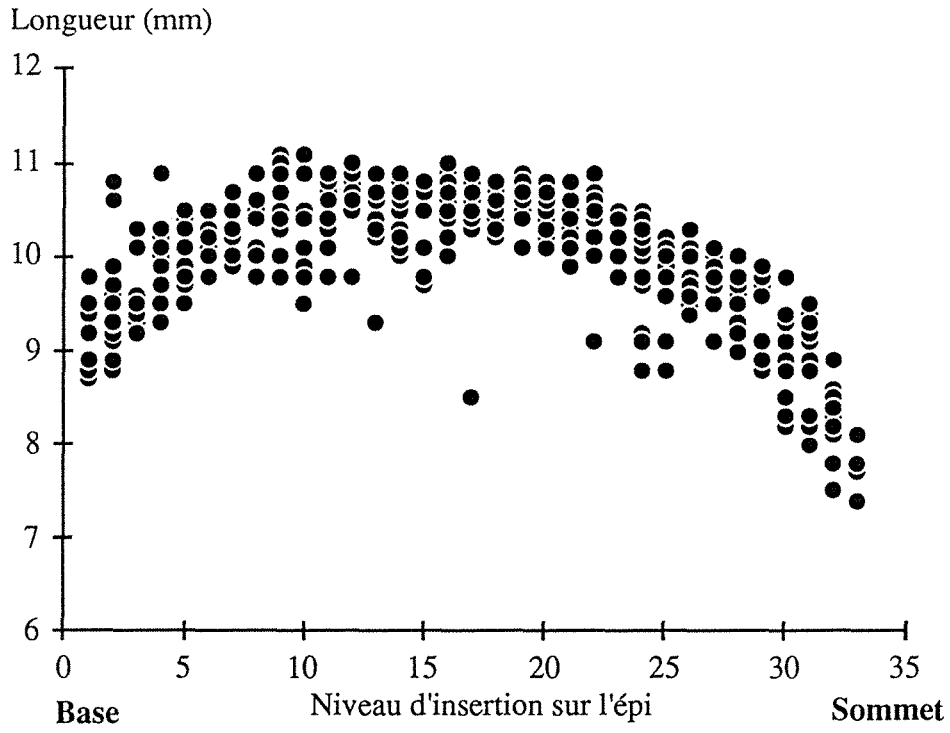


Fig.6 : Distribution des longueurs de semence le long de l'épi (n°3 1990).

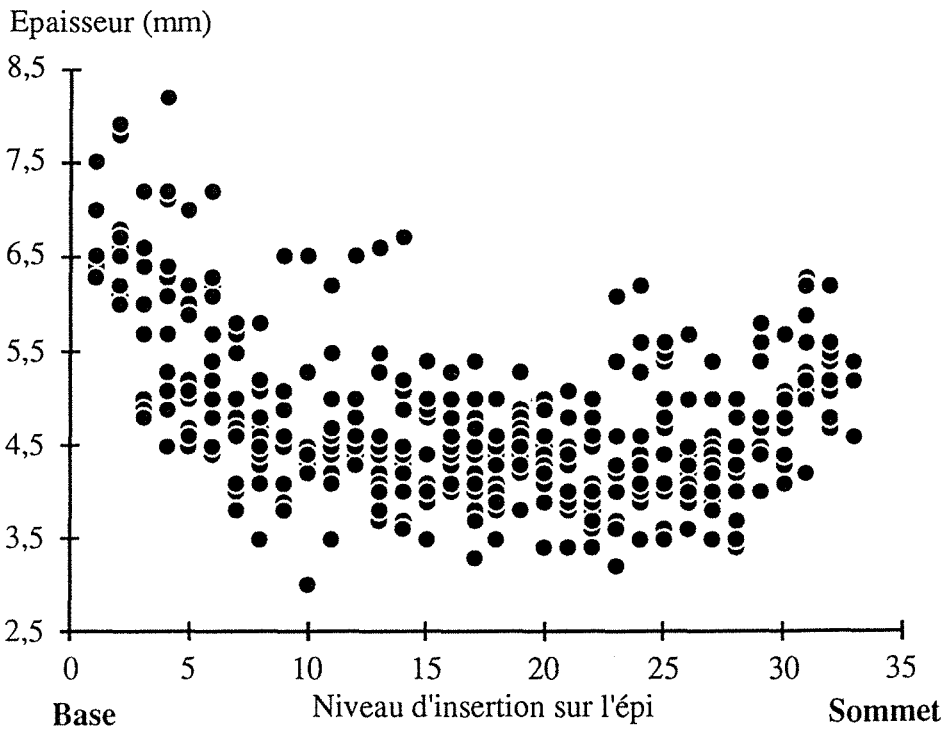


Fig.7 : Distribution des épaisseurs de semence le long de l'épi (n°3 1990).

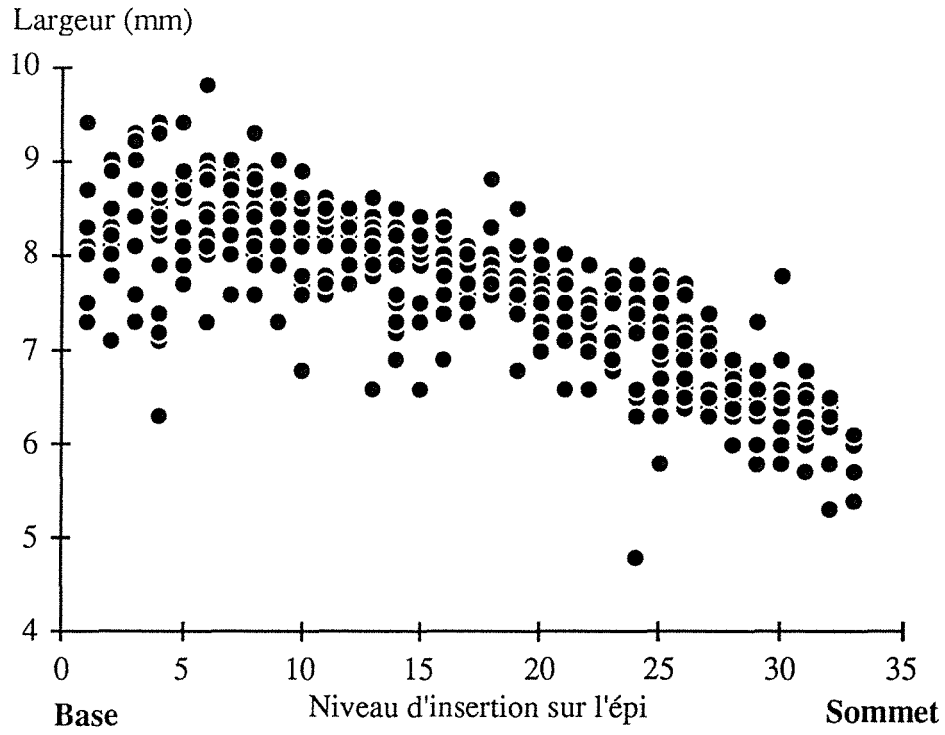


Fig.8 : Distribution des largeurs de semence le long de l'épi (n°3 1990).

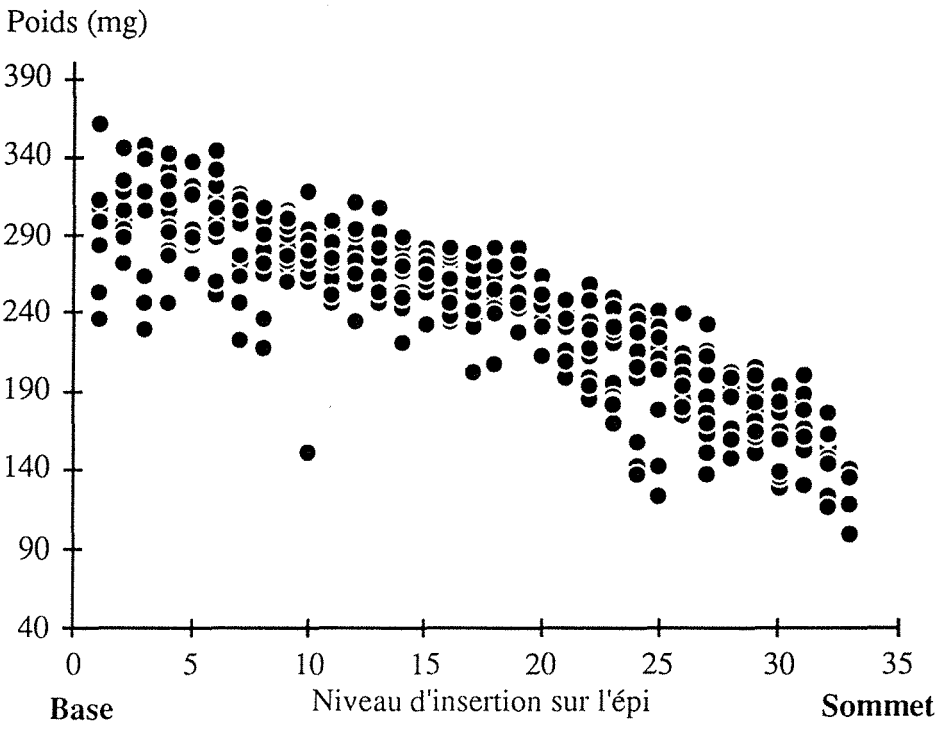


Fig.9 : Distribution des poids de semence le long de l'épi (n°3 1990).

La largeur de la semence diminue de la base au sommet comme le poids, dont la variation paraît plus linéaire que celle de la largeur. Des résultats analogues (annexes 2 et 3) ont été trouvés pour un autre épi de 1991 (n°1).

Des coefficients de corrélation entre ces différentes variables ont été calculés. Les liaisons les plus étroites existent entre le poids ou la largeur de la semence et le niveau d'insertion sur l'épi, et entre le poids et la largeur (Tab.9). Dans les autres cas, les corrélations ne permettent pas d'expliquer plus de 50% de la variance totale, et sur certains épis, elles ne sont pas significatives. Ceci est le cas en particulier, pour la liaison entre la largeur et l'épaisseur.

La variabilité observée des dimensions de la semence, provient **de l'espace disponible pour le développement de l'ovule fécondé et de la quantité d'assimilats fournie au grain, qui varient tous deux au sein de l'épi**. ABD EL RAHMAN et BOURDU (1986) émettent ces hypothèses, mais ne donnent pas de résultats chiffrés. Ainsi, la diminution régulière de la largeur des semences de la base au sommet s'explique, par la circonférence décroissante de la section de l'épi et donc de l'espace disponible pour l'élargissement de chaque grain. Or cette diminution n'est pas linéaire ce qui permet d'expliquer les valeurs moyennes des coefficients de corrélation. De même, les semences de la base et du sommet ont plus d'espace que ceux du milieu pour se développer, en raison d'un plus petit nombre d'ovules présents, ce qui leur permet de s'épaissir. Si un grain manque, les voisins sur le rang occupent le vide laissé en croissant en épaisseur, ce qui est observable, en particulier au milieu de l'épi. Dans les zones médianes de l'épi, les semences présentent une longueur supérieure à celles des extrémités, car leur croissance est surtout verticale à cause d'un manque d'espace, tandis qu'à la base, elle se fait plutôt en largeur et en épaisseur. Au sommet, la croissance en épaisseur est plus faible, et la diminution de la longueur plus forte en raison d'un manque d'assimilats (OU-LEE et SETTER 1985). Le gradient de disponibilité en quantité d'assimilats pour le remplissage, qui s'établit de la base au sommet de l'épi, et le retard de la fécondation des grains du sommet (TOLLENAAR et DAYNARD 1978) permettent d'expliquer la décroissance du poids du bas vers le haut de l'épi. La corrélation entre poids et largeur de la semence peut s'expliquer par les liaisons de ces critères avec le niveau d'insertion sur l'épi. Il n'y aurait pas de lien de cause à effet entre ces deux critères.

1.2. Variabilité inter-épi

En 1990, l'épi n°7 se distingue nettement des 4 autres étudiés, par des valeurs moyennes inférieures, notamment pour le poids des semences (Tab.10). Pourtant, les épis étaient semblables, par leur taille et leur aspect avec un nombre de rangs identique.

Tab.9 : Minimum et maximum des coefficients de corrélation (**r**) par épi entre plusieurs caractéristiques semencières en 1990 (n=4) et 1991 (n=25) et nombre de coefficients non significatifs (par rapport à n).

	1990			1991		
Liaisons	Minimum	Maximum	r N.S. (/4)	Minimum	Maximum	r N.S. (/25)
poids-niv	-0,60	-0,87	0	-0,50	-0,89	0
lar-niv	-0,64	-0,80	0	-0,32	-0,82	0
lar-poids	0,69	0,86	0	0,47	0,86	0
lon-poids	0,50	0,69	0	-0,03	0,60	6
epai-poids	0,23	0,36	0	0,11	0,63	2
lon-lar	0,62	0,71	0	-0,06	0,70	3
lon-epai	-0,34	-0,47	0	-0,20	-0,64	1
lar-epai	-0,01	-0,30	2	0,22	-0,47	19

niv : niveau d'insertion sur l'épi **poids** : poids total du grain
lon : longueur du grain **lar** : largeur du grain
epai : épaisseur du grain

Tab.10 : Moyenne par épi de plusieurs caractéristiques semencières en 1990.

N°epi	3	5	7	9
Nbre de grains	422	375	416	366
Longueur (mm)	10,0	10,0	9,4	9,8
Largeur (mm)	7,6	8,0	7,4	7,8
Epaisseur (mm)	4,8	5,3	4,8	5,2
Poids (mg)	244	270	202	256

En 1991, l'hétérogénéité est plus grande. Ainsi le poids moyen de semence par épi est compris entre 180 et 287 mg, pour des épis normalement fécondés. En 1990 et 1991, c'est le poids de grain qui présente la plus grande variabilité inter-épi, et les coefficients CS3 et CS2 qui varient le moins entre épis (Tab.7). Les épis mal fécondés sont composés de grains plus lourds et plus épais en moyenne que les épis normalement fécondés (Tab.11). La longueur et la largeur ne diffèrent pratiquement pas entre les deux types d'épis. Le poids présente donc la variabilité inter-épi la plus grande.

La distribution sur l'épi, des poids de semence change aussi quelque peu selon les épis, ce qui explique la variabilité observée pour le coefficient de corrélation de la liaison poids-niveau d'insertion. Les figures 10a, 10b, 11a et 11b présentent 4 types de distribution observés parmi les 25 épis normalement fécondés :

– Le premier épi (n°1), avec un poids moyen de semence (246 mg), présente une diminution régulière et linéaire avec un nuage de points bien groupés (Fig.10a). Sur les derniers grains du sommet, il semble y avoir un décrochage du poids.

– Le deuxième (n°2) est aussi dans la moyenne pour le poids (236 mg). Le nuage de points est plus dispersé avec à la fin une chute plus marquée (Fig.10b).

– Le suivant (n°25) est un épi de poids moyen de semence inférieur (200 mg). Le nuage est aussi plus dispersé que dans le premier cas, bien que la diminution soit régulière (Fig.11a).

– Enfin, pour le dernier (n°6), au poids moyen de semence très faible (180 mg), le poids ne décroît pas régulièrement (Fig.11b). Le nuage présente une pente presque nulle jusque dans la partie supérieure où la chute est brutale.

En 1990, l'épi n°7 au poids moyen de semence aux trois précédents, présentait une distribution proche du troisième cas, alors que les trois autres pouvaient être rapprochés du premier épi

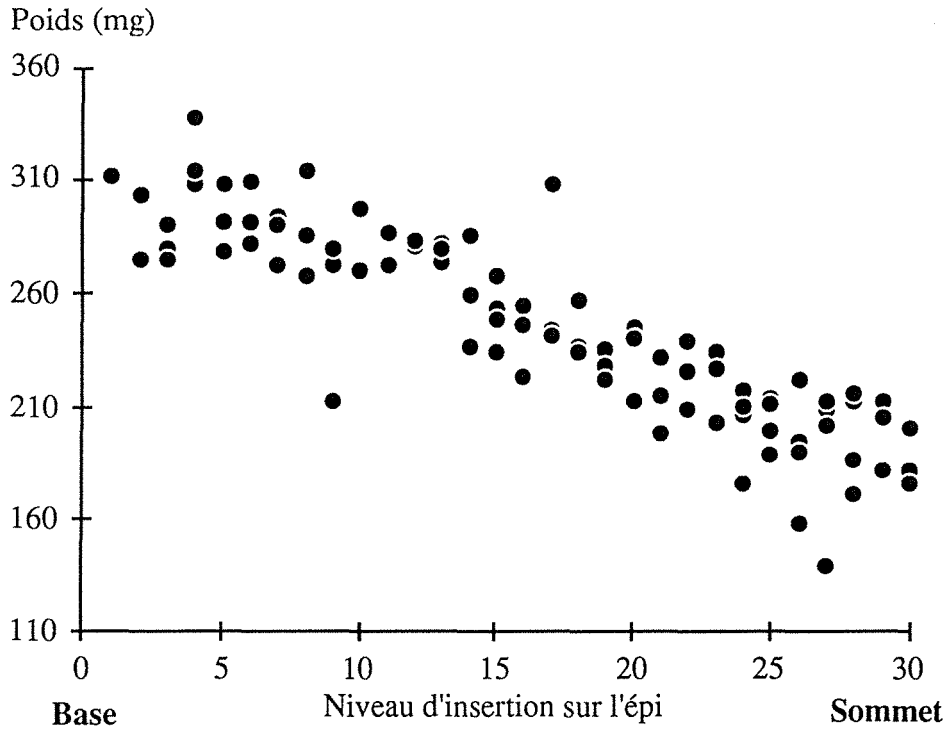
En ce qui concerne **l'hétérogénéité inter-épi, c'est le poids de la semence qui varie le plus.** Ceci s'explique par le fait que le poids peut être assimilé à une grandeur à 3 dimensions. Ces sont les coefficients CS3 et CS2 qui sont des rapports sans dimension, qui varient le moins. Cependant les valeurs données pour toutes ces caractéristiques ne sont qu'indicatives de l'échantillon d'épis utilisé qui n'est pas représentatif d'un lot arrivant à l'usine. Les épis ont été choisis parmi un lot d'épis prélevés à la sortie du séchoir de l'usine. Dans les deux cas une sélection a été effectuée et les épis présentant un faible égrenage naturel ont été pris. Nos résultats ne peuvent donc rendre compte totalement de la variabilité d'un lot récolté et traité en usine.

Les conditions de croissance et de développement de la plante, en particulier, durant la phase de remplissage sont à l'origine de la variation du poids moyen des grains et influent aussi sur l'hétérogénité au sein de l'épi.

Tab.11 : Moyenne et coefficient de variation des moyennes par épi de plusieurs caractéristiques semencières en 1991 pour les épis mal fécondés (n=6) et normaux (n=25).

	Epis mal fécondés		Epis normaux	
	Moyenne	C.V. (%)	Moyenne	C.V. (%)
Longueur (mm)	9,50	2,4	9,70	4,5
Largeur (mm)	8,10	3,6	7,70	4,2
Epaisseur (mm)	6,70	6,2	5,10	5,1
C.S.3	0,84	3,9	0,74	2,0
C.S.2	0,89	1,4	0,81	3,0
Poids (mg)	299	8,8	249	12,2

a)



b)

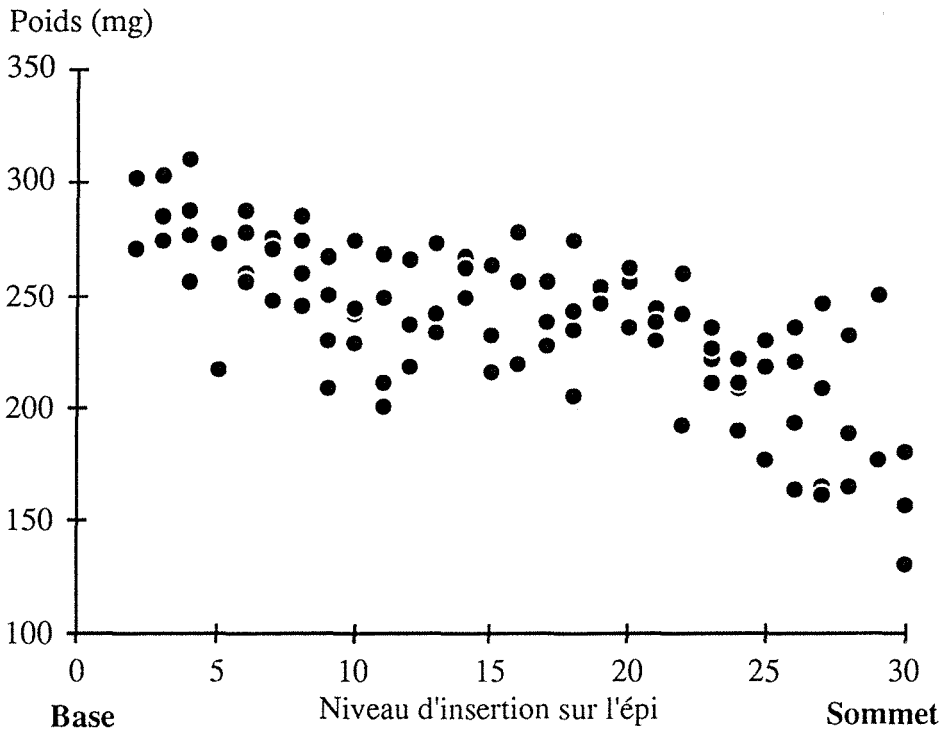
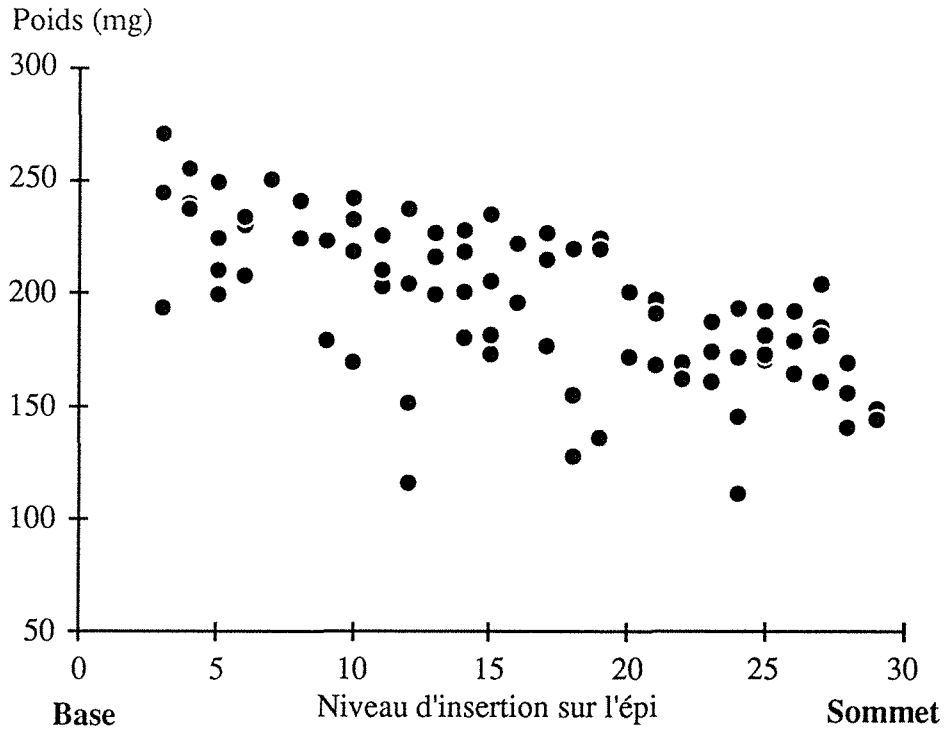


Fig.10 : Distribution des poids de semence le long de l'épi :
a) Epi n°1 (1991)
b) Epi n°2 (1991)

a)



b)

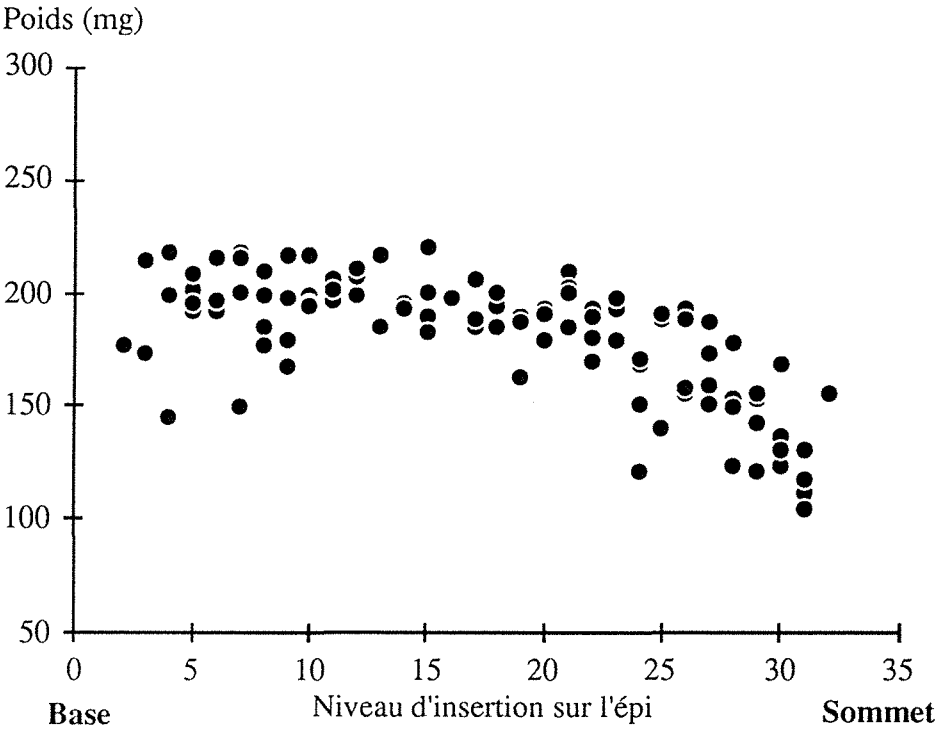


Fig.11 : Distribution des poids de semence le long de l'épi :
a) Epi n°25 (1991)
b) Epi n°6 (1991)

En effet, les différents types de variation du poids de grain en fonction de la position sur l'épi, peuvent être expliqués par les conditions de développement et de croissance de l'épi et des grains qui pour l'épi n°1 sont probablement normales. Ainsi dans le cas de l'épi n°6 (Fig.11b), l'absence de pente au début, et la faible dispersion du nuage pour la première moitié de l'épi indique un début de développement normal, sans retard ou de la fécondation. Mais l'apparition d'un stress brutal, probablement hydrique pour cette période de l'année, a dû produire un arrêt ou freiner fortement le remplissage avant que ne s'installe le gradient d'assimilats. Les grains du sommet qui sont les derniers à être fécondés, restent plus légers, en raison d'un retard à la fécondation et donc dans le remplissage. L'épi n°25 (Fig.11a) a peut-être aussi subi un stress, ce qui s'est traduit par une diminution du poids moyen de grain, mais à un moment, où le gradient d'assimilats s'était déjà installé. Une situation de concurrence accrue suite à un écartement réduit par rapport aux plantes voisines peut aussi être une explication de cette réduction de poids.

Cependant, la dispersion du nuage de points pourrait dépendre des rangs pris en compte pour l'étude. Les nuages de points des épis de 1990 où tous les rangs ont été inclus dans la caractérisation, sont effectivement plus dispersés.

1.3. Autres caractéristiques morphologiques

1.3.1. Volume de la semence

Quel que soit le type d'épi, il existe une bonne corrélation entre le poids de la semence et son volume calculé à partir du produit des trois dimensions de la semence (Tab.12). Les valeurs trouvées sur chaque épi sont significatives. Sur l'échantillon de 100 grains issus des classes de semences formées en 1990, la corrélation du poids avec le volume réel est très étroite, presque absolue (Tab. 13). De cette liaison, il ressort que le rapport des deux, c'est-à-dire la densité réelle des grains ne varie que faiblement. Pour les 100 grains utilisés pour la détermination du volume, le C.V. de la densité calculée pour chaque semence est de 1,96%. Les grains légers sont cependant un peu plus denses que les gros grains (Tab. 14).

Le volume réel n'est que faiblement lié à chacune des dimensions prise isolément, tandis qu'avec le volume calculé (produit des trois dimensions), la liaison est meilleure (Tab.13). Cependant, 70% seulement de la variance totale du volume réel est expliqué par le volume calculé.

Tab.12 : Minimum et maximum des coefficients de corrélation par épi entre poids de semence et volume calculé (=lon*lar*epai).

	Nbre épis	Minimum	Maximum
1990	4	0,80	0,88
1991 Epis normaux	25	0,76	0,92
1991 Epis mal fécon.	6	0,73	0,86

Tab.13 : Coefficients de corrélation entre volume réel et plusieurs caractéristiques semencières (1990, n=100 grains).

	Volume
Longueur	0,312
Largeur	0,654
Epaisseur	0,462
Poids	0,997
Volume calculé	0,843

Significatif à 5%

Tab.14 : Densité réelle par classe de semences de 1990.

Classes	Densité
ELB	1,324 (1,3) (1)
EmM	1,323 (1,7)
PmM	1,343 (1,3)
PlM	1,354 (1,5)
RlS	1,370 (1,4)

(1) C.V.(%)

Cette liaison entre les volumes réel et calculé n'est pas totale en raison de la forme variable des grains. Mais quel que soit le volume utilisé, il existe une corrélation étroite avec le poids de la semence. Celle-ci avait déjà été mise en évidence par BAUDET (1987) sur la maïs, et par MILLET et PINTHUS (1984), sur le blé. D'après TOLLENAAR et DAYNARD (1978), le volume atteint son niveau final avant le poids et déterminerait la force du puits du grain durant le remplissage. En tout cas, cette liaison étroite, de même que celle entre le poids total et le poids de l'embryon peut provenir de la dépendance étroite de ces grandeurs par rapport à la quantité d'assimilats disponibles et à la date de fécondation.

La liaison étroite entre le volume et le poids de la semence est intéressante par la stabilité de la densité réelle qu'elle implique. La densité varie effectivement peu. Il est à noter que les semences utilisées ne présentaient pas de problèmes sanitaires ou d'attaques de parasite, qui entraînent une chute de la densité. D'autre part, il est possible que la densité soit plus faible pour les épis, ou pour des semences d'un épi fécondé avec retard, qui n'ont pas pu se remplir totalement. Mais le séchage durant le conditionnement a pu être à l'origine d'une homogénéisation des densités, par rétrécissement plus ou moins important du volume du grain en fonction de l'humidité. Ajoutons encore que les valeurs de densité trouvées sont proches de celle de BAUDET (1987) (cf Tab.3), mais ne peuvent être considérées comme absolues. En effet, le poids a été déterminé sur des grains encore un peu humides (<14%).

1.3.2. Poids de l'embryon

Il existe une variabilité du poids sec de l'embryon à l'intérieur du grain avec des coefficients de variation légèrement supérieurs à ceux du poids total de la semence (Tab.15 et 16). Le poids de l'embryon fluctue dans le même sens que le poids total. En fait, quel que soit le type d'épi, les poids de l'embryon et de la semence sont étroitement liés avec près de 85% de la variance expliqué. De même sur les 100 grains des classes de 1990, nous avons trouvé un coefficient de corrélation : r = 0,938. Cette liaison étroite implique que le rapport des deux poids est constant, c'est à dire que l'embryon occupe une proportion constante du poids total. En 1990, la part de l'embryon varie faiblement entre classes, et se situe autour de 8% avec de faibles coefficients de variation (Tab.15). En 1991, elle dépasse légèrement 9% et est à peu près constante entre épis (Tab.16).

Tab.15 : Poids sec de l'embryon (**pse**) et rapport (%) des poids secs de l'embryon (**pse**) et du grain (**psg**) par classe de semences de 1990,

Classes	pse (mg)	pse/psg (%)
ELB	21,6 (6,5)	8,0 (5,7) (1)
EmM	19,2 (9,4)	8,1 (4,8)
PmM	19,2 (5,8)	8,2 (7,0)
PlM	15,4 (12,0)	7,9 (6,7)
RlS	11,7 (11,6)	7,8 (7,8)

(1) C.V.(%)

Tab.16 : Poids sec de l'embryon (**pse**), coefficient de corrélation entre **pse** et le poids du grain (**pg**) et rapport des poids secs de l'embryon et du grain (**pse/psg**) en 1991.

N°epi	1	6	25
pse (mg)	20,7 (17,1) (1)	14,1 (17,2)	17,1 (21,3)
r (pse-pg)	0,91	0,93	0,89
pse/psg(%)	9,1 (9,5)	9,2 (5,4)	9,4 (11,0)

(1) C.V.(%)

Epi **1** : normal Epi **6** : stress remplissage Epi **25** : stress remplissage

La variabilité importante du poids de l'embryon, liée au poids total de la semence est à noter. On entend parfois parler d'une stabilité du poids de l'embryon. Ce serait plutôt le rapport poids de l'embryon / poids total qui ne varierait pas, ou faiblement. Entre les différents types d'épis de1991, les moyennes de ce rapport sont proches. En 1990, la variabilité entre classes est faible. HAMMES (1969) trouve aussi une faible variation de ce rapport. **Il n'y aurait donc pas de deséquilibre important entre le germe et l'albumen des grains plats du milieu** qui sont comprimés, comme le supposent ABD EL RAHMAN et BOURDU (1986). Cependant, nos valeurs de 1990 sont plus faibles que celles trouvées en 1991. Ceci pourrait provenir de la dissection et d'une séparation imparfaite en 1990. En tout cas, les valeurs moyennes (9%) sont plus faibles que celles trouvées sur hybrides, qui varient entre 10,5% (MANNINO et GIRARDIN 1993) à 11% (EARLE et al. 1946, dans WATSON 1987).

2. Comportement au champ

Après avoir caractérisé les grains, nous en avons sélectionné un certain nombre pour former des classes de semences qui seront comparées au champ. Dans la partie matériel et méthodes, nous avons précisé les intervalles de variation pour chaque critère définissant ces classes (Tab.4). Les valeurs moyennes des caractéristiques des semences sont données dans les tableaux 17a et 17b et confirment ce qui a été dit au paragraphe I-2 sur les comparaisons entre classes. Les classes des grains du milieu de poids moyen, EmM et PmM, diffèrent surtout par l'épaisseur en 1990 et 1991. Leurs poids sont très proches, ainsi que leurs tailles, ce qui nous permettera d'étudier l'effet de la forme plate ou ronde (épaisse), sur le comportement au champ. Les classes PlM en 1990 et PlMS en 1991 se distinguent de PmM (grains plats moyens), par leurs poids inférieurs. De plus les grains de PlMS proviennent d'un autre type d'épi. Les semences des épis mal fécondés (ELMF) ont des caractéristiques voisines des grains lourds de la base et ne diffèrent que par le type d'épi et la zone de l'épi dont elles sont issues.

2.1. Développement

2.1.1. Levée

En 1990, la levée a été rapide (5 jours après semis) et très groupée (99% des semences levées en 2 jours). La classe des grains lourds de la base (ELB) présente un léger retard par rapport aux autres, surtout pour les plantes sélectionnées (Tab.18a). En 1991, la levée a été plus lente et moins groupée (95% de semences levées en 7 jours).

Tab.17 : Moyenne des caractéristiques des semences des classes.
a) 1990 **b)** 1991

a)

Classes	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Epaisseur (mm)	Poids (mg)
ELB	9,8	8,5	6,5	327
EmM	10,2	7,5	5,8	282
PmM	10,6	8,4	4,4	280
PlM	10,2	7,8	4,3	236
RlS	9,1	6,6	5,4	186

b)

Classes	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Epaisseur (mm)	Poids (mg)
ELB	9,5	8,3	6,8	323
EmM	10,3	7,5	5,5	271
PmM	10,6	8,0	4,5	266
RlS	9,1	6,5	5,6	197
PlMS	9,5	7,6	4,3	206
ELMF	9,4	8,2	7,2	324

Tab.18 : Date de levée moyenne par classe de semences
(jours depuis semis en mottes).
a) 1990 **b)** 1991

a)

Classes	Av. sélection	Apr. sélection
ELB	6,7	6,7
EmM	6,5	6,3
PmM	6,4	6,2
PlM	6,3	6,1
RlS	6,3	6,2

b)

Classes	Apr. sélection
ELB	13,9
EmM	14,0
PmM	14,0
RlS	14,2
PlMS	14,6
ELMF	14,3

Les écarts entre les classes sont faibles (moins d'un jour). C'est la classe PlMS qui est légèrement en retard, alors que ELB vient cette fois en tête (Tab.18b). En 1990 et 1991, la levée des plantules a été plus rapide dans ces mottes qu'au champ, avec des gains respectivement de 3 et 4 jours (cf. 2ème partie II-2.3.1.).

La technique de semis en mottes a permis d'obtenir des levées plus rapides et plus groupées que le semis au champ. La faible profondeur de semis et les bonnes conditions d'imbibition expliquent ce comportement. **Les écarts de levée entre classes exprimés en nombre de jours sont faibles, ce qui permet de comparer les croissances des plantes issues de ces classes.** Cependant, ce n'est pas tant la différence exprimée en nombre de jours plutôt qu'en somme de températures, qui peut influencer la croissance (POMMEL et FLEURY 1989). En 1990, l'écart entre les deux jours de levée était élevé (29°C donc 23°C en base 6), en raison des conditions chaudes qui règnaient en serre. Par contre, en 1991 la température moyenne sur la période de levée était plutôt faible, de 11°C (+/- 1,2°C), et les différences ramenées en somme de températures entre les jours de levée étaient donc faibles. En 1990, le léger retard de levée (0,5 jour) de la classe ELB est à noter, et a peut-être été suffisant, étant donnés les écarts de températures pour influencer le développement et la croissance ultérieurs. Mais il n'a pas été observé en 1991. **Ceci ne permet donc pas de conclure à un effet de cette classe de semences sur la levée.**

2.1.2. Stade foliaire

Les écarts sont dans l'ensemble faibles et ne dépassent pas 0,5 feuille. En 1990, la classe ELB présente un retard de 0,5 feuille, au moment du repiquage effectué à j7 (Tab.19a). Juste après celui-ci, les différences ont disparu. De légers écarts apparaissent par la suite et sont surtout marqués au stade 12 feuilles. En 1991, c'est à partir du stade 7 feuilles que les plantes issues des semences légères RlS et PlMS ont un léger retard, qu'elles ont rattrapé au stade 15 feuilles (Tab.19b). Entre ELMF et EmM, il n'y a pas de différence. Pour les plantes venant des grains plats du milieu moyens (PmM), un retard apparaît à partir du stade 8 feuilles et subsiste au stade 15 feuilles.

Le retard de levée de la classe ELB en 1990, a peut-être été suffisant en termes de somme de températures pour occasionner un retard de développement au repiquage. Mais un rattrapage au niveau du stade foliaire s'est déjà produit à j14.

Tab.19 : Stade foliaire par classe de semences (Nombre de feuilles visibles).
a) 1990 b) 1991

a)

Classes	Stades foliaires (n. feuilles visibles)					
	j7	j14	j23	j30	j36	j45
ELB	2,0	4,0	7,0	8,7	10,1	12,6
EmM	2,6	4,0	7,0	8,7	10,0	12,4
PmM	2,5	4,0	7,0	8,8	10,0	12,2
PlM	2,7	4,0	6,9	8,5	9,9	12,1
RlS	2,6	4,0	7,0	8,5	10,0	12,2

(1) j0 : semis j7 : repiquage

b)

Classes	Stades foliaires (n. feuilles visibles)						
	j32	j39	j46	j54	j60	j67	j74
ELB	5,0	7,0	8,5	9,8	11,8	13,7	14,9
EmM	5,0	6,9	8,5	9,7	11,6	13,6	14,8
PmM	5,0	6,8	8,3	9,6	11,4	13,4	14,6
RlS	5,0	6,7	8,3	9,6	11,6	13,5	14,9
PlMS	5,0	6,8	8,1	9,5	11,4	13,4	14,9
ELMF	5,0	7,0	8,6	9,9	11,7	13,6	14,8

(1) j0 : semis j24 : repiquage

Les écarts de stades foliaires entre classes sont faibles et apparaissent surtout au début de la montaison. Mais un rattrapage semble se produire, ce qui pourrait entraîner une homogénéisation du nombre total de feuilles entre classes. Cependant, le critère utilisé pour apprécier le stade de développement est peu précis et l'espacement entre notations trop grand (6-7 jours), pour mettre en évidence de faibles différences de développement. Cette remarque sera valable pour toute la suite du travail.

2.1.3. Floraison

En 1991, les plantes issues des grains lourds de la base (ELB) ont en moyenne une avance de presque 2 jours sur les suivants (Tab.20). Les autres classes sont groupées, à l'exception de PmM en retard d'un jour.

L'avantage de la classe des grains lourds de la base ELB sur les grains légers du sommet RlS révèlerait un effet de la taille de la semence ou de la position sur l'épi sur la date de floraison. Ce résultat doit être confirmé. Le léger retard de la classe PmM par rapport à RlS (0,9 jour), est probablement lié au problème de développement et de croissance observé en cours de végétation (cf. 2.2.).

2.2. Croissance

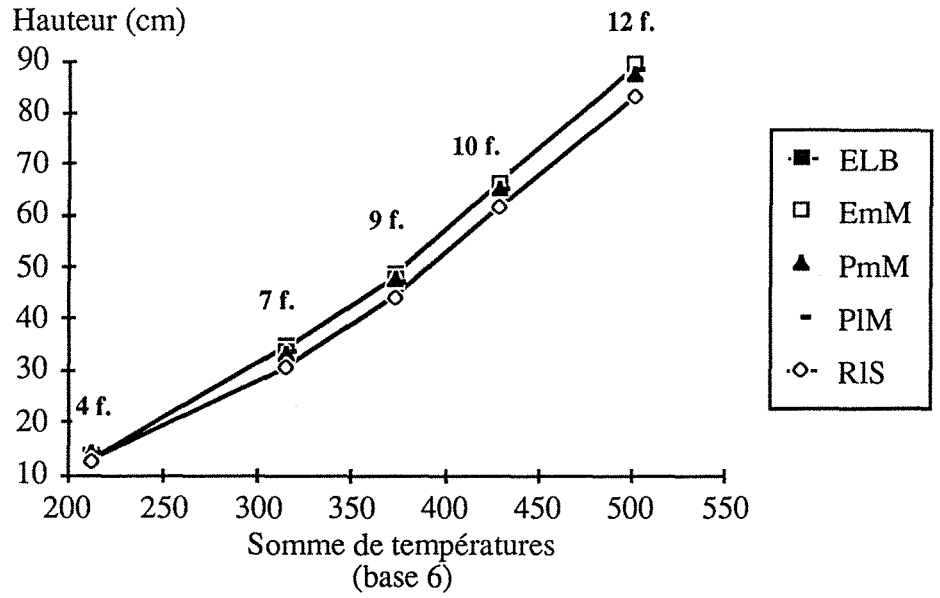
En 1990, la croissance devient linéaire à partir du stade 9 feuilles et en 1991, du stade 12 feuilles seulement (Fig.12a et 12b). Entre les classes extrêmes, ELB et RlS, l'écart en valeurs absolues augmente jusqu'à l'entrée dans cette phase où il devient à peu près constant. Cela impliquerait que les vitesses de croissance linéaire soient identiques. Mais, comme les mesures ont été faites sur les mêmes plantes, les valeurs ne sont pas indépendantes entre 2 jours de mesures, et nous n'avons pas étudié de plus près la vitesse. En 1990 et 1991, les différences maximales observées entre classes sont au plus de l'ordre de quelques centimètres, moins de 2 cm à la sortie de l'hétérotrophie. **Ces différences de croissance en hauteur sont insuffisantes pour entraîner un handicap irréversible des plantules les plus petites dès le démarrage suite à un ombrage important par les plus grandes, si elles étaient côte à côte.**

En prenant comme référence la classe des petits grains du sommet RlS, nous avons calculé la croissance relative, représentée en 1990 et 1991 sur les figures 13a et 13b. En 1990, à 14 jours après le semis (j14), les classes ELB et RlS des extrémités de l'épi, présentent une croissance inférieure de 8,5% par rapport aux trois autres très groupées. A j23, ELB dépasse les trois classes du milieu, dont l'écart par rapport à RlS est resté constant. La différence entre ELB et RlS est de 12,7%. Puis, entre les stades 7

Tab.20 : Date de floraison moyenne par classe de semences en 1991.

Classes	Date de floraison (jours/semis)
ELB	85,8
EmM	87,6
PmM	88,9
RlS	88,0
PlMS	88,0
ELMF	87,7

a)



b)

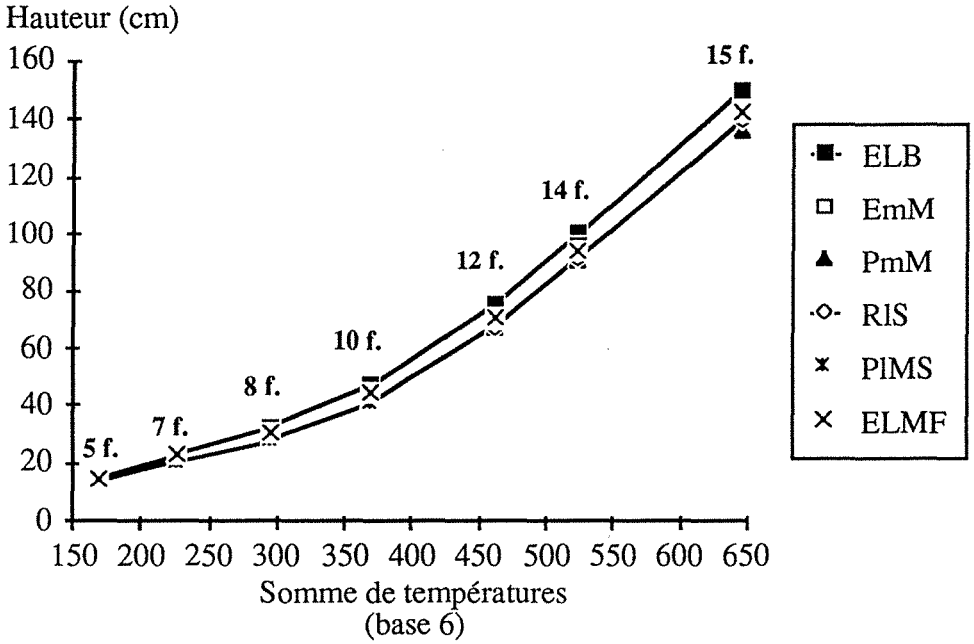
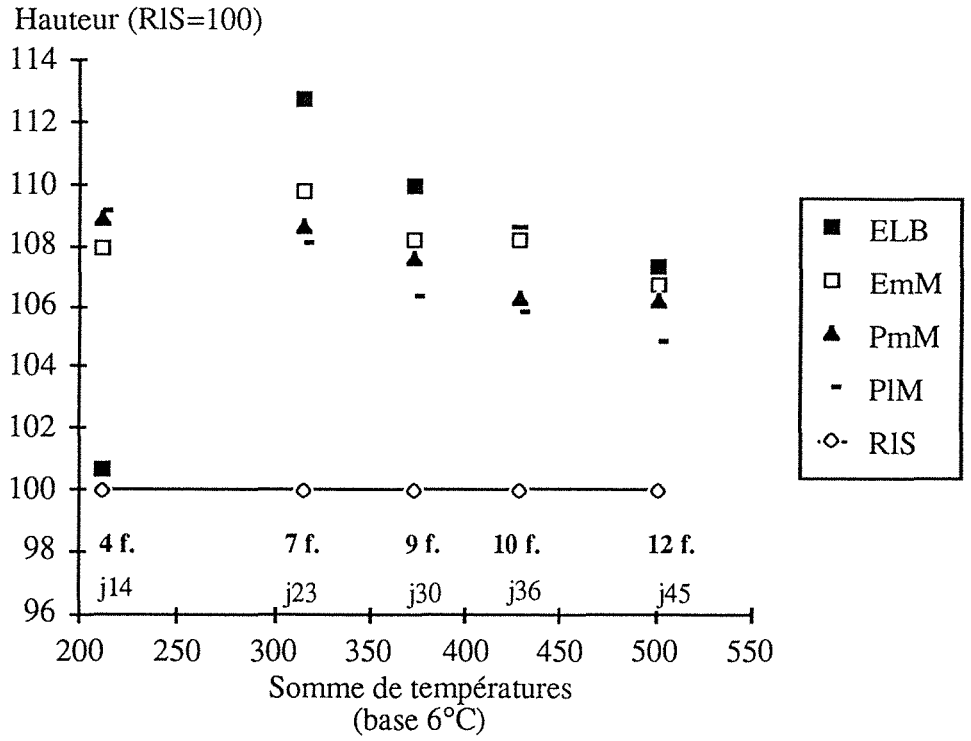


Fig.12 : Croissance en hauteur par classe de semences.
a) 1990 **b)** 1991

a)



b)

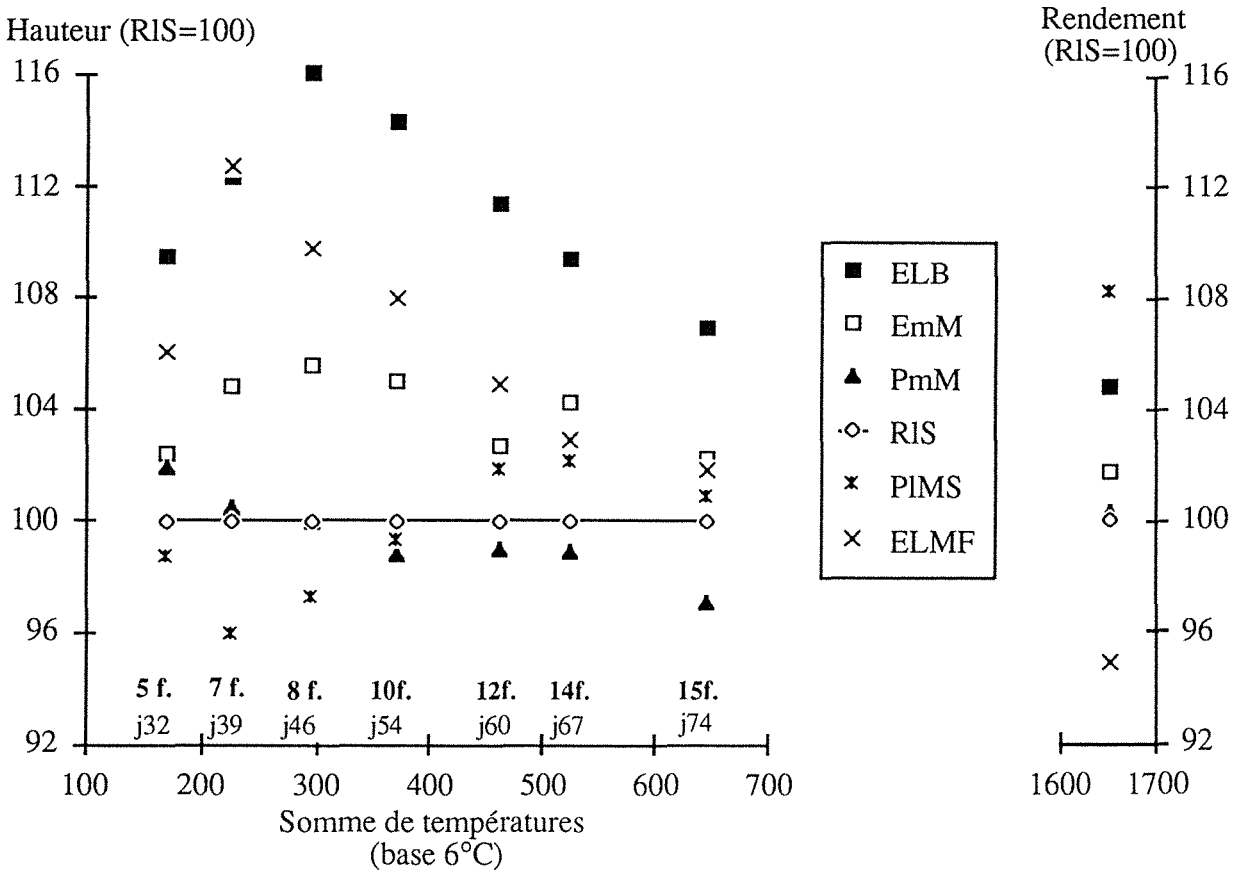


Fig.13 : Croissance en hauteur (et rendement en 1991) par classe de semences, valeurs relatives (RlS=100).
a) 1990 **b)** 1991

et 9 feuilles, l'écart par rapport à RlS commence à diminuer et cela jusqu'à j45. A cette date, l'avantage de ELB n'est plus que de 7,3%. Les trois autres classes restent groupées et la diminution de l'écart par rapport à RlS est plus lente.

En 1991, les plantes issues des grains lourds de la base ELB sont en tête, dès le premier jour de mesure à j32. Mais l'avantage est maximal à j46 et atteint 16% par rapport RlS, et un peu plus par rapport aux grains plats des épis PlMS, dont la croissance a été très proche de RlS. Les grains lourds des épis mal fécondés ELMF suivent ELB. A j39 seulement, ils sont au même niveau que ELB. Or à cette date, il manque la mesure d'une répétition pour ELMF, ce qui entraîne une perte de précision de la moyenne de ce jour de mesure. Par la suite, les écarts entre ELB et RlS, et, ELB et PlMS de l'autre part, diminuent jusqu'à 7% environ, au stade 15 feuilles (j74), tandis que l'avantage de ELMF chute plus vite que celui de ELB.

La comparaison de moyennes permet d'établir des différences significatives lors des deux premiers jours de mesures, à j14 et j23 en 1990 (Tab.21a) et à j46 et j74 en 1991 (Tab.21b). Il est cependant intéressant d'étudier la distribution des répétitions par classe, pour comprendre les résultats des tests qui peuvent manquer de puissance. En 1991 à j23 (Fig.14a), on distingue 3 groupes ELB, les classes du milieu et RlS. A j45, les distributions sont plus proches les unes des autres, et seule RlS se détache encore un peu vers le bas (Fig.14b). En 1991 à j46 (Fig.15a), ELB et à un degré moindre ELMF sont au-dessus des autres. La classe RlS présente une amplitude plus grande, que les autres classes, qui était encore plus forte à j32, ce qui entraîne un recoupement avec les valeurs des autres classes. A j74, les distributions sont beaucoup plus rapprochées les unes des autres, ce qui indique un rattrapage entre classes (Fig.15b).

Quant à la forme de la semence, les deux classes du milieu, PmM et EmM qui se différencient par leur forme plate et épaisse seulement, ont présenté des niveaux de croissance très proches en 1990. En 1991, PmM et EmM sont très proches à j32, mais par la suite PmM présente un décrochage constant, sans rattrapage par la suite de la croissance qui devient inférieure à celle des grains légers RlS et PlMS. A 15 feuilles, PmM est même significativement inférieure à ELB (Tab.21b).

Les coefficients de corrélation entre les résultats de croissance, plante par plante et les caractéristiques des semences correspondantes ne sont pas élevés (annexe 4). En 1990, les valeurs les plus élevées ont été obtenues à j23 entre les hauteurs et le poids de semence (r=0,56), et le niveau d'insertion sur l'épi (r=0,53). En 1991, les valeurs calculées pour les quatres classes de semences issues d'épis normaux sont plus faibles (annexe 4). Les liaisons les plus étroites ont été trouvées à j46 avec le poids de semence (r=0,43) et le volume calculé (r=0,44).

Tab 21 : Comparaison des moyennes des hauteurs par classe.
a) 1990 **b)** 1991

a)

Classes	j14	j23	j30	j36	j45
ELB	b*	a	a	a	a
EmM	a	ab	a	a	a
PmM	a	ab	a	a	a
PlM	a	ab	a	a	a
RlS	b	b	a	a	a

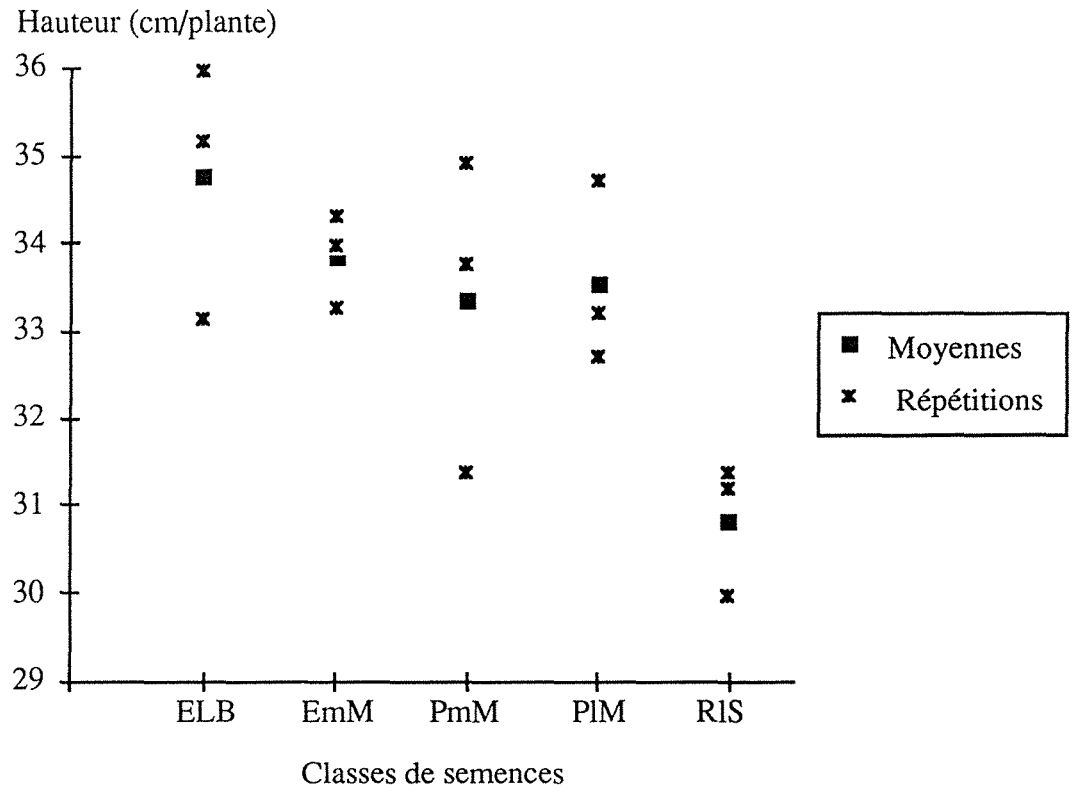
* Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil 5% (test Newman et Keuls)

b)

Classes	j32	j46	j54	j60	j67	j74
ELB	a*	a	a	a	a	a
EmM	a	bc	a	a	a	ab
PmM	a	bc	a	a	a	b
RlS	a	bc	a	a	a	ab
PlMS	a	c	a	a	a	ab
ELMF	a	ab	a	a	a	ab

* Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil 5% (test Newman et Keuls)

a)



b)

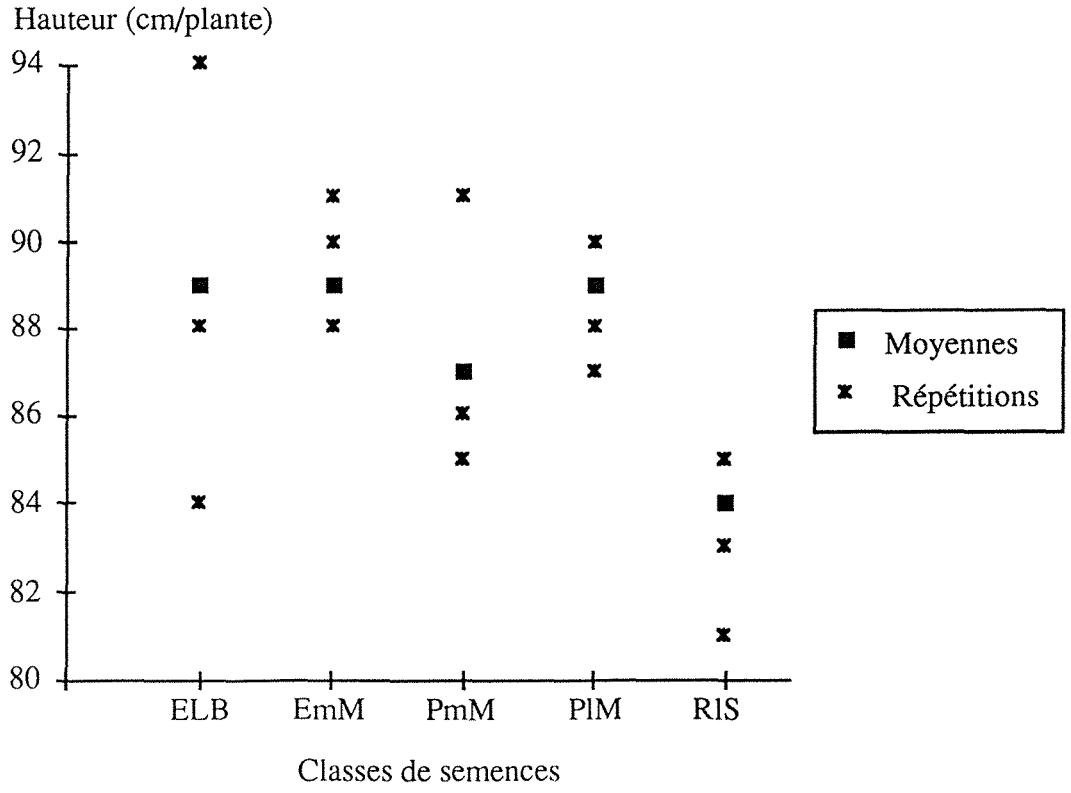
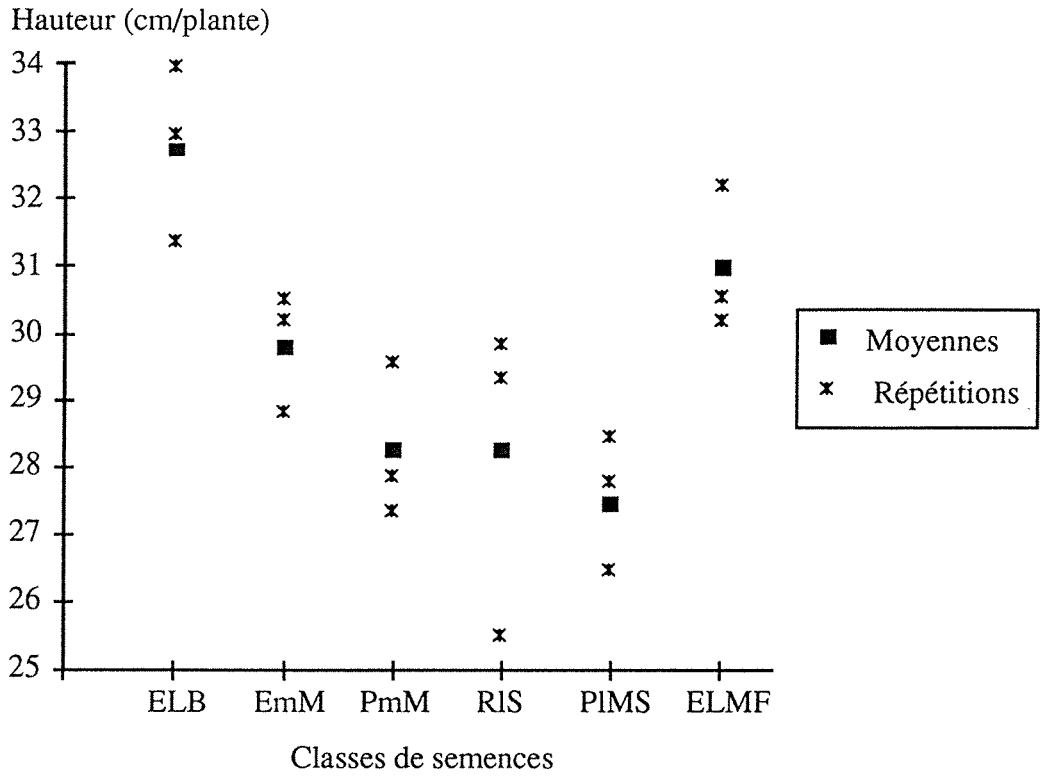


Fig.14 : Distributions des répétitions par classe pour la hauteur des plantes en 1990.
a) j23 **b)** j45

a)



b)

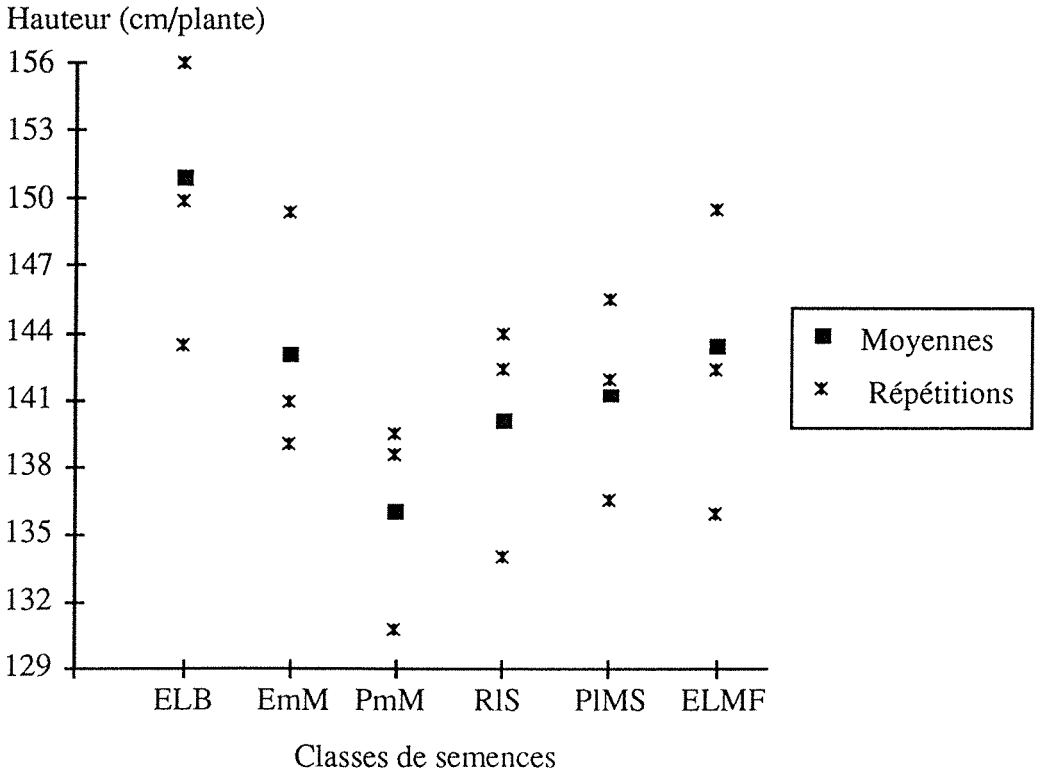


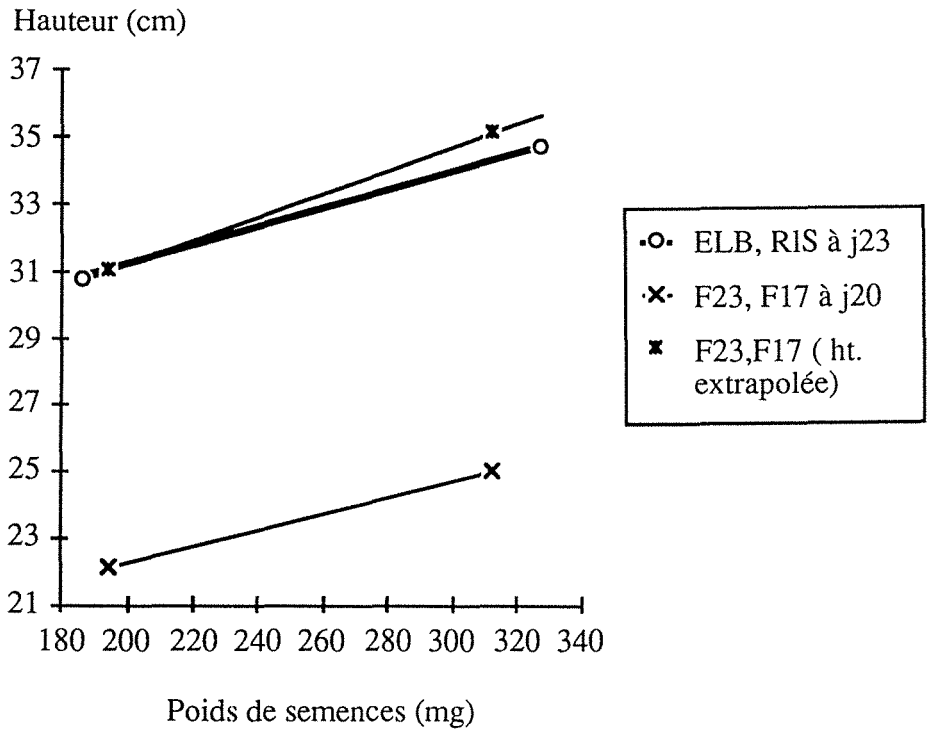
Fig.15 : Distributions des répétitions par classe pour la hauteur des plantes en 1991.
a) j46 **b)** j74

L'étude de la croissance des plantes issues des différentes classes de semences montre **que la forme plate ou ronde de la semence n'influe pas sur la croissance en hauteur**. En 1991, le décrochage progressif de la croissance, de même que le retard de stade foliaire pris par la classe PmM, qui s'accentue en avançant dans le cycle, à quoi s'ajoute un retard de floraison laissent supposer l'existence d'un problème particulier dû à un stress occasionné par le milieu. Le système racinaire a été peut-être endommagé au repiquage, ce qui a handicapé les plantules durant le printemps sec de 1991. Le comportement particulier des plantes de cette classe ne permet pas de conclure à un effet de la forme de la semence.

Les écarts observés entre les classes ELB, EmM et RlS peuvent être attribués au poids de la semence et seraient la conséquence de l'effet du poids de la semence sur la croissance hétérotrophe. Mais la position du grain sur l'épi varie aussi entre ces classes. La vigueur de la semence (définition p.28), qui influence aussi la croissance hétérotrophe (ABDUL-HAMID 1986) pourrait être liée à la position de l'épi. En effet les semences du sommet sont fécondées en dernier et peuvent donc présenter un retard de maturité à la récolte. Or la vigueur de la semence dépend du niveau de maturité à la récolte (KNITTLE et BURRIS 1976). Pour faire la part des effets de la taille de la semence et de la position sur l'épi et donc de la vigueur, nous avons comparé les différences de croissance en hauteur entre les classes ELB et RlS à celles entre les fractions de semences, étudiées dans la deuxième partie (cf. 2.5.3.), F23 et F17 en 1990 (F22.5 et F17.5 en 1991) qui ont des poids de grain proches de ELB et RlS respectivement. Les semences de ces fractions ne se différencient que par le poids et non par la vigueur (Tab.27 et 28). Les différences de hauteur observées en1990 entre F23 et F17, et, en 1991 entre F22.5 et F17.5 ont pu être attribuées à un effet de la taille de semence. Nous avons choisi les hauteurs de plantes pour ELB et RlS à des jours de mesure où les effets entre classes étaient les plus nets. Les hauteurs des plantes provenant des fractions, ont été choisies de sorte que les valeurs soient proches de celles des plantes appartenant aux classes.

En portant les données sur un graphique (Fig.16), et en extrapolant les hauteurs des fractions aux poids de semence des classes ELB et RlS, on constate qu'en 1991 (Fig.16b), la différence de hauteur entre ELB et RlS est supérieure à celle entre F22.5 et F17.5.. D'autre part, les plantes issues de RlS ont une hauteur inférieure à celle qu'elles devraient avoir, si seule la taille de semence intervenait (cas où les droites seraient parallèles). Ceci est probablement dû à une vigueur plus faible pour les semences légères du sommet de RlS, dont l'effet viendrait s'ajouter à celui de la taille. En 1990, Nous avons choisi les hauteurs de plantes appartenant à F23 et F17, à j20 qui sont les plus proches de celles des plantes de ELB et RlS. Or le rapport des hauteurs entre F23 et F17 est constant à j20 et au jour de mesure suivant, j35 (Fig. 29).

a)



b)

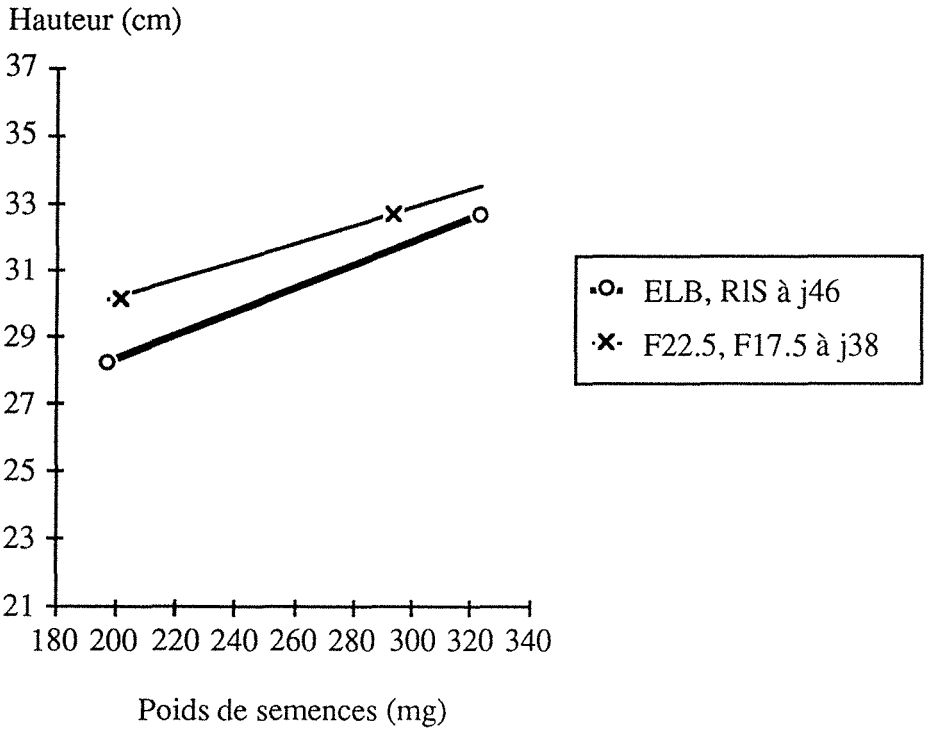


Fig.16 : Différences de hauteur entre classes ELB et RlS, et, entre fractions de semences F23 et F17 en 1990 (F22.5 et F17.5 en 1991).
a) 1990 **b)** 1991

Ceci nous a permis de translater les valeurs à j20 de F17 au niveau de RIS et de garder le même écart relatif pour F23 par rapport à F17. Dans ce cas, il apparaît que l'effet sur la hauteur est moindre pour les classes ELB et RIS que pour les fractions (Fig.16a). Ceci provient probablement du retard de levée de ELB qui s'est répercuté sur la hauteur à j14. Il est possible que ce retard soit dû à un défaut de vigueur des semences de ELB qui aurait influencé la croissance hétérotrophe. Cependant elles n'ont pas subi d'égrenage et de calibrage industriel, qui peuvent altérer la qualité germinative. Ce retard de levée pourrait aussi provenir simplement d'une imbibition plus lente, ce qui a été par ailleurs observé pour les grosses semences de F22.5 en 1991, lors de la réalisation du cold test (cf. 2ème partie II-1.3.). La forme irrégulière des semences de ELB est peut-être responsable d'un mauvais contact grain-substrat. **Si donc en 1990 il est difficile de distinguer l'effet sur la croissance de la taille de la semence et de sa position sur l'épi, en 1991 un effet de la position sur l'épi liée à la vigueur de la semence s'est probablement ajouté à celui de la taille de la semence.**

Mais quelle qu'en soit l'origine, ces écarts commencent à se réduire en valeurs relatives à la fin de la phase de croissance exponentielle et au début de la montaison. Cette diminution se poursuit au fur et à mesure que l'on avance dans le cycle, et se prolonge probablement jusqu'à la floraison. Ce rattrapage avait déjà été noté par HAWKINS et COOPER (1979), pour la biomasse aérienne.

Le désavantage des plantes issues de petites semences pour la hauteur en phase de croissance exponentielle, est légèrement accentué pour des grains venant d'épis aux semences en moyenne plus légères. D'autre part, l'avantage des plantes venant de grosses semences d'épis mal fécondés est moindre que pour celles issues de grains de même taille d'épis normaux. Il est possible que ces différences puissent venir de la vigueur des semences, qui serait plus faible sur les épis mal fécondés ou de poids de grain inférieur, suite à des conditions de remplissage du grain moins favorables, ou à un retard de maturité.

Les corrélations plante par plante entre les niveaux de croissance et les caractéristiques de la semence sont faibles. Pour la liaison la plus étroite (hauteur -poids de la semence), seulement 32% de la variance des hauteurs est expliqué. Il se peut que le repiquage ait créé une hétérogénéité au niveau des résultats des hauteurs, suite à un stress. Mais les écarts moyens trouvés entre classes sont proches de ceux observés dans des expérimentations sans repiquage. **En fait, après l'entrée en autotrophie, où la plante devient indépendante de la semence, les facteurs du milieu jouent un rôle prépondérant et, à travers les hétérogénéités de l'environnement de chaque plante, viennent effacer petit à petit les différences de croissance dues au poids de la semence.**

Tous ces résultats ont porté sur la hauteur des plantes qui est de moins en moins bien corrélée à la biomasse au fur et à mesure qu'on avance dans le cycle (POMMEL et FLEURY 1989). Cette étude devrait être reprise en prenant comme critère de croissance la biomasse.

2.3. Rendement en grain

Le rendement de la classe de référence RlS est de 121 q/ha (15% humidité) ramené à une densité de 90000 pl/ha, ce qui est élevé en situation non irriguée. Mais en raison du type d'essai et de dispositif, et, de la sélection des plantes, le rendement est surestimé et ne peut pas être comparé à des résultats de parcelle. De la figure 13b, il ressort qu'à la récolte la classe des grains issus d'épis "stressés" PlMS est en tête, pour le rendement en grain, avec un avantage de 8% par rapport aux grains de la classe de référence RlS, tandis que la classe d'épis "mal fécondés" ELMF, a un rendement inférieur de 5,3%. Les plantes issues de la classe ELB présentent un rendement supérieur de 4,8% par rapport à RlS. Les deux classes du milieu qui se différencient par la forme, EmM et PmM sont très proches de RlS. Le test de comparaison de moyennes ne révèle pas de différence significative. Mais si on considère les distributions des répétitions (Fig.17), les classes PlMS et ElMF se distinguent légèrement. Il y aurait donc un effet type d'épi sur le rendement, alors que la variabilité intra-épi de poids de semence et la position sur l'épi ne produiraient pas de différences de rendement. Pour les composantes de rendement, les écarts moyens sont faibles (Tab.22). La classe PlMS présente un nombre de grains par rang supérieur de 5% par rapport à RlS, ajouté à cela un nombre de grains par rang légèrement plus élevé, ce qui entraîne un nombre de grains par épi supérieur de 7,1% par rapport à RlS qui explique donc en grande partie la supériorité de rendement de cette classe.

Entre classes de semences provenant d'épis normaux, les écarts de rendement sont faibles, de même que pour les composantes du rendement. Il semble plutôt y avoir un effet du type d'épi, bien qu'aucune différence significative n'ait été trouvée. Il est à noter que les résultats de rendement et de chacune de ses composantes ne sont pas corrélés avec les caractéristiques de la semence, et le sont très faiblement avec les résultats de croissance. Or des effets dus aux caractéristiques de la semence ne peuvent se retrouver au niveau du rendement que si celui-ci est relié à la croissance végétative. Cependant, il manque un point de mesure à la floraison à un stade où le niveau de croissance peut influencer indirectement le rendement (RUGET 1989). Avant la floraison, nous avons observé une diminution des effets dus à la taille de la semence sur la croissance, diminution qui s'est probablement prolongée jusqu'à ce stade.

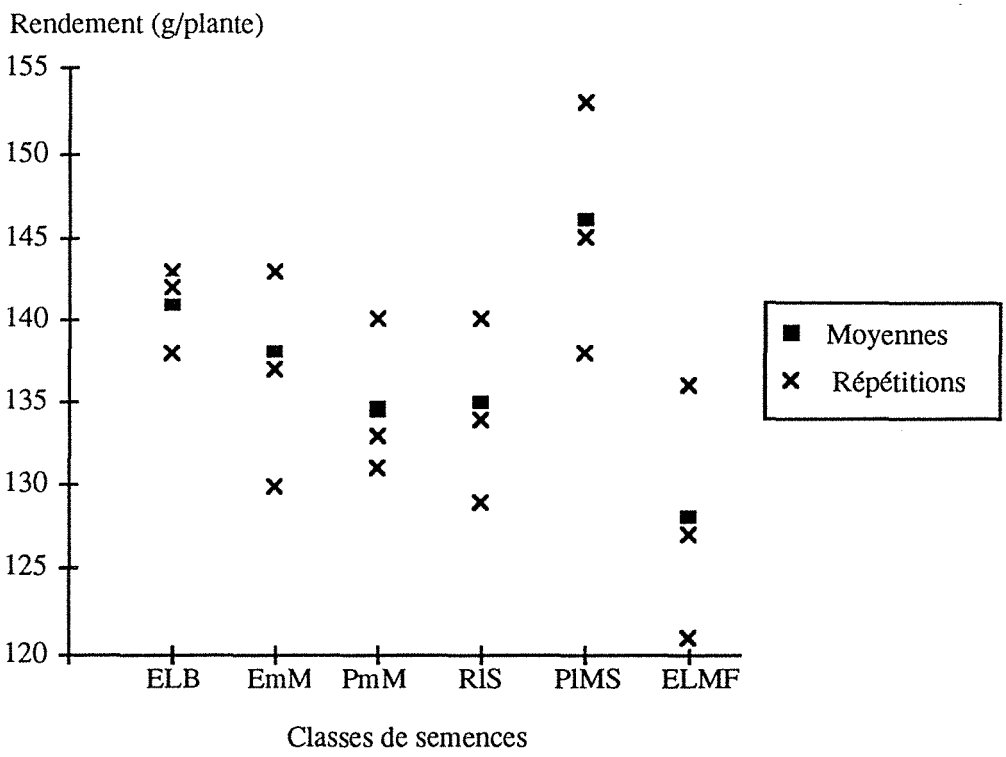


Fig.17 : Distribution des répétitions par classe pour le rendement en grain en 1991

Tab 22 : Rendement et composantes du rendement par classe de semences en1991.

Classes	Rendement (g/plante)	Nombre de rangs	Nombre de grains par rang	Poids 1000 grains (g)
ELB	141 a*	13,0	32,1	289
EmM	137 a	13,3	31,3	286
PmM	135 a	13,4	30,8	283
RlS	134 a	12,9	31,8	282
PlMS	145 a	13,6	32,3	287
ELMF	128 a	12,8	31,2	276

* Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil 5% (test Newman et Keuls)

Les écarts de rendement que nous avons observés, ne peuvent donc pas être reliés à la taille ou à la vigueur des semences qui peut varier avec le type d'épi. De même aucun effet de la forme plate ou ronde des semences n'a été observé.

III- CONCLUSION

L'étude de caractérisation de l'hétérogénéité morphologique au sein de l'épi a fourni des données quantitatives qui viennent confirmer les affirmations de certains auteurs, notamment celles concernant le poids de semence. La variabilité de ce critère est élevée. **Le poids du grain est lié à la position sur l'épi et plus précisément, à son niveau d'insertion.** Cette liaison qui peut être presque linéaire, s'explique par les conditions de développement et de remplissage qui varient le long de l'épi. En particulier interviennent la date de fécondation et la quantité d'assimilats disponible, pour laquelle un gradient s'installe du bas vers le haut de l'épi. Les dimensions du grain dépendent en premier lieu de l'espace disponible pour la croissance de l'ovule fécondé, qui détermine la direction prioritaire pour l'accroissement. Les conditions de remplissage liées au niveau d'insertion sur l'épi interviennent aussi, et déterminent le volume final calculé à partir des trois dimensions. La faible variabilité de la densité réelle qui découle de cette corrélation, est à noter, mais doit être confirmée sur des épis non séchés industriellement. Le poids de l'embryon présente aussi une forte variabilité étroitement liée au poids total du grain. Sa croissance n'est pas affectée pour les grains du milieu, par le manque d'espace disponible à l'origine de la compression et de la forme plate de ces semences.

En ce qui concerne l'hétérogénéité inter-épi, nos résultats sont indicatifs et ne peuvent être généralisés, en raison de l'échantillon non représentatif d'un lot d'usine. La forte variabilité de poids de grain entre épis, et la distribution des poids au sein de l'épi qui peut fluctuer, sont à noter.

Cette étude morphologique au sein de l'épi et entre épis devrait être poursuivie au niveau de **la qualité germinative, et de la vigueur** comme cela a été effectué sur le blé par CHAUSSAT (1975).

De l'étude au champ, il ressort que **la croissance, plus que le développement, est affectée par les caractéristiques des semences, le poids et la position sur l'épi essentiellement, et non par la forme ronde ou plate.** Cependant, aucune corrélation importante n'a pu être établie, plante par plante. En 1991, les effets sur la croissance

n'ont pas pu être entièrement expliqués par le seul poids. Le niveau d'insertion pourrait être relié à la vigueur de la semence, qui comme le poids de la semence influe sur la croissance hétérotrophe. De même, un léger effet lié au type d'épi d'origine a été observé, et peut aussi être expliqué par la vigueur plus faible pour des semences venant d'épis ayant subi un stress ou d'épis mal fécondés. Il serait donc important, dans ce genre d'étude, de caractériser aussi la vigueur de la semence. Une question cependant demeure: **existe-t-il des interactions entre la taille de la semence et la vigueur de la semence, au niveau de la croissance hétérotrophe et de la suite du cycle ?**

Ces effets de la taille et de la vigueur sont le plus marqués à la fin de la phase de croissance exponentielle et diminuent en valeurs relatives, à partir de la phase de montaison. Ces résultats doivent être confirmés sur la biomasse. Les écarts de rendement en grain observés n'ont pu être attribués à un effet des caractéristiques semencières. Les résultats de rendement portent seulement sur une année et doivent être répétés.

Au vu de ces premiers résultats, il ne semble pas nécessaire d'utiliser préférentiellement ou d'éliminer des grains d'une certaine taille et d'une certaine forme, issus d'une zone de l'épi donnée, dans de bonnes conditions de levée au moins. Dans le cas de l'utilisation de semences soumises à un traitement industriel, cette conclusion pourrait être modifiée si la qualité germinative était affectée.

DEUXIEME PARTIE : ETUDE A PARTIR D'UN LOT BRUT DE SEMENCES

Cette étude porte sur les effets sur le comportement des plantes au champ de la taille et de la forme des semences, définies par un calibre, ou une fraction (de calibrage), issus du tri d'un lot brut de semences. Celui-ci a été formé à partir d'un certain nombre d'épis semences. Plus précisément nous chercherons à voir si l'effet de la taille de la semence sur la croissance hétérotrophe se répercute dans la suite du cycle sur la croissance et le développement, et, à la récolte sur le rendement en grain. Nous ne distinguerons plus la variabilité inter-épi et intra-épi. Les critères morphologiques retenus sont ceux utilisés par les industriels, et correspondent aux critères utilisés pour les lots commerciaux.

I- MATERIEL ET METHODES

Les lots sont formés à partir d'épis prélevés à la sortie du séchoir d'une usine de Pioneer France Maïs, et égrenés manuellement. 180 épis en 1990, 350 épis environ en 1991 et 1992 ont servi à la constitution de ces lots. Pour une année donnée, ils provenaient d'un même secteur de production. Les épis présentant des problèmes sanitaires, ou douteux au niveau de la pureté variétale, ont été éliminés. Il est à noter que les épis n'ont pas subi de contraintes mécaniques dues à l'égrenage et au calibrage industriel. En effet, c'est au cours de ces deux phases du conditionnement (SPITTEL et al 1985), que les semences subissent le plus de chocs et voient leur qualité s'altérer.

1. Séparation en fraction

Le calibrage est effectué avec des grilles de laboratoire utilisées par les industriels pour tester les lots, et décider des calibres. Ces grilles sont fabriquées aux USA. Elles sont insérées dans des cadres en bois et se superposent. Elles sont numérotées de 16 à 23 par 1/2, auxquelles s'ajoute la grille 24. Cette numérotation est à l'origine du terme"1/2 grille", couramment utilisée par les semenciers. En fait, ce numéro donne le diamètre des trous ronds de ces grilles, diamètre exprimé en 1/64ème de pouce (1 pouce = 25,4 mm). Ainsi l'écart entre deux grilles successives est de :
0,5/64 * 25,4 = 0,2 mm.

Pour la séparation des grains plats et ronds, une grille à trous allongés, de largeur variable est utilisée. Le numéro de ces grilles donne la largeur des trous. Des grilles de 13 1/2 ou 14 sont couramment utilisées, et dans notre cas ce sera la 13 1/2. La largeur des trous de cette grille est de 5,4 mm (cf. I-2.).

En 1990, nous avons secoué les grilles manuellement en veillant à perdre le moins de semences possible et en arrêtant quand aucun grain ne passait plus. Mais cette technique de secouage n'apportait pas l'homogénéité escomptée. En 1991 et 1992, les grilles ont été placées sur un vibreur muni d'une minuterie, ce qui a permis de standardiser la séparation. A chaque passage, 1 à 1,5 kg de semences pouvaient être calibrés.

Dans un premier temps, nous avons effectué 2 ou 3 calibrages avec l'ensemble des grilles de 16 1/2 à 24. L'ensemble des semences retenues par chaque grille a été pesé pour connaître la quantité de semences retenues par celle-ci. De même, nous avons pour chacune d'elle déterminé le poids de 100 grains, qui nous donne une estimation de la taille réelle des semences.

En fonction de ces données et des quantités de semences nécessaires pour toute l'étude, nous avons décidé de former des fractions, composées des grains retenus par 2 grilles successives. L'idéal aurait été de se limiter à une grille seulement. Ces fractions sont plus étroites que celles de GRAVEN et CARTER (1990), qui comprenaient 4 à 6 grilles consécutives. Par la suite nous noterons les fractions par le numéro de la grille inférieure.

1.1. Année 1990

5 fractions ont été constituées :

F23 : semences retenues par les grilles 23 et 24
F20 : semences retenues par les grilles 20 et 20 1/2, (et passées par la grille 21)
F19 : semences retenues par les grilles 19 et 19 1/2
F18 : semences retenues par les grilles 18 et 18 1/2
F17 : semences retenues par les grilles 17 et 17 1/2

Aucune séparation n'a été faite en 1990 quant à la forme ronde ou plate. Chaque fraction comprenait donc une certaine quantité de semences rondes. Nous nous sommes intéressés uniquement à la taille de la semence. Les 4 fractions inférieures sont composées de grilles successives, ce qui nous permettra de déceler un éventuel seuil.

1.2. Année 1991

5 fractions ont été formées, dont 2 séparées dans un second temps, en semences plates et rondes avec la grille 13 1/2. Nous avions donc 7 fractions au total :

F22.5 : semences retenues par les grilles 22 1/2 et 23
F20.5R : semences rondes retenues par les grilles 20 1/2 et 21,
(et passées par la grille 21 1/2)
F20.5P : semences plates retenues par les grilles 20 1/2 et 21,
(et passées par la grille 21 1/2)
F19.5R : semences rondes retenues par les grilles 19 1/2 et 20
F19.5P : semences plates retenues par les grilles 19 1/2 et 20
F18.5 : semences retenues par les grilles 18 1/2 et 19
F17.5 : semences retenues par les griles 17 1/2 et 18

Pour l'étude de la taille de la semence, nous avons repris des fractions analogues. Les fractions supérieures et inférieures ont été décalées d'une grille en raison des faibles quantités de semences, sur les grilles 17 et 24. De même, nous avons séparé les fractions du milieu, en semences plates et rondes, en raison des plus grandes quantités de semences retenues sur ces grilles. En plus de ces 7 fractions, nous avons inclu 3 lots commerciaux. Il s'agit d'un **FM4** (gros calibre) et de deux **FM6** (petit calibre), dont un noté **FM61** présentant une qualité germinative inférieure à l'autre **FM64**. Ces calibres sont constitués à partir d'un plus grand nombre de grilles. **FM4** et **FM64** constituent en quelque sorte des témoins. L'introduction de **FM61** permettra de tester un éventuel effet du pouvoir germinatif sur le comportement au champ des plantes.

1.3. Année 1992

Le choix des grilles a été analogue à celui de 1991. A l'exception de la fraction supérieure, nous avons décalé toutes les grilles vers le bas, pour conserver des poids de semences par fraction proches de ceux de 1991. Nous avions donc les fractions suivantes:

F22.5 : semences retenues par les grilles 22 1/2 et 23
F20R : semences rondes retenues par les grilles 20 et 20 1/2,
(et passées par la grile 21)
F20P : semences plates retenues par les grilles 20 et 20 1/2,
(et passées par la grille 21)
F19R : semences rondes retenues par les grilles 19 et 19 1/2
F19P : semences plates retenues par les grilles 19 et 19 1/2
F18 : semences retenues par les grilles 18 et 18 1/2.
F17 : semences retenues par les grilles 17 et 17 1/2

A ces 7 fractions, ont été ajoutés deux lots commerciaux, un **FM4** et un **FM6**.

2. Caractérisation des fractions

Avant de comparer le comportement des plantes issues de ces fractions de semences, il est important de caractériser ces fractions. Cette caractérisation portera sur deux niveaux, morphologique et qualitatif. La formation des fractions résulte d'un tri sur la taille ou la forme des semences. Ces grandeurs ont été définies indirectement par la taille des trous des grilles donnant le calibre. Nous rechercherons donc à relier ce critère à des caractéristiques propres des semences, comme leur poids. D'autre part, il est important de connaître la variabilité morphologique à l'intérieur des fractions. Cela nous permettra de juger de l'efficacité du tri.

2.1. Liaisons calibre-caractéristiques de la semence

Pour relier le calibre défini par la taille des trous des grilles ou donnée par le numéro de grille, aux caractéristiques propres de la semence, nous avons fait passer des semences de l'étude grain à grain de 1991 par les grilles à trous ronds dans un premier temps comme lors du calibrage en laboratoire. Puis nous avons effectué une séparation en grain ronds et plats à l'aide de la grille 13 1/2 à trous rectangulaires. Pour chacune des semences identifiées et caractérisées comme décrit dans la première partie (I-1.1. et 1.2.), nous avons noté le numéro de la grille à trou rond la retenant et sa forme, plate ou ronde. L'étude a porté sur 10 épis normalement fécondés et 3 épis mal fécondés. Nous avons utilisé les grains de 3 rangs de chaque épi, sauf pour 2 épis pour lesquels nous n'avions que les grains de 2 ou 1 rangs.

2.2. Caractérisation morphologique

Chaque année, nous avons pesé individuellement 90 semences par fraction, sur une balance de précision ($\pm 10^{-4}$ g). En 1990 et 1992, l'humidité a été contrôlée grain par grain sur 20 semences de chaque fraction, et comme cela a déjà été évoqué dans la 1ère partie (cf. I-1.2.), nous utiliserons le poids frais.

Pour 1990 et 1992, nous avons aussi déterminé grain par grain, le volume et le poids de l'embryon de 20 semences, pour chaque fraction. Les méthodes utilisées sont identiques à celles utilisées dans la 1ère partie (cf. I-1.3.). Ces grandeurs nous permettent de définir de manière plus précise, la taille de la semence à l'intérieur de chaque fraction, et de contrôler la densité réelle.

2.3. Qualité semencière

En premier lieu, la qualité influe sur le comportement germinatif, sur la levée et l'implantation du peuplement. Par la suite, la vigueur qui est intégrée dans cette notion de qualité, intervient au niveau de la croissance hétérotrophe, et affecte la vitesse de consommation des réserves (ABDUL-HAMID 1986). En cas de variabilité de la vigueur entre fractions, une interaction avec la taille des semences notamment, pourrait intervenir.

Pour estimer la qualité germinative, nous emploierons un test de germination à 18°C et un test au froid (cold test) dont les protocoles sont données en annexe 5 et déterminent respectivement la germination et la vigueur germinative. Le choix s'est porté sur ces tests pour des raisons d'ordre pratique, et de disponibilité en matériel pour la réalisation de ces tests. Notons aussi que le second test est couramment utilisé en industrie (TEKRONY et EGLI 1991) alors que le premier remplace le test standard (7 jours à 25°C sur buvard).

La fiabilité de ces tests quant à la prévision de la levée au champ a été discutée par plusieurs auteurs (BURRIS 1976, BURRIS et NAVRATIL 1979, BURRIS et al. 1985, et BARLOY 1984). Si le test de germination standard ne donne une bonne précision de la levée qu'en conditions favorables, il existe une assez bonne correspondance entre le test au froid et la levée (BARLOY 1973 dans ABDUL-HAMID 1986). Mais cette corrélation dépend du protocole utilisé (BURRIS et NAVRATIL 1979). L'absence de sol dans le protocole permettrait une meilleure liaison avec la levée au champ et éviterait la confusion des deux facteurs, la température et les pathogènes du sol. Cependant dans ce type de test sans substrat naturel, l'effet des pathogènes ne serait pas pris en compte, effet qui révèle la perte de qualité de semences dont le péricarpe est endommagé (VAN DE VENTER et LOCK 1991).

3. Comparaison des fractions au champ

Les fractions de semences formées à partir du calibrage du lot brut sont semées au champ, en microparcelles. Cela nous permettra de comparer la croissance, le développement et le rendement de plantes issues des différentes fractions. La question à la base de cette partie de l'étude est l'effet de la taille ou de la forme des semences, sur le comportement au champ du maïs, en conditions de culture standards. Plus précisement, nous porterons notre attention sur les conséquences de cet effet au cours du cycle.

Cette étude a été conduite sur 3 années, de 1990 à 1992. Les modalités de la première année ont été un peu différentes des deux années suivantes. Tous les essais comprenaient un dispositif en blocs aléatoires complets à 3 répétitions.

3.1. Année 1990

3.1.1. Le dispositif

En 1990, nous avons travaillé sur un seul site, au domaine expérimental de l'I.N.R.A de Colmar, sur un sol de type limon argileux (21% argile, 69% limon, 1,7% M.O.), avec une tendance à la battance. Le dispositif comprenait des microparcelles de 5 m de long, séparées par des allées de 80 cm. L'écartement entre rangs était de 75 cm.

L'essai éclairci a été semé à la densité de 120 000 plantes/ha environ, avec des parcelles de 12 rangs. En plus des 2 rangs de bordure, 2 rangs ont été destinés à la récolte, 2 autres rangs à un suivi plante à plante et enfin 5 pour des prélèvements. Ceux-ci ont été séparés des autres par 1 rang de bordure.

L'essai non éclairci a été semé à la densité de 90 000 plantes/ha environ, avec des parcelles de 4 rangs.

3.1.2. Mise en place

La conduite des essais a été résumée en annexe 6a, et correspond à un itinéraire technique standard.

Les essais ont été semés le 3 mai dans des conditions chaudes et sèches, avec un semoir pneumatique à essai, mis au point par des techniciens de l'I.N.R.A.. Les conditions chaudes et sèches de cette période ont nécessité un recours à l'irrigation pour éviter des problèmes de levée. Ainsi 20 mm d'eau environ ont été apportés au

lendemain du semis. Le matériel d'irrigation était du type couverture totale avec asperseurs, ce qui n'a pas permis de répartir cette quantité d'eau de manière homogène.

Les rangs du suivi plante à plante ont été éclaircis à 90 000 plantes/ha, au stade 7 feuilles. Ceux des rangs de prélèvements l'ont été après l'arrêt des mesures de matière sèche vers 8 feuilles. Celles-ci ont été effectuées jusqu'à un stade où la concurrence entre plantes est restée faible. La densité un peu plus élevée sur ces rangs a probablement peu influé sur les résultats.

3.1.3. Mesures

Sur les rangs pour le suivi et les prélèvements, un repère indiquant la date de levée, a été posé à côté de chaque plante. Cela nous a permis de sélectionner sur les rangs du suivi plante à plante, 10 plantes par fraction et bloc, d'aspect normal, du 2ème et 3ème jour de levée. Les dates de levée entre fractions variaient donc faiblement La hauteur des plantes (mesurée avec les feuilles étirées verticalement), ainsi que le nombre de feuilles visibles ont été notés à trois reprises.

En raison d'un retard de levée de certains rangs de prélèvements, nous n'avons pas pu respecter l'échantillonnage de 3*10 plantes. Dans un premier temps, nous avons décidé de prélever 20 plantes, sur 8 rangs avec 2 ou 3 plantes par rang, sans tenir compte des blocs. Mais cela était difficilement compatible avec un traitement statistique. Pour l'analyse, nous avons replacé les plantes dans chaque bloc, ce qui a entrainé des effectifs inégaux par blocs :

- Bloc n°1 : 3 ou 2 plantes (au 2ème prélèvement à 15 jours après semis)
- Bloc n°2 : 13 ou 12 plantes (au 2ème prélèvement)
- Bloc n°3 : 4 ou 6 (au 2ème prélèvement)

Les prélèvements ont été effectués en progressant le long des rangs, tous les 3 ou 4 jours, entre le 12ème et le 29ème jour, entre les stades 3 à 8 feuilles, qui correspondent à la phase de croissance exponentielle.

La date de levée a été notée par le repère placé près de chaque plante. Nous avons enregistré le nombre de feuilles visibles, déterminé la matière sèche des parties aériennes et de la semence, après séparation au niveau du nœud scutellaire. Le séchage s'est fait à l'étuve à 80°C pendant 48h au moins.

Le nombre de racines par entre-nœud a été aussi relevé, en reprenant la numérotation des entre-nœuds de GIRARDIN et al. (1986).

L'essai éclairci a été abandonné suite à une levée hétérogène et à un violent orage de grêle (50 mm), qui a lacéré les feuilles. Nous avons ainsi été obligés d'arrêter toute l'étude, car les dégâts sur les plantes étaient trop importants. Pour 1990, les résultats ne porteront donc que sur la phase exponentielle et le début de la montaison.

3.2. Années 1991 et 1992

3.2.1. Le dispositif

En 1991 comme en 1992 les essais ont été mis en place à Colmar au domaine de l'I.N.R.A, sur le même type de sol qu'en 1990, et à Ostheim à 15 km au nord de Colmar, chez un agriculteur.

Pour ce second site, les parcelles de 1991 et 1992 étaient très proches, avec un sol argileux (près de 48% argile, 45% de limon et 4,5% M.O.) à tendance hydromorphe. La nappe phréatique était relativement proche de la surface. Ce type de sol est peu sensible au tassement et présente aussi une couleur sombre. Les possibilités d'inondation en hiver (février 1990) ou au printemps peuvent retarder le réchauffement.

Tous les dispositifs comprenaient des microparcelles de 5,20 m de longueur, séparées par des allées de 80 cm. L'écartement entre rangs, était pour ces deux années, de 80 cm, en raison du semoir utilisé.

En 1991 et 1992, 2 essais ont été mis en place sur chaque site :

– l'essai non éclairci a été semé à 90 000 plantes/ha avec des microparcelles de 12 rangs (8 en 1992). L'affectation des rangs a été la même qu'en 1990 sur l'essai éclairci. Pour éviter des problèmes liés à l'éclaircissage, nous avons suivi la croissance et le développement sur l'essai non éclairci. En 1992, nous n'avons affecté initialement que 2 rangs aux prélèvements. Avec l'abandon du suivi plante à plante, en raison d'une levée très groupée, nous avons utilisé un troisième rang pour les prélèvements.

– l'essai éclairci a été semé à 180 000 plantes/ha avec des microparcelles de 2 rangs, que nous avons entouré de bordures et semé dans les mêmes conditions que le non éclairci. Le semis à double densité permet de faciliter l'éclaircissage (1 plante sur 2 enlevée en moyenne).

3.2.2. Mise en place

Sur la parcelle de Colmar les travaux de préparation ont été effectués par le service expérimental de l'I.N.R.A.. A Ostheim, un agriculteur (le même pour 1991 et 1992) s'en est chargé. Les itinéraires techniques, résumés en annexes 6 et 7, n'ont donc pas été totalement identiques, mais sont néanmoins restés dans les normes. Seul le semis a été réalisé par une équipe de Pioneer France Maïs, sur les 2 sites et dans des conditions analogues.

Le semis a été effectué le 29 avril en 1991 et 1992, le même jour sur les deux sites, avec un semoir pneumatique de précision, prévu pour les essais. En 1992, les conditions d'humidité ont été limites à Colmar, suite à une période pluvieuse en avril. En 1991 et 1992, le semis a été suivi d'une précipitation conséquente (>5 mm). Il n'a pas été nécessaire d'irriguer au démarrage. Par la suite nous n'avons pas non plus irrigué. L'éclaircissage a été réalisé sur 2 jours, au stade 6-7 feuilles en 1991 et à 5 feuilles en 1992. La récolte s'est faite manuellement, à maturité. Les épis, après séparation des spathes, ont été séchés à l'air libre sous abri, et égrenés mécaniquement.

3.2.3. Mesures

Chaque plante levée a été repérée par un bâtonnet en bambou (diamètre 4-5 mm) marqué d'une couleur correspondant au jour de levée. Ceci nous a permis d'effectuer par la suite des comptages sur les rangs.

En 1991, nous avons à nouveau sélectionné par fraction et répétition sur les rangs du suivi, 10 plantes levées les 3 premiers jours à Colmar et les 2 premiers jours à Ostheim. Des mesures de la hauteur et des notations de stade ont été effectuées une fois par semaine entre les stades 5 et 13 feuilles à Colmar, c'est-à-dire en phase exponentielle et en première partie de la montaison, et à Ostheim aux stades 7 et 14 feuilles. La date de floraison femelle a aussi été notée, plante par plante. La récolte s'est effectuée de manière analogue à celle de l'étude grain à grain, avec détermination des composantes du rendement. En 1992, nous avons décidé d'abandonner le suivi plante à plante.

En 1991 et 1992, 4 prélèvements ont été effectués sur chaque site, aux différentes phases du cycle avant floraison, sortie hétérotrophie, phase de croissance exponentielle, montaison et floraison. A Colmar en 1991, des prélèvements tous les 3 ou 4 jours ont été ajoutés entre les stades 4 et 8 feuilles, pour les fractions F22.5, F20.5P, F19.5R et F17.5. Nous avons prélevé les plantes en progressant le long du

rang. Le prélèvement 1991 à la floraison a porté sur des plantes marquées et s'est effectué le jour de la floraison de chaque plante. En 1992 nous avons prélevé toutes les plantes le même jour, au moment de la floraison femelle. La date de levée, le nombre de feuilles visibles ont été notés et la matière sèche déterminée après séchage à l'étuve à 80°C pendant 48h au moins. En 1992, en raison du volume de matière végétale à traiter, pour les deux derniers prélèvements, nous avons effectué un sous-échantillonage après broyage et déterminé le taux d'humidité sur ce sous-échantillon. La profondeur de semis a été contrôlée sur des plantules du premier prélèvement en 1991 et 1992 et pour un deuxième en 1991. Elle a été mesurée entre une marque indiquant la surface de sol et la base de la semence.

En 1991, des comptages de racines par entre-nœud ont aussi été effectués sur F22.5, F20.5P, F19.5R et F17.5, à 8 feuilles sur un prélèvement et sur les plantes du suivi à la récolte pour les fractions extrêmes F22.5 et F17.5.

Pour les rangs récoltés, nous avons pu déterminer la date de levée moyenne par comptage des bâtonnets repères. La date de 50% de floraison a aussi été notée. La récolte s'est faite manuellement. Les épis ont subi le même traitement que pour l'essai "suivi plante à plante" et ont été stockés dans les mêmes conditions. Avant égrenage, le nombre d'épis anormaux (mal fécondés, petits, parasités) a été relevé. Sur 10 épis normaux, nous avons compté le nombre de rangs et de grains par rang. Le poids de 1000 grains (effectué sur 100 grains) et l'humidité ont été déterminés sur un échantillon, ce qui nous a permis de ramener les rendements aux normes (15% humidité).

II. RESULTATS

1. Caractérisation des fractions

1.1. Liaisons calibre-caractéristiques semencières

1.1.1. Calibre et taille de semence

Le calibre donné par le numéro de grille, est corrélé significativement avec le poids de la semence (Tab.23). Cependant pour un calibre donné, la variabilité de poids est importante et présente une amplitude de plus de 100 mg dans la majorité des cas (Fig.18). Au niveau de l'épi, il existe aussi une liaison négative entre le calibre et le niveau d'insertion plus ou moins lâche selon les épis (r compris entre -0,53 et -0,87). Sur l'épi n°5 de même type que l'épi n°1 (cf. 1ère partie II-1.2.), cette liaison est presque linéaire. Ainsi à la base de l'épi, se trouvent les grains de gros calibres et au sommet ceux des petits (Fig.19). La liaison la plus étroite a été observée entre le calibre et la largeur de la semence. Elle est plus intense pour les grains plats que pour les grains ronds, avec près de 92% de la variance expliquée pour les premiers. Plusieurs régressions simples et multiples ont été testées, en particulier, celle avec la grandeur $(l^2+e^2)^{1/2}$ qui provient de la relation (2) de l'étude bibliographique. Pour les grains plats, l'introduction d'autres variables à la suite de la largeur n'apporte pas une plus grande précision, estimée par la variance résiduelle (Tab.24). En particulier, pour la longueur, les coefficients de régression ne sont pas significatifs. Pour les grains épais, la meilleure liaison est celle comprenant les trois variables explicatives, largeur, épaisseur, et longueur. Dans le cas où on élimine les données, pour lesquelles l'ordre décroissant longueur > largeur > épaisseur n'est pas respecté (16% des cas), l'introduction de la longueur ne permet qu'un faible gain de précision. Si le calibre peut dépendre des trois dimensions, la liaison avec le volume calculé à partir du produit des trois, est faible (Tab.23).

Pour les grains plats, la liaison entre la largeur et le calibre est très étroite. L'épaisseur n'a qu'une faible influence sur la détermination du calibre, et en tout cas, la relation (2) de l'étude bibliographique n'est pas vérifiée, pour cette forme de grain. Les grains plats pour traverser, doivent se présenter avec la surface la plus petite, qui dans notre cas est déterminée pour 99,8% des grains plats par la largeur et l'épaisseur. Il est probable que les bords arrondis de ces grains font que l'épaisseur, c'est-à-dire la plus petite des deux dimensions, ne limite pas le passage, et que donc, seule la largeur détermine le passage ou non par les trous des grilles.

Tab.23 : Coefficient de corrélation entre calibre et plusieurs caractéristiques de la semence.

Liaisons	r
cal-niv	-0,63*
cal-poids	0,78*
cal-lar	0,92*
cal-lar (gr. plats)	0,96*
cal-lar (gr. ronds)	0,86*
cal-volca	0,73*

* significatif à 5%

cal : calibre **lar** : largeur du grain **volca** : volume calculé du grain

Tab.24 : Variance résiduelle de corrélations multiples entre calibre et plusieurs caractéristiques de la semence.

Variables explicatives	variance résiduelle	
	gr. plats	gr. ronds
lar	0,284	0,781
lar, epai	0,275	0,690
lar, lon	0,283	0,719
lar, lon, epai	0,274	0,555
((lar)2+(epai)2)1/2	0,688	1,088

cal : calibre **lar** : largeur du grain
epai : épaisseur du grain **lon** : longueur du grain

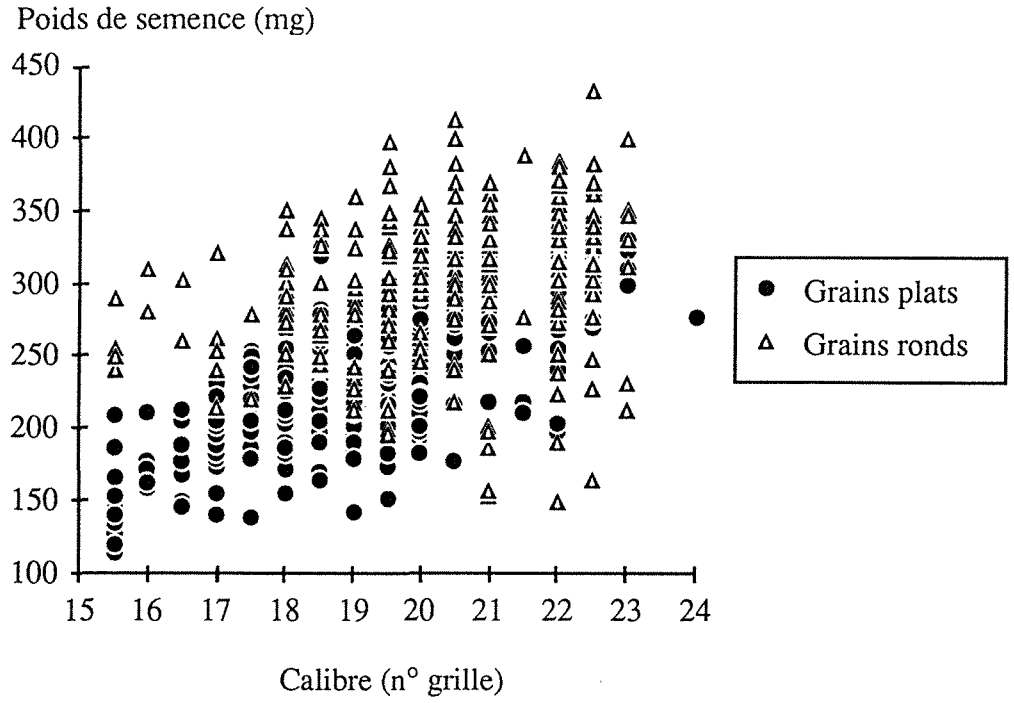


Fig.18 : Calibre et poids de la semence sur l'épi par forme de grain (13 épis de 1991).

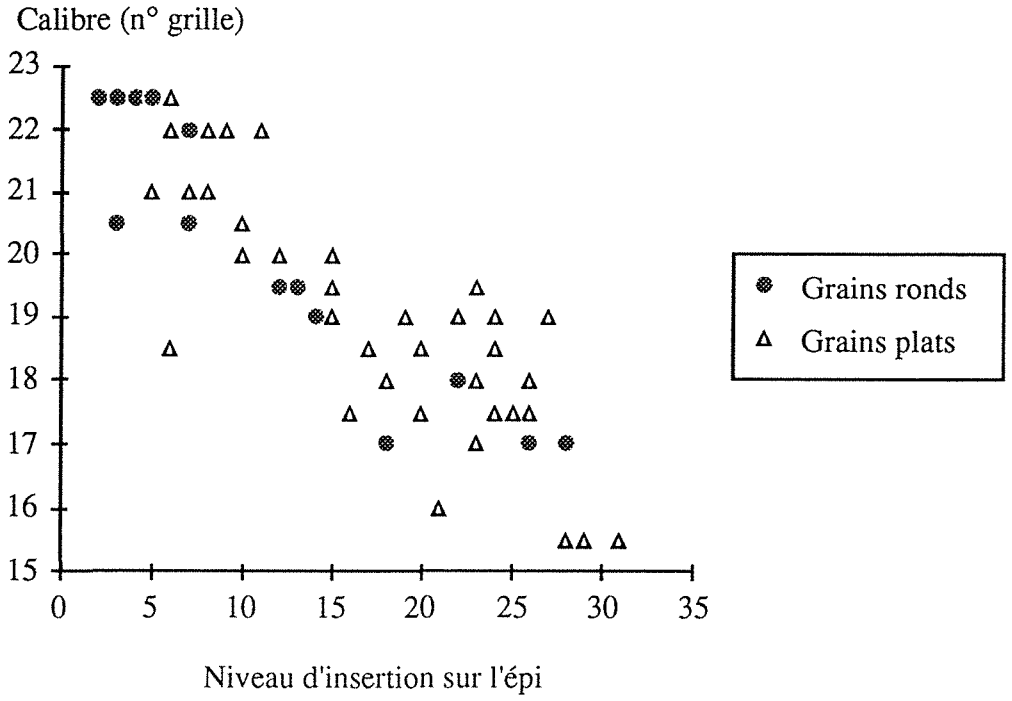


Fig.19 : Calibre et niveau d'insertion de la semence sur l'épi par forme de grain (épi n°5 1991).

Les grains ronds ou épais présentent une forme beaucoup plus variable, ce qui fait que les liaisons étudiées sont moins précises et varient selon la forme réelle du grain. En fonction de celle-ci, le calibre peut dépendre, soit d'une dimension si la semence est sphérique, ou de deux qui peuvent être la largeur et l'épaisseur ou encore la longueur et de l'épaisseur, si celle-ci est intermédiaire (cas observé pour 8% des semences). Dans le cas de forme irrégulière (Fig.3c droite), les semences peuvent traverser sous un plan oblique et les trois dimensions interviennent alors. Cette multiplicité des liaisons avait été prévue dans l'étude bibliographique (cf. I-3.2.). Ceci permet aussi d'expliquer la variabilité des poids de semence retenue par une grille donnée. En effet les grains plats de longueur (et à moindre degré d'épaisseur variable) et donc aussi de volume et de poids différents, seront retenus par une grille donnée.

1.1.2. Calibre et forme de la semence

5,5% des grains plats et 95% des grains ronds ont une épaisseur supérieure à 5,4 mm (Tab.25). Il existe donc une valeur limite pour l'épaisseur qui permet de séparer grains plats et ronds, avec un "risque" d'environ 5%. Cette valeur de l'épaisseur correspond à la largeur des trous de la grille 13 1/2 utilisée pour la séparation. La précision des mesures au pied à coulisse qu'on peut estimer à 0,1 mm, autorise d'abaisser ou d'augmenter la valeur limite, dans les mêmes proportions. Ainsi, 4,5% seulement des semences plates ont une épaisseur supérieure à 5,5 mm et 98,4% des grains épais ont une épaisseur supérieure ou égale à 5,3 mm. Contrairement à l'épaisseur, il existe un recoupement important entre grains plats et ronds pour les deux coefficients de sphéricité CS3 et CS2.

La séparation entre grains épais et plats s'effectue sur l'épaisseur, comme supposé dans l'étude bibliographique (cf. I-3.1.), avec une correspondance entre la valeur limite de séparation mesurée et la taille des trous des grilles. Cependant, quelques grains d'épaisseur plus grande, peuvent se retrouver parmi les plats. Ceci peut provenir de leur forme particulière (comme par exemple le grain de droite de la figure 3c), qui permet le passage sous un certain plan oblique. D'autre part, quelques grains de faible épaisseur peuvent ne pas traverser la grille, s'ils ne se présentent pas selon le bon plan face au trou. L'utilisation des coefficients de sphéricité ne permet pas de séparer globalement toute taille confondue, des semences plates ou rondes. POMMERANZ et al. (1985) n'ont donné que des valeurs moyennes et des coefficients de variation par fraction de ce coefficient, sans préciser l'importance des recoupements entre classes de forme.

Tab.25 : Recoupement entre grains plats et ronds (% par forme de grain) de l'épaisseur (epai) et des coefficients de sphérécité (CS3, CS2).

	Intervalle de Recoupement (I)	grains dans I	
		% gr. plats	% gr. ronds
epai	>5,4	5,5	94,9
CS3	[0,73 ; 0,82]	36,7	48,0
CS2	[0,77 ; 0,86]	47,3	24,6

1.2. Caractérisation des fractions

Entre fractions et à l'intérieur de chacune d'elles, l'humidité du grain varie faiblement, avec des coefficients de variation par fraction qui ne dépassent pas 3,6% (Tab.26). Entre les fractions que nous avons formées, l'amplitude des moyennes est de 0,3% en 1990 et de 0,63% en 1992. Seuls les lots commerciaux présentent une humidité supérieure (10,1% au lieu de 9,2% pour les fractions). Le fait d'exprimer les valeurs en poids frais n'engendre donc qu'une faible erreur.

Le poids moyen des semences par fraction suit l'ordre de taille des trous des grilles (Tab.27). Mais les distributions des poids de semence se recoupent entre fractions voisines, avec environ 75% de valeurs communes (Fig.20 et annexe 8). Pour les fractions de semences rondes et plates issues d'une même grille à trous ronds, il existe une différence de poids de l'ordre de 12%, qui correspond à celle entre deux fractions consécutives non séparées en semences plates et rondes, comme celles de 1990. Les fractions F20.5 P et F19.5 R, en 1991 et F20 P et F19 R, en 1992 ont des poids voisins, **ce qui permettra d'étudier l'effet de la forme du grain indépendamment de celui de la taille, ou du poids**. Les coefficients de variation (C.V) à l'intérieur de chaque fraction sont de l'ordre de 9-10%, à l'exception des fractions F18 et F18.5, aux C.V. légèrement supérieurs. Exception faite de ces dernières, le rapport des extêmes ne dépasse pas 2 pour les fractions et tourne autour de 1,7%. Sur les épis utilisés pour l'étude grain à grain de 1990, les valeurs de ce rapport dépassaient 2,5 et les coefficients de variation 18%. Quant aux lots commerciaux, les mêmes remarques que pour les fractions s'appliquent à FM6 et FM4 pour les moyennes et les dispersions des poids de semence. Si on considère les coefficients de variation, la variabilité du poids de semence est du même ordre que pour les fractions F18.5 en 1991 et F17, F18 en 1992 (Tab.27), et est légèrement supérieure aux autres fractions. L'amplitude des dispersions des lots commerciaux ne dépasse pas celle de certaines fractions comme F22.5 (Fig.20). Seul le lot FM4 de 1991 présente une valeur plus élevée en raison d'un point beaucoup plus éloigné (Fig.20).

Des corrélations entre poids du grain et volume du grain, et, poids du grain et poids de l'embryon ont été trouvées en 1990 et 1992, avec des valeurs pour les coefficients de corrélation, toutes fractions confondues, proches de ceux de l'étude grain à grain (Tab.28). Ceci nous ramène aux mêmes conclusions que celles faites dans l'étude grain à grain (cf. II-3). En 1990 et 1992, la densité moyenne s'élève respectivement à 1,33 et 1,24 avec de faibles C.V. (respectivement 2,36% et 2,81%). En 1992, nous avons trouvé que l'embryon représente 9,02% (C.V.: 9,2%) du poids total du grain.

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE NANCY

Tab.26 : Humidité de la semence (%) par fraction.
a) 1990 **b)** 1992

a)

Fractions	Humidité (%)
F23	11,0 (2,5) (1)
F20	11,1 (2,7)
F19	10,9 (2,5)
F18	11,1 (3,1)
F17	11,2 (3,2)

(1) C.V. (%)

b)

Fractions	Humidité (%)
F22.5	9,3 (1,9) (1)
F20R	9,1 (2,0)
F20P	9,3 (2,2)
F19R	9,2 (2,6)
F19P	9,5 (3,6)
F18	8,9 (3,6)
F17	9,2 (2,7)
FM4	10,2 (2,4)
FM6	10,0 (3,3)

(1) C.V. (%)

Tab.27 : Poids de semence (mg) par fraction.
a) 1990 **b)** 1991 **c)** 1992

a)

Fractions	Poids de semence (mg)
F23	312 (11,1) (1)
F20	268 (12,5)
F19	250 (12,0)
F18	226 (15,0)
F17	194 (12,5)

(1) C.V. (%)

b)

Fractions	Poids de semence (mg)
F22.5	293 (9,7) (1)
F20.5R	279 (9,4)
F20.5P	245 (7,7)
F19.5R	257 (9,2)
F19.5P	229 (11,0)
F18.5	215 (14,0)
F17.5	201 (11,3)
FM4	279 (12,4)
FM61	224 (12,1)
FM64	225 (13,9)

(1) C.V. (%)

c)

Fractions	Poids de semence (mg)
F22.5	326 (9,1) (1)
F20R	317 (10,3)
F20P	278 (9,3)
F19R	286 (10,0)
F19P	256 (11,0)
F18	248 (12,3)
F17	219 (14,6)
FM4	295 (11,5)
FM6	241 (14,8)

(1) C.V. (%)

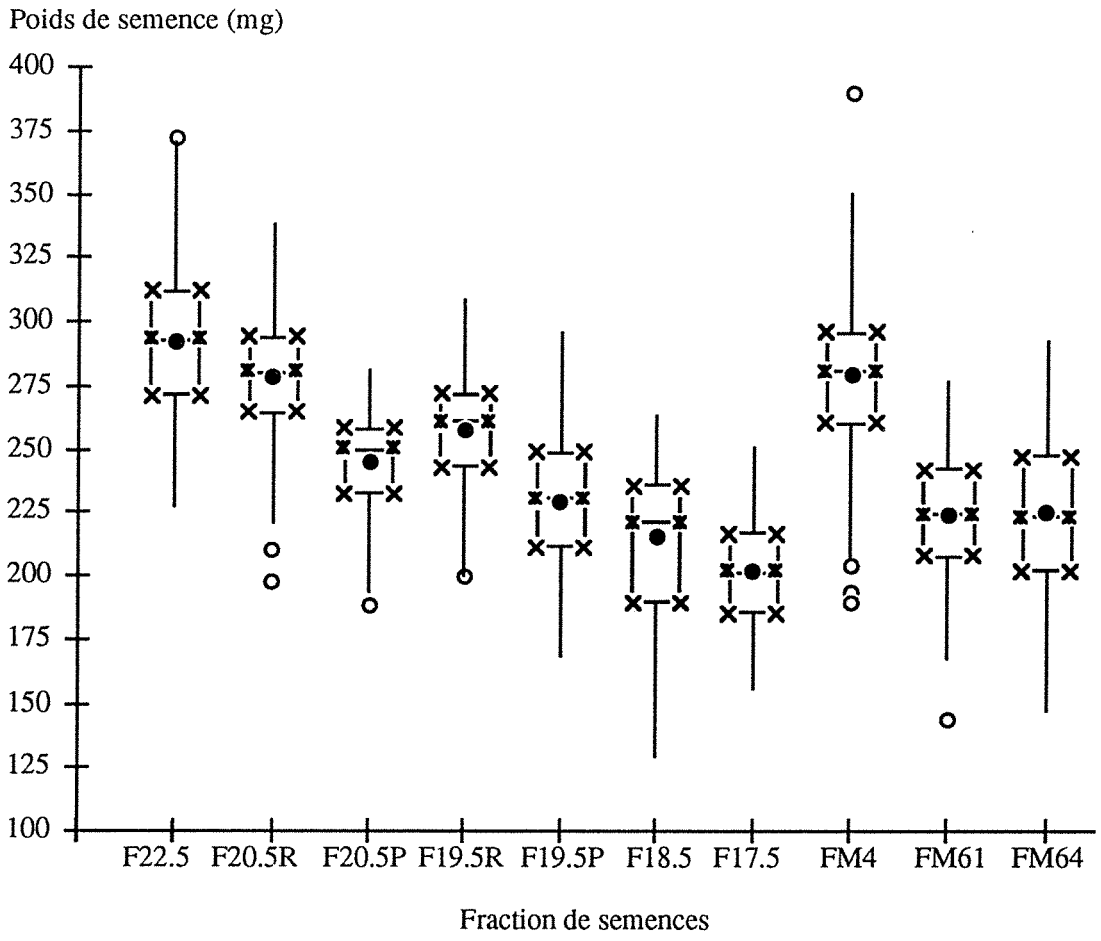


Fig.20 : Distribution des poids de semence par fraction en 1991 (représentation par "boîte à pattes").

Tab.28 : Coefficient de corrélation entre poids de grain (**pg**) et volume du grain (**vol**), et, poids de grain (**pg**) et poids sec de l'embryon (**pse**).

	r	
Liaisons	1990	1992
pg-vol	0,99*	0,99*
pg-pse	0,94*	0,82*

* significatif à 5%

La méthode de calibrage utilisée est efficace en moyenne et permet d'obtenir des fractions de poids moyens différents liés à la taille des trous des grilles. Comme nous l'avons vu dans la partie précédente au sujet de la liaison calibre-poids (cf. 1.1.1.), il existe une variabilité des poids à l'intérieur des fractions, ce qui explique le recoupement des distributions des poids entre deux fractions successives. La variabilité du poids de semence à l'intérieur des lots commerciaux n'est que légèrement supérieure à celle d'une fraction de semences retenues par deux grilles, bien qu'ils soient constitués d'un plus grand nombre de grilles que les fractions formées à partir du calibrage. Ces résultats apporteront des éléments explicatifs pour l'étude du comportement des plantes issues des semences des ces fractions.

1.3. Qualité semencière

Dans l'ensemble, les niveaux de germination sont bons et les écarts entre fractions faibles, sans lien apparent avec la taille ou la forme (Tab.29). De même la vigueur (donnée par le niveau de germination du cold test) des semences des fractions est dans l'ensemble bonne. En 1991, seule la fraction F22.5 présente une valeur inférieure par rapport aux autres. Une lecture a été refaite un jour plus tard (à 11 jours) et a montré une valeur nettement plus élevée pour F22.5 et plus proche des autres (Tab.29b). En fait, ceci provient probablement d'un problème d'imbibition de ces grosses graines, qui a entraîné un retard de germination. Ainsi un certain nombre de plantules ont été notées comme faibles, à l'issue de la durée normale alors que le taux de mortalité n'a pas été plus élevé que pour d'autres fractions. Le seul lot qui soit de faible vigueur et en dessous des normes de certification est F17 en 1992 (Tab.29c). Ceci est a prendre en compte dans l'interprétation des résultats. Pour les lots commerciaux en 1991, FM61 présente un niveau de germination inférieur à FM64, avec un pourcentage de germination moyen mais acceptable pour le test au froid. Les deux autres FM4 et FM64 sont d'un très bon niveau de germination, c'est pourquoi les tests au froid n'ont pas été effectués pour ces lots.

Aucun effet de la taille de la semence sur le niveau de germination ou la vigueur n'a été trouvé, ce qui est conforme à ce qu'a été dit en bibliographie. Seule la fraction des plus petites semences a présenté un décrochage en 1992. Or cette fraction est constituée des semences provenant en majeur partie du haut de l'épi (cf. 1.1.1.). Celles-ci peuvent présenter un retard de maturité et donc de vigueur (KNITTLE et BURRIS 1976). Un tel décrochage est presque toujours observé pour les semences de la grille 16 1/2et parfois de la 17, (France Maïs 1990, com. person.).

Tab.29 : Germinations (%) à 18°C et en cold test par fraction de semences.
a) 1990 **b)** 1991 **c)** 1992

a)

Fractions	% Germination	
	18°C	Cold test
F23	94	91
F20	92	86
F19	95	91
F18	94	87
F17	93	86

b)

Fractions	% Germination	
	18°C	Cold test
F22.5	98	80 (87) (1)
F20.5R	96	85 (90)
F20.5P	99	86 (90)
F19.5R	98	89 (93)
F19.5P	97	88 (90)
F18.5	97	85 (87)
F17.5	93	87 (89)
FM4	98	-
FM61	92	83
FM64	98	-

(1) Lecture à 11 jours

c)

Fractions	% Germination	
	18°C	Cold test
F22.5	92	91
F20R	95	89
F20P	96	92
F19R	94	89
F19P	95	92
F18	93	85
F17	89	72
FM4	96	-
FM6	96	-

En 1991, celles-ci avaient des niveaux de germination de 84% et 80%, pour le cold test avec une mortalité plus importante que F17.5. L'absence d'effet de la forme, contrairement à ce qui avait été observé par différents auteurs, s'explique par l'égrenage manuel et le calibrage en laboratoire beaucoup moins violents qu'en usine. Or le traitement industriel peut endommager en particulier les embryons plus exposés des grains ronds et altérer leur qualité germinative (SPITTEL et BRINKMANN 1985).

Au vu de ces résultats, il sera donc possible d'étudier les effets de la taille ou de la forme de la semence, sur le comportement au champ des plantes, indépendamment de ceux de la qualité germinative et de la vigueur.

2. Comportement au champ

Les fractions formées à partir d'un lot brut ont été semées au champ, en microparcelles, selon un dispositif en blocs aléatoires complets à 3 répétitions. Les études de la croissance et du développement ont été effectuées, en 1990, 1991 et 1992, sur des plantes prélevées à différents stades de la sortie de l'hétérotrophie jusqu'à la floraison, et, en 1990 et 1991 sur d'autres plantes sélectionnées, qui ont fait l'objet d'un suivi plante à plante jusque dans la première partie de la montaison. La date de floraison et le rendement ont été déterminés sur deux rangs par microparcelle d'un essai éclairci, et d'un autre non éclairci en 1991 et 1992, ainsi que pour le suivi plante à plante de 1991. En 1991 et 1992, l'étude a été répétée sur deux sites, à Colmar et Ostheim.

2.1. Conditions météorologiques

Les valeurs moyennes de température, pluviométrie et rayonnement global sont données pour le secteur de Colmar, pour les mois de végétation du maïs des années d'expérimentation (Tab.30), et peuvent être comparées aux valeurs moyennes jointes. Même s'il existe pour la pluviométrie en particulier, des variations liées au caractère local des orages estivaux, ces valeurs peuvent être extrapolées au second site d'Ostheim proche de Colmar.

En 1990, le mois de mai a été chaud et très ensoleillé, avec des précipitations normales, en particulier pour les deux premières décades, période qui ne s'est pas poursuivie en juin où les températures et l'ensoleillement sont en dessous des normales.

Tab.30 : Données météorologiques de Colmar de 1990 à 1992.
a) Températures **b)** Précipitations **c)** Rayonnement global

a)

Mois	Températures °C			
	1990	1991	1992	Moyennes (1)
Mai	16,2	11,5	15,8	14,9
Juin	16,7	16,1	17,6	18,2
Juillet	-	21,0	20,4	20,1
Août	-	20,4	21,7	19,3
Septembre	-	17,2	15,8	15,9

(1) 1895-1986

b)

Mois	Précipitations (mm)			
	1990	1991	1992	Moyennes (1)
Mai	77	20	33	57
Juin	88	36	55	64
Juillet	-	68	37	61
Août	-	14	45	60
Septembre	-	61	25	49

(1) 1895-1986

c)

Mois	Rayonnement global (MJ/m2)			
	1990	1991	1992	Moyennes (1)
Mai	657	557	554	542
Juin	529	506	565	608
Juillet	-	651	579	621
Août	-	598	486	535
Septembre	-	360	359	396

(1) 1972-1986

En 1991, le mois de mai et à degré moindre juin ont été frais et sec. Fin juin et début juillet (jusqu'au 12 juillet), ont été marqués par une période chaude, ensoleillée et sèche. Par la suite, le mois de juillet a été proche des normales avec deux orages de plus de 20 mm, encadrant la floraison. Les mois d'août et de septembre correspondant à la phase de remplissage, ont été marqués par des températures un peu au dessus des normales et surtout par un déficit hydrique. Les précipitations ne sont redevenues importantes que dans la dernière partie du remplissage, fin septembre. En 1992, après un début de printemps légèrement plus humide et chaud que la normale, le mois de mai a connu des températures assez élevées (> 17°C) dans les deux dernières décades, et un manque de pluie dans les deux premières décades. Du 20 mai jusqu'au 10 juillet, la pluviométrie a été normale. A partir de la floraison du maïs, une période chaude et sèche s'est installée. Le déficit hydrique s'est maintenu en septembre, où les températures ont été proches des normales.

Pour la période de croissance végétative, les trois années ont été contrastées, en particulier le démarrage et la dernière partie de la montaison avant floraison. Cependant, les conditions n'ont pas été extrêmes. Le démarrage n'a pas été marqué par une longue période de froid (<10°C). La dernière partie de la montaison a connu des conditions hydriques différentes en 1991 et 1992. La phase de remplissage du grain a été accompagnée de conditions sèches pendant la seconde moitié (après 10/8) en 1991, et la première partie surtout (jusqu'au 20/8), en 1992.

2.2. Mesures de contrôle

Pour pouvoir mettre en évidence l'effet de la taille de la semence ou de sa forme, nous avons procédé à un certain nombre de contrôles de facteurs du milieu, de paramètres de développement ou de peuplement, qui peuvent influencer la croissance et le développement et interagir avec les facteurs étudiés.

2.2.1. Profondeur de semis

La profondeur de semis peut défavoriser les petites semences en particulier, (POMMEL 1990) et entraîner des retards de levées, qui se répercutent sur la croissance et le développement ultérieurs (POMMEL et FLEURY 1989). Les mesures de profondeur de semis, effectuées en 1991 et 1992, ne révèlent pas de différences significatives entres les fractions. Les écarts moyens observés sont faibles et non liés à la taille ou à la forme de la semence (Tab.31).

Tab.31 : Profondeur de semis par fraction.

a) 1991 **b)** 1992

a)

Fractions	Profondeur de semis (cm) (1)	
	Colmar	Ostheim
F22.5	4,5	4,8
F19.5R	4,7	4,6
F19.5P	4,6	4,8
F17.5	4,7	4,6

b)

Fractions	Profondeur de semis (cm) (1)	
	Colmar	Ostheim
F22.5	3,9	4,6
F19R	4,3	4,4
F19P	4,1	4,4
F17	4,1	4,6

(1) moyenne sur 2 prélèvements

Il n'existe pas non plus de raisons a priori qui puissent faire penser à un effet de la taille ou de la forme de la semence sur la profondeur de semis. Nous supposerons que celle-ci ne varie pas entre fractions, pour l'ensemble des essais.

2.2.2. Date de levée et de floraison

Dans tous les cas, les dates de levées des plantes prélevées et celles des plantes sélectionnées pour le suivi s'étalent sur 2 ou 3 jours. En moyenne les écarts sont de moins d'un jour, et donc négligeables (annexe 9). De même, sur les microparcelles de l'essai éclairci, les différences de dates de levée moyennes entre fractions (après éclaircissage), sont restées faibles et ne dépassent pas 1,1 jour (annexe 10). **Les résultats de croissance et de rendement ne peuvent donc pas être liés à des décalages dans le développement, dus à des dates de levée différentes.**

En 1991, les plantes ont été prélevées le jour de leur date de floraison femelle, qui s'est étalée sur 9 jours pour ces plantes. Mais en moyenne, l'amplitude entre fractions n'est que de 1,5 jour, à Ostheim et de 1,9 jour à Colmar (1,3 jour, si on exclut F19.5 P pour ce site), (annexe 11). Ces écarts sont trop faibles pour engendrer des différences de croissance importantes, suite à des durées de croissance variables.

2.2.3. Densité de peuplement et croissance

Les études de croissance ont été effectuées sur l'essai non éclairci dont la densité de peuplement n'a pas été homogénéisée. Or, celle-ci par l'intermédiaire de la concurrence plus ou moins intense peut intervenir sur les niveaux de croissance, quand les plantes entrent en compétition.

En 1991, sur les rangs consacrés au suivi plante à plante, les niveaux de peuplement ont été estimés à partir du nombre de plantes levées. L'amplitude entre les moyennes par fraction est faible, de l'ordre de 3750 plantes/ha pour Colmar, et 3440 plantes/ha pour Ostheim (annexe 12). L'incertitude dans l'estimation s'élève environ à 3000 plantes/ha.

En 1992, nous avons mesuré l'écartement de chaque plante par rapport à ses voisines, pour les prélèvements à la floraison, et en plus pour celui en cours de montaison à Colmar. C'est durant la montaison que les effets de la densité peuvent apparaître suite à l'entrée des plantes en concurrence. Pour chaque plante, nous avons calculé un écartement moyen, et ces moyennes ont été ramenées à des densités de peuplement.

A Ostheim, les écarts entre moyennes par fraction sont plus faibles qu'à Colmar (Tab.32). Pour le prélèvement en montaison de Colmar, F22.5 et F17 présentent respectivement 2 et 1 valeurs (sur 30) supérieures à 20 cm, alors que les suivantes sont inférieures à 17 cm. En éliminant ces valeurs éloignées, on retrouve des écarts semblables à ceux du prélèvement à la floraison du même site (Tab.32). D'autre part, **les niveaux de croissance ne sont pas corrélés aux écartements entre plantes** ($r<0,5$ et non significatifs à 5%). Nous extrapolerons ces résultats à l'ensemble des prélèvements.

2.2.4. Densité de peuplement et rendement

Pour les rangs consacrés à la récolte, les différences de densité, notées avant récolte, varient d'une année à l'autre en raison d'un règlage du semoir différent (Tab.33). L'éclaircissage a permis d'homogénéiser les densités entre fractions, alors que pour les essais non éclaircis, les amplitudes entre les moyennes par fraction sont plus élevées et atteignent 7 à 8% de la moyenne. Cependant, à l'exception de l'essai non éclairci d'Ostheim en 1991, il n'existe pas de corrélation entre le rendement en grain et le niveau de peuplement. Pour l'essai non éclairci à Ostheim, 33% de la variance du rendement est expliqué par la densité de peuplement. La variabilité de rendement ne peut être attribuée que pour une faible part à la variation des niveaux de peuplement, pour cet essai et pour les autres essais.

Tous ces contrôles ont permis de vérifier l'homogénéité entre fractions de certains facteurs, ou de paramètres de développement et de peuplement, susceptibles d'interagir avec les facteurs étudiés, taille et forme de la semence. **Il sera donc possible de mettre en évidence d'éventuels effets de ces derniers, sur le comportement au champ des plantes.**

Tab.32 : Densité de peuplement par fraction en 1992 pour les prélèvements.

Fractions	Densités de peuplement (pl /ha)		
	Colmar montaison	Colmar floraison	Ostheim floraison
F22.5	86550 (89600) (1)	90050	87050
F19.5R	91150	91900	85800
F19.5P	-	-	85800
F17.5	87700 (89050)	88700	86650
FM4	93100	90100	-
FM6	89500	90650	-

(1) valeur corrigée

Tab.33 : Densité de peuplement par fraction pour les rangs récoltés en 1991 et 1992.

Essais	Densités de peuplement (pl /ha)			
	1991		1992	
	Moyennes	Amplitudes (1)	Moyennes	Amplitudes (1)
Colmar ecl.	89450	3600	91350	0
Colmar non ecl.	88250	7210	93200	7570
Ostheim ecl.	88450	2000	91400	840
Ostheim non ecl.	84600	6050	91650	6370

(1) entre moyennes par fraction

2.3. Développement

2.3.1. Levée

En 1990 et 1992, les plantes ont levé rapidement, 9 et 11 jours après semis respectivement. En 1991, la levée a été plus lente (15 jours après semis) et s'est étalée sur 8 jours à Colmar, et 11 jours à Ostheim où quelques zones ont présenté un retard inexpliqué. Ainsi en 1991, à Colmar, la majorité des plantes ont levé entre le 17ème et le 19ème jour, alors qu'à Ostheim, la plus grande part se situe entre le 15ème et le 17ème jour. En 1992, elle a été encore plus groupée (sur 6 jours), avec plus de 90% des plantes levées en 3 jours.

Sur les rangs non éclaircis destinés à la récolte, les dates moyennes de levée, calculées à partir des données plante par plante, ne varient guère entre fractions, en 1991 et 1992, sur les deux sites (Tab.34). L'amplitude entre les moyennes par fraction ne dépasse pas 1 jour, à l'exception de l'essai d'Ostheim en 1991, où elle atteint 1,9 jour ce qui reste faible. Il n'existe donc pas d'effet de la taille ou de la forme de la semence sur la durée semis-levée au champ, ce qui est conforme aux résultats trouvés par d'autres auteurs (HUNTER et KANNENBERG 1972, HAWKINS et COOPER 1979, GRAVEN et CARTER 1990). Il est à noter qu'en 1992, la fraction des plus petites semences (F17), malgré une vigueur inférieure, n'a pas présenté de retard. Les bonnes conditions d'humidité et de température, et une profondeur de semis normale en sont probablement les raisons .

2.3.2. Stade foliaire

Les stades foliaires ici exprimés en nombre de feuilles visibles, nous renseignent sur les stades de développement et nous permettent ainsi de situer les points de mesure. En 1990, le premier prélèvement a été effectué au stade 3 feuilles (Tab.35), et se situe donc à la fin de la phase d'hétérotrophie, alors que les suivants sont en phase de croissance exponentielle. De même, les deux premiers prélèvements de 1991 et 1992 se situent au début et à la fin de la phase exponentielle de croissance et le troisième en montaison. Pour le suivi plante à plante, les derniers points de mesure se situent en première moitié de montaison (annexe 13).

En 1990, un écart de 0,3 feuille existe sur les plantes prélevées entre fractions extrêmes F23 et F17, de même qu'en 1991 entre F22.5 et F17.5, sur les deux sites. A Ostheim l' écart apparaît en 1991 déjà au stade 4 feuilles. En 1992, à ce stade les écarts sont négligeables, alors qu'à la fin de la croissance exponentielle (j35), on trouve entre F23 et F17 un écart de 0,5 feuille à Colmar, et seulement 0,2 feuille sur l'autre site.

Tab.34 : Date moyenne de levée (jours depuis semis) par fraction pour les deux rangs récoltés (non éclaircis).
a) 1991 **b)** 1992

a)

Fractions	Dates de levée (jours depuis semis) Colmar	Ostheim
F22.5	18,2	18,4
F20.5R	18,3	17,7
F20.5P	18,1	17,2
F19.5R	18,2	18,4
F19.5P	18,1	18,1
F18.5	18,2	18,0
F17.5	18,3	17,8
FM4	18,2	17,3
FM61	18,2	16,8
FM64	18,3	18,7

b)

Fractions	Dates de levée (jours depuis semis) Colmar	Ostheim
F22.5	12,3	13,1
F20R	12,3	13,0
F20P	12,3	13,2
F19R	12,4	13,4
F19P	12,5	13,1
F18	12,4	13,4
F17	12,6	13,6
FM4	12,5	13,4
FM6	12,4	13,6

Tab.35 : Stade foliaire (nombre de feuilles visibles) par fraction de semences.
a) 1990 **b)** 1991 **c)** 1992 (j0 : semis)

a)

Fractions	Stades foliaires (n. feuilles visibles)					
	j12	j15	j19	j22	j26	j29
F23	3,0	4,0	5,0	6,0	6,8	7,6
F20	3,0	4,0	4,9	5,9	6,9	7,4
F19	3,0	4,0	4,9	6,0	6,9	7,1
F18	3,0	4,0	5,0	6,0	6,6	7,3
F17	3,0	4,0	5,0	6,0	6,6	7,3

b)

Fractions	Stades foliaires (n. feuilles visibles)			
	Colmar		Ostheim	
	j28	j42	j28	j42
F22.5	4,1	8,1	4,3	8,3
F20.5R	4,0	7,9	4,1	8,0
F20.5P	4,0	7,8	4,1	8,2
F19.5R	4,2	7,8	4,1	8,2
F19.5P	4,0	7,8	4,0	7,9
F18.5	4,1	7,5	4,1	7,9
F17.5	4,0	7,8	4,0	8,0
FM4	4,1	7,9	4,1	8,5
FM61	4,1	8,0	3,9	8,0
FM64	4,1	8,0	4,1	8,0

c)

Fractions	Stades foliaires (n. feuilles visibles)			
	Colmar		Ostheim	
	j20	j35	j20	j35
F22.5	4,2	7,9	4,1	9,2
F20R	4,3	8,0	4,1	9,1
F20P	4,1	7,6	4,0	9,1
F19R	4,1	7,8	4,0	9,0
F19P	4,1	7,8	4,0	9,0
F18	4,0	7,6	4,0	9,1
F17	4,0	7,4	4,0	9,0
FM4	4,1	7,6	4,0	8,9
FM6	4,1	7,8	4,0	9,1

Entre lots commerciaux de taille de semence différente, FM4 et FM6, il n'existe aucune tendance claire, et ceux-ci ne se différencient pas des fractions de semences formées à partir du calibrage au laboratoire.

Les résultats de suivi plante à plante sont plus constrastés d'une année à l'autre (annexe 13). En 1990, l'écart entre fractions extrêmes est de 0,4-0,6 feuille, en début de montaison, alors qu'en 1991, il est négligeable entre F22.5 et F17.5, sur les deux sites. Une différence de 0,3 feuille se retrouve au stade 12 feuilles à Colmar, entre fractions F17.5 et F20.5 R de poids un peu inférieur, aux semences de F22.5. Entre fractions de semences plates et rondes, les écarts sont dans certains cas, du même ordre de grandeur, mais sont contradictoires. Aucune tendance claire n'apparaît.

Le nombre final de feuilles a été noté à Colmar en 1991, pour le suivi plante à plante. Les écarts sont négligeables entre fractions extrêmes F22.5 et F17.5, et, entre F17.5 et F20.5 R (Tab.36).

Il existe donc un léger effet de la taille de la semence, qui peut produire des différences de l'ordre de 0,3 feuille en fin de phase exponentielle et début de montaison. En 1992, l'écart supérieur noté à Colmar peut être attribué à la vigueur plus faible de F17, ce qui n'est pas le cas pour le suivi plante à plante de 1990. **La forme plate ou ronde n'affecte pas le développement**, et le décalage entre stades de développement foliaire est faible entre plantes issues de taille de semences différentes. Par contre en 1992, un écart de plus d'une feuille (1,4) existe entre les deux sites à la fin de la phase de croissance exponentielle, et est probablement dû à un effet dépressif du précédent colza, à Colmar. Cet effet a été visible à l'oeil nu, en comparant les plantes situées sur des zones, à précédent maïs et colza respectivement de la même parcelle (cf. I-3.2.1.). **L'influence des conditions du milieu est donc plus forte que celles des caractéristiques morphologiques de la semence.**

Quant au nombre final de feuilles, il ne semble pas varier entre plantes issues de semences de différentes tailles. Cette grandeur aurait dû être déterminée sur plusieurs essais, en particulier sur celui où une différence plus grande aurait été observée, en début de montaison. En tout cas, d'autres auteurs (HAWKINS et COOPER 1979) n'ont pas non plus observé de différence pour le nombre final des feuilles, bien que l'initiation foliaire ait été significativement plus rapide, pour les plantes issues de grosses semences. **Ce retard dans l'initiation foliaire peut expliquer le léger décalage de stades foliaires observé pour les plantes issues des petites semences durant la période végétative.**

Tab.36 : Nombre final de feuilles par fraction (suivi plante à plante, Colmar 1991).

Fractions	Nombre final de feuilles Colmar
F22.5	16,2
F20.5R	16,2
F20.5P	16,0
F19.5R	16,3
F19.5P	16,1
F18.5	16,0
F17.5	16,1
FM4	16,3
FM61	16,1
FM64	16,3

2.3.3. Date de floraison femelle

Sur les rangs destinés à la récolte des essais éclarcis, les écarts de dates de floraison femelle (50% de plantes au moins) entre fractions sont faibles, et ne dépassent pas 1 jour entre fractions extrêmes, sauf en 1992, à Ostheim où F22.5 et F17 diffèrent de 1,6 jour (Tab.37). Aucune tendance n'apparaît entre semences plates et rondes. De même les lots commerciaux ne présentent pas d'écarts importants et systématiques entre eux ou par rapport aux fractions. Ces résultats se retrouvent pour les essais non éclaircis et pour les dates moyennes de floraison, notées plante à plante, sur les deux sites du suivi de 1991 (annexes 14 et 15). Comme pour les stades foliaires, le décalage entre les deux sites est beaucoup plus marqué en 1992 et s'élève à 3,6 jours. Le retard des plantes à Colmar est encore augmenté (5,3 jours) si on enlève les valeurs du premier bloc, situé sur la zone à précédent maïs (cf. I-3.2.1.) et dont la date de floraison exprimée en nombre de jours du semis à la floraison est de 72,9 en moyenne.

Ce retard de floraison est la conséquence du décalage observé pour les stades foliaires en début de montaison, et peut être attribué de manière certaine à l'effet du précédent colza. De même, l'absence d'effet de la taille ou de la forme de la semence sur la date de floraison femelle, peut être reliée à l'absence d'un effet important sur le stade foliaire. Ces résultats confirment ceux de GRAVEN et CARTER (1990). Une conséquence de cette homogénéité des dates de floraison entre fractions, est l'absence de décalage pour le démarrage du remplissage du grain, et donc de la durée de cette phase. **D'éventuelles différences de rendement ne pourront être attribuées à des retards de floraison.**

2.3.4. Nombre de racines

Les racines adventives apparaissent à partir du deuxième entre-nœud. Ceux-ci sont notés E2, E3, E4 etc, le premier étant le mésocotyle (GIRARDIN et al. 1986). A la base de celui-ci, se trouvent la radicule et les racines séminales. Le nombre final de racines par entre-nœud, est un des paramètres utilisés dans la description du système racinaire, dont dépend la capacité d'absorption de la plante (PELLERIN et al. 1989). Les valeurs moyennes par entre-nœud (Tab.38), toutes fractions confondues, sont du même ordre de grandeur que celles trouvées par PICARD et al. 1985, sur la même variété. La diminution du nombre de racines de E2 à E4 est systématique.

Tab.37 : Date de floraison femelle (jours depuis semis) par fraction pour les rangs récoltés (éclaircis).
a) 1991 **b)** 1992

a)

Fractions	Dates de floraison (jours depuis semis) Colmar	Ostheim
F22.5	83,7	81,7
F20.5R	83,0	81,0
F20.5P	84,0	82,0
F19.5R	83,3	81,7
F19.5P	84,3	81,3
F18.5	84,3	82,3
F17.5	84,0	82,3
FM4	83,3	81,0
FM61	83,7	82,0
FM64	84,0	82,0

b)

Fractions	Dates de floraison (jours depuis semis) Colmar	Ostheim
F22.5	75,3	72,3
F20R	76,0	73,3
F20P	76,0	72,3
F19R	76,0	73,0
F19P	76,0	72,3
F18	77,0	72,3
F17	77,0	72,7
FM4	75,3	72,7
FM6	77,3	72,3

Tab.38 : Nombre de racines par entenœud (Ei) et par fraction.
a) 1990 (prél.) **b)** 1991 (prél.)
c) 1991 (suivi Colmar) **d)** 1991 (suivi Ostheim)

a)

Fractions	Nombre de racines par entrenœud (E)	
	E2 (1)	E3 (2)
F23	3,7	3,1
F20	3,5	3,2
F19	3,4	3,2
F18	3,3	3,0
F17	3,4	2,9

(1) moyenne (j22, j26, j29) (2) moyenne (j26, j29)

b)

Fractions	Nombre de racines par entrenœud (E)	
	E2	E3
F22.5	4,1	3,5
F19.5R	3,8	3,3
F19.5P	3,8	3,3
F17.5	3,4	3,2
	S (1)	NS

c)

Fractions	Nombre de racines par entrenœud (E)					
	E2	E3	E4	E5	E6	E7
F22.5	3,9	3,4	1,8	3,5	4,4	11,5
F17.5	3,4	3,2	1,9	3,6	3,9	11,4
	NS (1)	NS	NS	NS	NS	NS

d)

Fractions	Nombre de racines par entrenœud (E)					
	E2	E3	E4	E5	E6	E7
F22.5	4,2	3,9	1,5	4,0	3,6	12,8
F17.5	3,4	3,5	2,0	3,8	3,9	12,7
	NS (1)	NS	NS	NS	NS	NS

(1) à 5%

Parmi les différents comptages effectués sur les plantes prélevées en 1990 et en 1991, et sur celles du suivi prélevées à la récolte, une seule différence significative a été observée en 1991 sur l'entre-nœud E2 (Tab.38). Cependant, les écarts entre fractions extrêmes F23 et F17 en 1990, et, F22.5 et F17.5 en 1991, se situent entre 0,5 et 0,8 racine, en faveur des grosses semences en 1991, et 0,3 et 0,4 en 1990 (Tab.38). Les résultats de 1990 ont été calculés pour les jours où l'émission était terminée, c'est-à-dire quand des racines sont émises sur l'entre-nœud suivant (PICARD et al. 1985). Les résultats de 1990 sont à prendre avec prudence en raison des faibles effectifs de deux répétitions (cf. I-3.1.3.). En tout cas la tendance est confirmée. Pour l'entre-nœud suivant (E3), les écarts sont réduits. Pour le suivi, la différence de 0,4 racine observée sur E3, à Ostheim n'est pas significative et les répétitions de chaque fraction se recoupent. A partir de E3, les écarts sont non significatifs et aucune tendance n'apparaît par ailleurs.

Des plantes issues de petites semences présentent donc un nombre de racines inférieur par rapport à celles issues de grosses semences sur l'entre-nœud E2 seulement. Cet effet est observable entre les niveaux de taille de semence extrêmes, utilisés dans cette étude. Les racines de l'entre-nœud E2 sont émises au stade 3-4 feuilles (PICARD et al. 1985), et la différentiation des ébauches débute donc avant ce stade, pendant la phase de croissance hétérotrophe. Le nombre de racines émises est égal au nombre d'ébauches initiées sur E2 (GIRARDIN et al. 1987). Il est peu probable que ce phénomène d'ontogenèse soit sous la dépendance de la croissance. PELLERIN (1991) ne trouve pas non plus de liaison entre le nombre de racines sur E3 à E5, et l'alimentation carbonée, et donc, rien ne laisse penser qu'il en soit autrement sur E2. Mais la croissance hétérotrophe qui dépend de la taille de la semence (ABD EL RAHMAN et BOURDU 1986, POMMEL 1990), pourrait intervenir sur le diamètre de l'entre-nœud. Ainsi sur les plantes issues de semences suffisamment petites, le diamètre de l'entre-nœud E2 serait diminué, ce qui limiterait l'espace disponible pour l'initiation d'ébauches racinaires. Par contre pour les entre-nœuds E3, E4 et E5, le diamètre ne serait plus limitant, suite à un nombre inférieur d'ébauches qui se différencient, ce qui est le cas sur E3 et E4 (GIRARDIN et al. 1987), ou à un diamètre suffisant pour E5. En tout cas ces explications sont des hypothèses qui restent à vérifier. D'autre part, les conséquences de cette réduction du nombre de racines de l'entre-nœud E2 sur le volume de sol exploré et sur la capacité d'absorption de la plante ne sont pas connues.

2.4. Evolution du poids de semence

En 1990, le poids sec de la semence est resté stable à partir du prélèvement à j22, et se situe entre 30 et 40 mg selon les semences (Fig.21). Pour chaque fraction, nous avons calculé un poids sec initial de semence au moyen des valeurs moyennes (Tab.27), et aux humidités moyennes (Tab.26). Ceci nous a permis de déterminer le pourcentage moyen de réserves consommées par fraction de semence, pour chaque prélèvement. A partir de j19, pour les fractions de grosses semences (F19 à F23) et à partir de j22 pour les petites semences (F17 et F18), la part de réserves consommées n'évolue pratiquement plus (Tab.39). La valeur finale est supérieure pour les grosses semences. Les plantes issues de celles-ci épuisent donc plus profondément les réserves séminales que celles venant de petites semences.

La vitesse de consommation des réserves en valeur absolue entre la levée (dates moyennes situées entre j9 et j10, annexe 9) et j12 est plus élevée pour les grosses semences, de même qu'entre j12 et j15 (Tab.40). Pour situer le passage à l'autotrophie, nous avons estimé le poids de matière sèche total à l'aide d'une relation trouvée par POMMEL (1990) sur la même variété que la nôtre. Entre la levée et j12, l'accroissement de M.S. de la plantule est inférieur à la consommation de réserves par la semence (Tab.40), pour toutes les fractions, sauf F23. La plante n'a donc pas eu besoin du carbone issu de la photosynthèse pour la croissance du moins. A celle-ci s'ajoute la respiration dont les besoins en carbone peuvent être couverts par les premiers assimilats produits par la photosynthèse (DELEENS et al. 1974). Entre j12 et j15, l'accroissement en M.S. est bien supérieur à la diminution du poids de semence. C'est donc entre ces deux dates que la plante est entrée en phase d'autotrophie.

Contrairement à ce qu'ont observé ABD EL RAHMAN et BOURDU (1986), et POMMEL (1990), les plantules issues de grosses semences, épuisent davantage les réserves séminales que celles venant de petites semences. Cependant quel que soit le sens, ces différences sont de l'ordre de quelques %, et apparaissent à partir de j19, à un moment où la plante ne consomme pratiquement plus de réserves de sa semence. **Par contre, la vitesse absolue de consommation des réserves séminales durant la phase hétérotrophe est supérieure pour les grosses semences,** ce qui avait déjà été trouvé par POMMEL (1990). Cet auteur avait situé le passage à l'autotrophie aux environs de 65% de réserves consommées, pour la variété Dea. Pour cette même variété, nous l'avons situé entre 45% et 70%, entre les stades 3 et 4 feuilles visibles. Selon MARCELLIN (1979), ce passage d'un mode de nutrition à un autre se situe aussi entre 3 et 4 feuilles pour la variété LG11. Ces résultats trouvées au champ confirment des données d'expérimentations effectuées en conditions semi- ou totalement contrôlées.

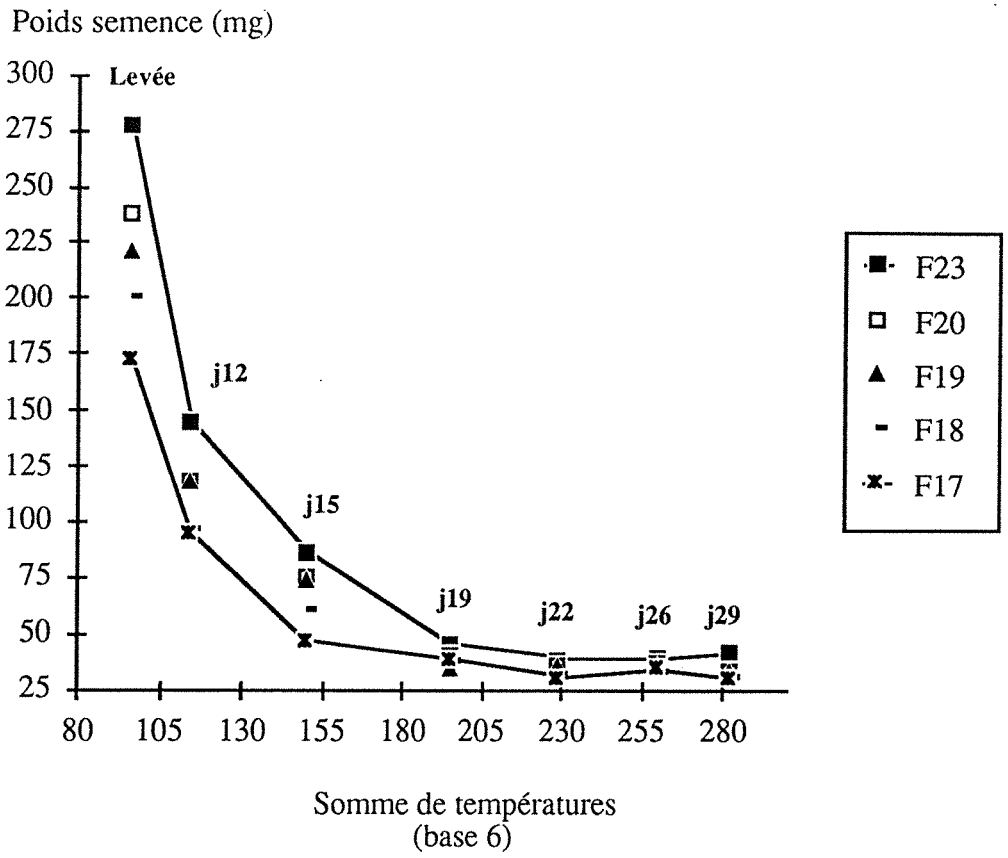


Fig. 21 : Décroissance du poids sec de semence par fraction entre la levée et j29 en 1990.

Tab.39 : Pourcentage de réserves consommées (/ poids sec initial) par fraction.

Fractions	% réserves consommées (/ poids initial)			
	j12	j15	j19	j22-j29 (1)
F23	47,8	68,6	83,4	85,0
F20	50,4	68,5	83,0	84,5
F19	46,8	66,5	84,1	84,2
F18	51,6	69,4	80,7	83,2
F17	45,1	72,7	77,6	80,7

(1) moyennes (j22, j26, j29)

Tab.40 : Vitesse de consommation des réserves et bilan (consommation-croissance) par fraction.

	réserves consommées			
	Levée-j12		j12-j15	
Fractions	vitesse (mg/°C.j)	Bilan (1) (mg)	vitesse (mg/°C.j)	Bilan (1) (mg)
F23	7,0	-10,6	1,6	-120
F20	6,2	6,7	1,2	-152
F19	5,9	7,1	1,2	-157
F18	4,9	14,8	1,0	-166
F17	4,7	19,4	1,3	-157

(1) Réserves consommées-croissance M.S.

2.5. Croissance

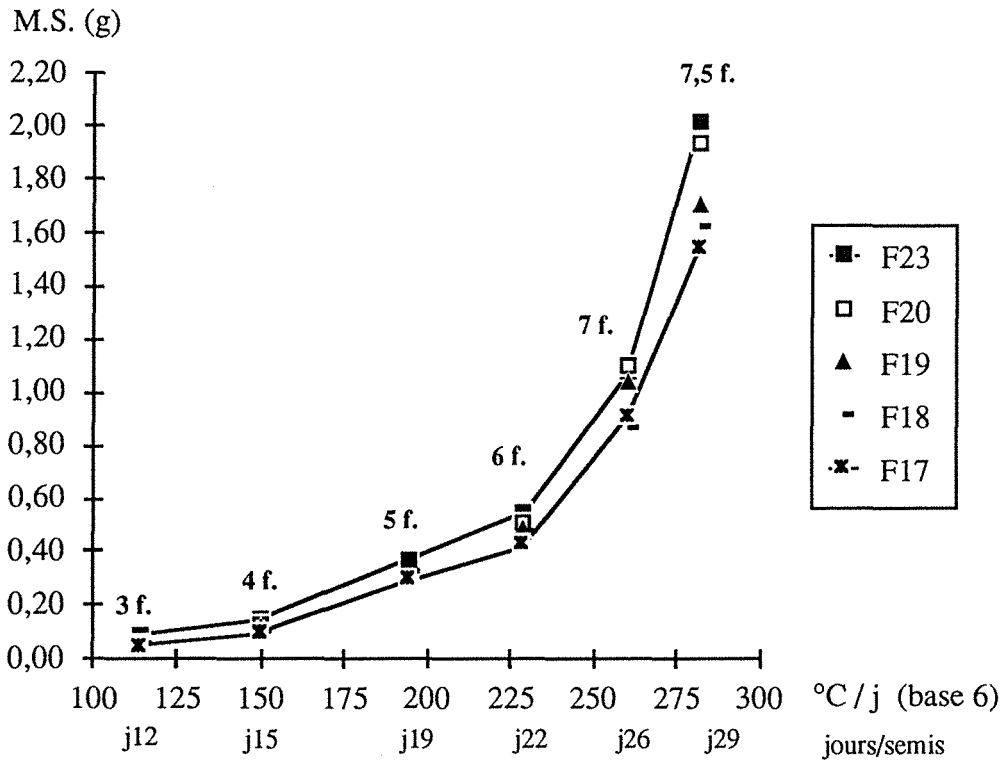
2.5.1. Croissance en matière sèche

Les courbes de croissance construites à partir des résultats des prélèvements de 1990, sont de forme exponentielle (Fig.22). Il ressort des différences de matière sèche entre les fractions extrêmes F17 et F23. Ces écarts augmentent entre les stades 3 et 7 feuilles. Ceci se retrouve en 1991 sur la courbe de croissance construite pour les 6 premiers prélèvements, effectués à Colmar, entre 4 et 8 feuilles (Fig.22b). Mais dans la seconde partie de la phase de montaison, l'avantage des grosses semences de la fraction F22.5 disparaît et s'inverse même (Fig23). Des résultats semblables ont été trouvés à Ostheim en 1991 et en 1992 pour les deux sites (annexe 16). Il est à noter qu'en 1991 et 1992, les niveaux de croissance des plantes issues de toutes les fractions à Ostheim sont supérieurs à ceux de Colmar, dès le stade 8 feuilles, et jusqu'à la floraison. A 8 feuilles et en phase de montaison en particulier, l'avantage d'Ostheim est accentué en 1992. Le site d'Ostheim présente des conditions plus favorables, liées à la nature du sol et à la nappe phréatique plus proche de la surface. En plus en 1992, un effet négatif du précédent colza s'est ajouté à Colmar.

Au stade 4 feuilles, les écarts de croissance sont reliés à la taille des semences (Fig.24), qui suit à peu près l'ordre des numéros de fraction (Fig.20). La liaison apparaît de manière moins importante à Ostheim (annexe 17). Des corrélations entre niveaux de matière sèche et poids de semence par fraction sont assez étroites (r= 0,80), si on exclut les lots commerciaux dont l'origine et l'humidité initiale des semences sont différentes (Tab.41). Les valeurs des coefficents de corrélation sont plus élevées à Colmar qu'à Ostheim. A Colmar, en 1990 et en 1992, cette liaison est encore étroite aux stades 7-8 feuilles, alors que pour les autres essais, elle est déjà plus lâche et devient non significative, en phase de montaison.

Pour suivre l'évolution des différences de croissance entre fractions, nous avons calculé des valeurs relatives par rapport à la fraction des petites semences (F17 en 1990 et 1992, et F17.5 en 1991), pour chaque prélèvement. Entre les stades 4 et 8 feuilles, l'écart entre fractions de taille extrême reste à peu près stable, pour les 3 années et les deux sites (Fig.25, 26 et 27). Au stade 4 feuilles, il est de l'ordre de 30% en 1990 et 1991, alors qu'en 1992, il se situe entre 35 et 40%, entre F22.5 et F17. En 1991 à Colmar, l'écart relatif entre F17.5 et F22.5 est de 17% seulement au stade 8 feuilles, mais au prélèvement suivant on retrouve une valeur de 29% proche de l'écart initial à 4 feuilles. En 1990 un prélèvement (à j26) a aussi donné une valeur inférieure. Ceci est probablement dû à des problèmes d'échantillonnage ou à l'hétérogénéité des poids de semences à l'intérieur des fractions (Fig.20).

a)



b)

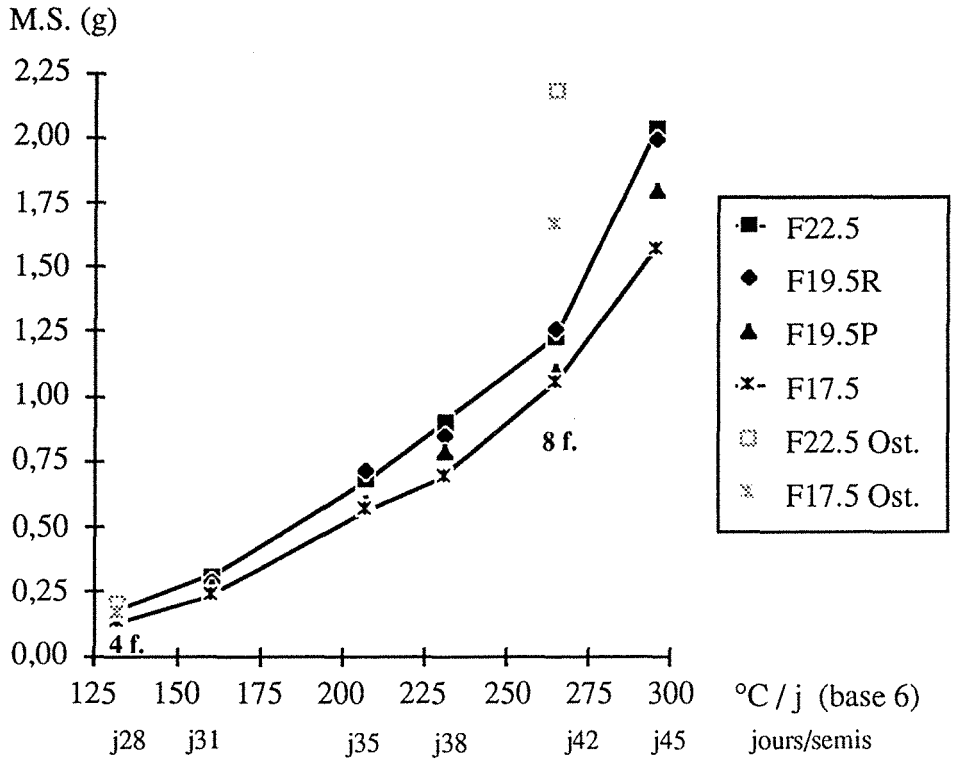


Fig.22 : Croissance en matière sèche (part. aériennes) par fraction à Colmar (et à Ostheim).
a) 1990 **b)** 1991

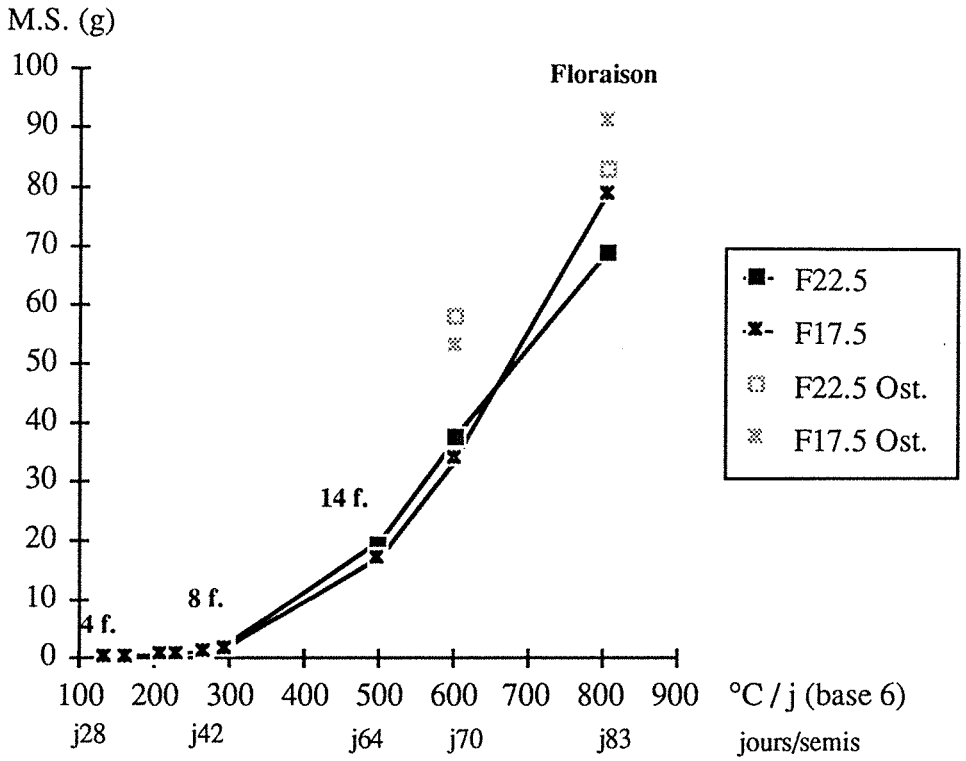
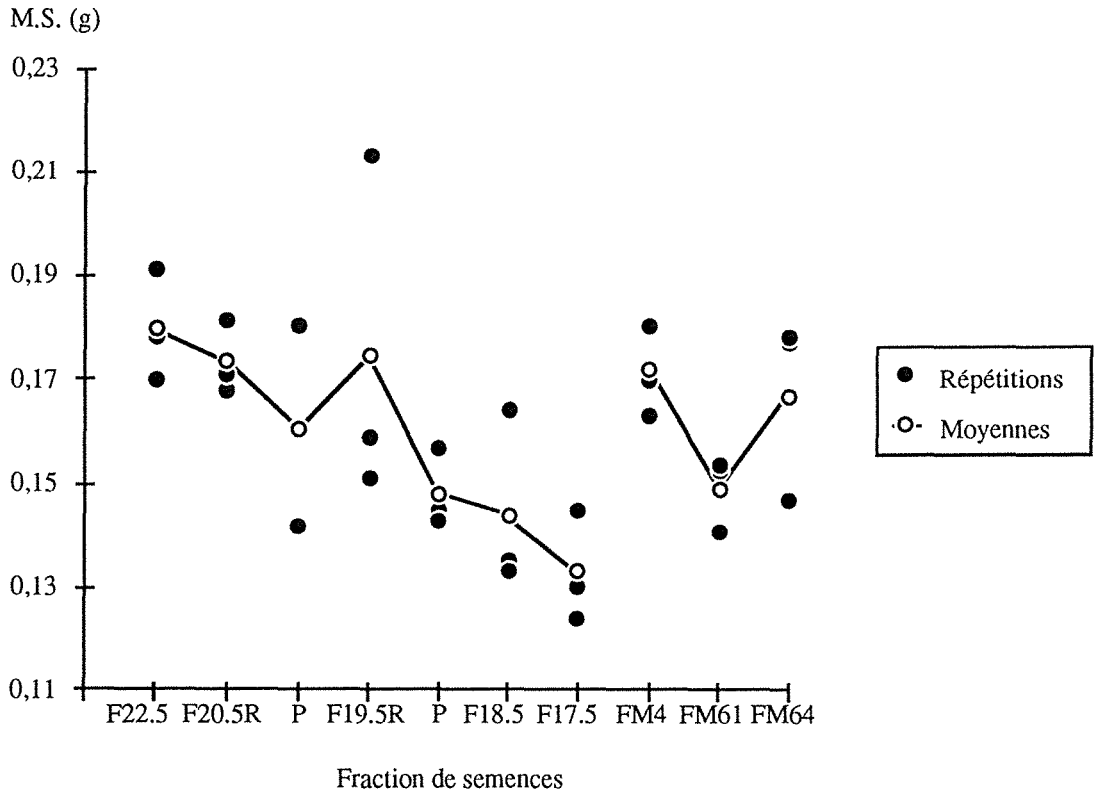


Fig.23 : Croissance en matière sèche (part. aériennes) par fraction jusqu'à floraison à Colmar (et à Ostheim) en 1991.

a)



b)

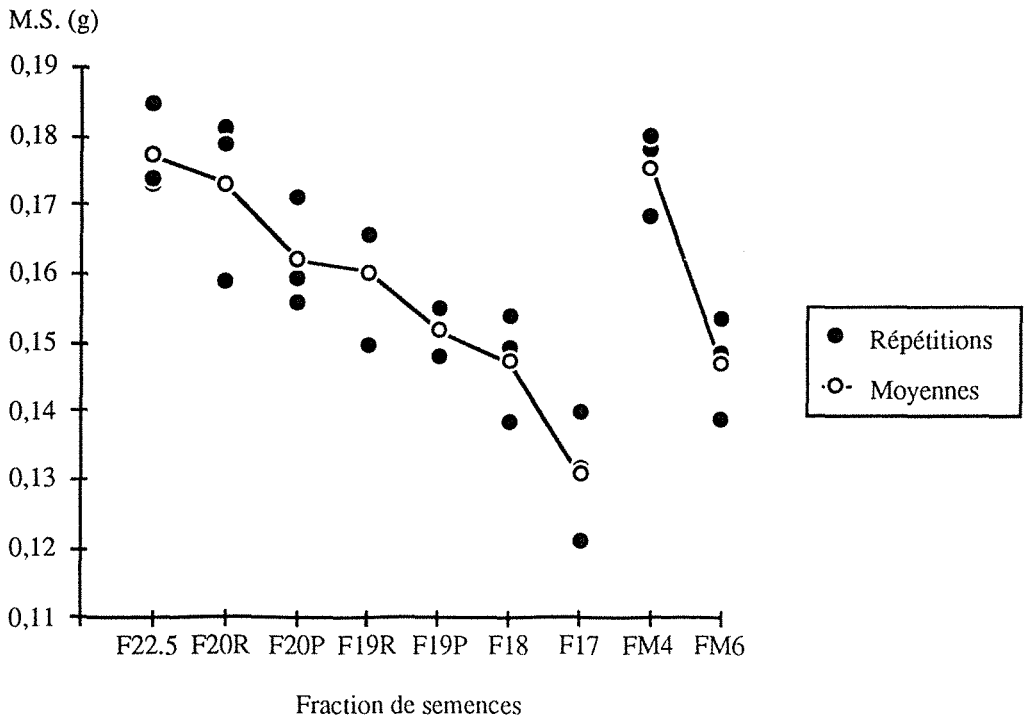


Fig.24 : Distributions des répétitions pour la matière sèche par fraction à Colmar
a) 1991 **b)** 1992

Tab.41 : Coefficient de corrélation (M.S. plantes -poids initial de semences)
a) 1990 **b)** 1991 et 1992

a)

Stades (n. feuilles visibles)	r (M.S. plantes-poids initial de semences) 1990
3	0,77*
4	0,87*
5	0,37
6	0,68*
7	0,56*
7,5	0,83*

*significatif à 5%

b)

	r (M.S. plantes- poids initial de semences)			
	1991		1992	
Stades	Colmar	Ostheim	Colmar	Ostheim
4 feuilles	0,82*	0,64*	0,87*	0,81*
8 feuilles	0,42	0,30	0,79*	0,54*
Montaison	0,24	-0,01	0,21	0,21
Floraison	-0,40	-0,61*	-0,42	-0,16

*significatif à 5%

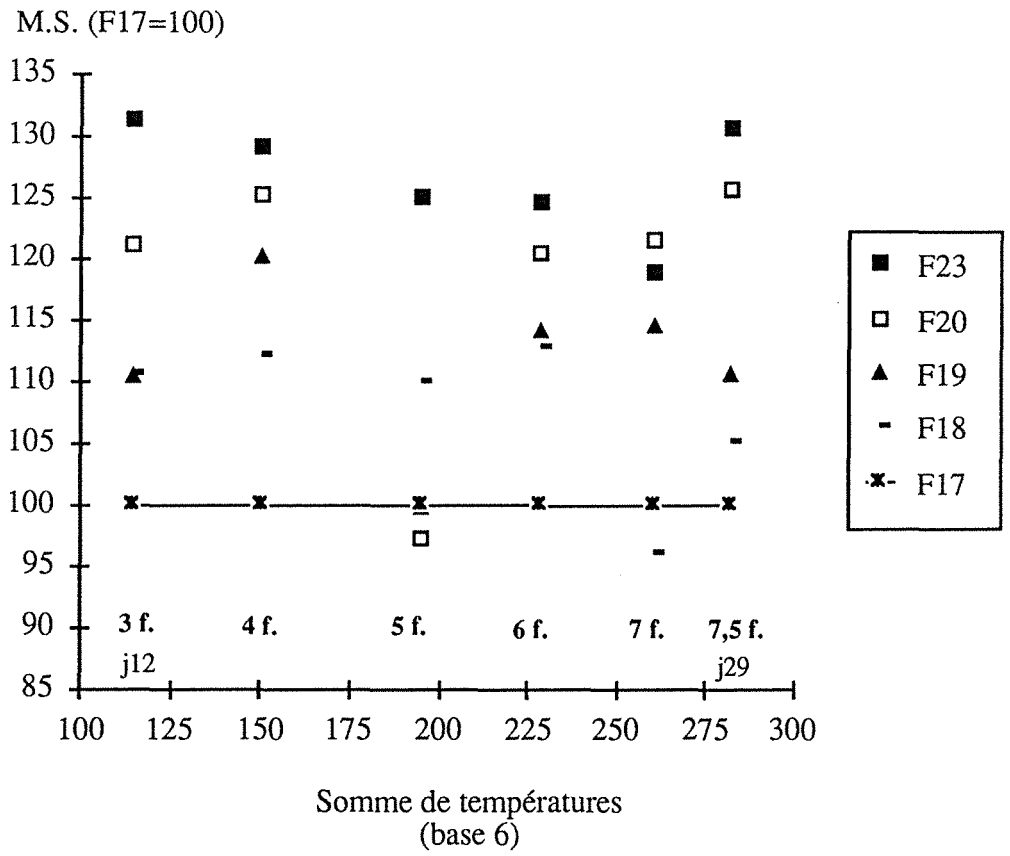
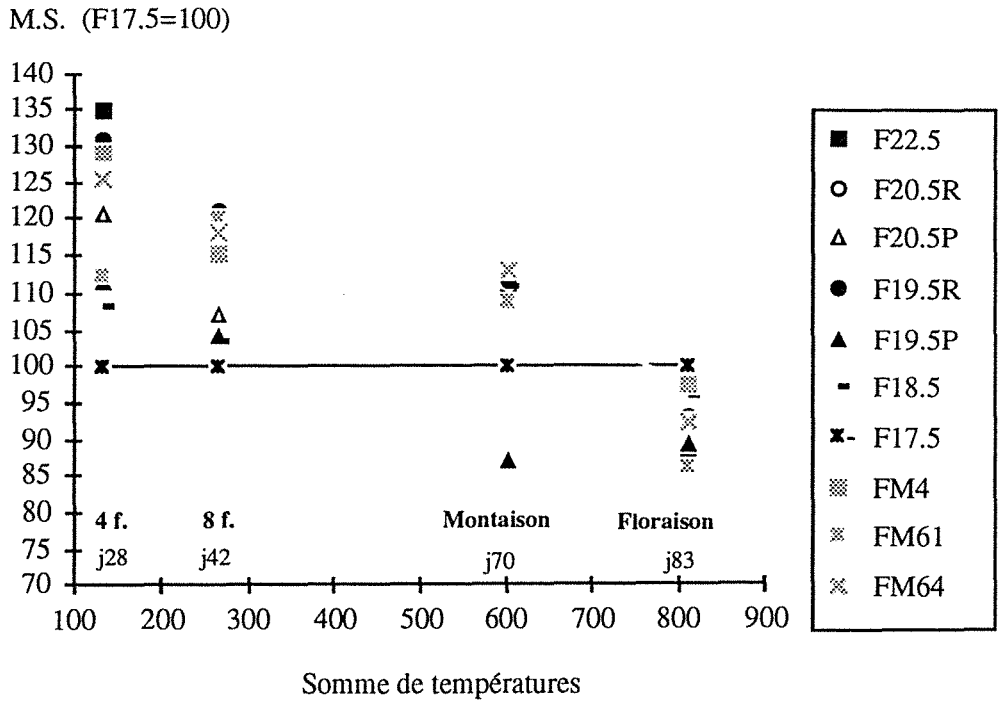


Fig.25 : Matière sèche par fraction (parties aériennes) à Colmar en1990, valeurs relatives (F17=100).

a)



b)

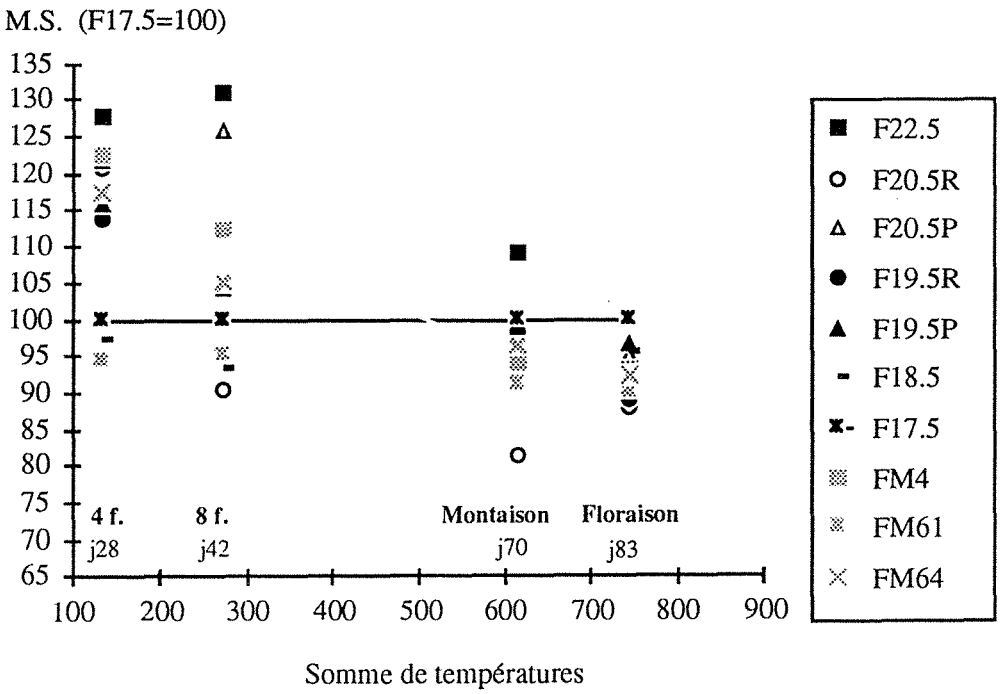
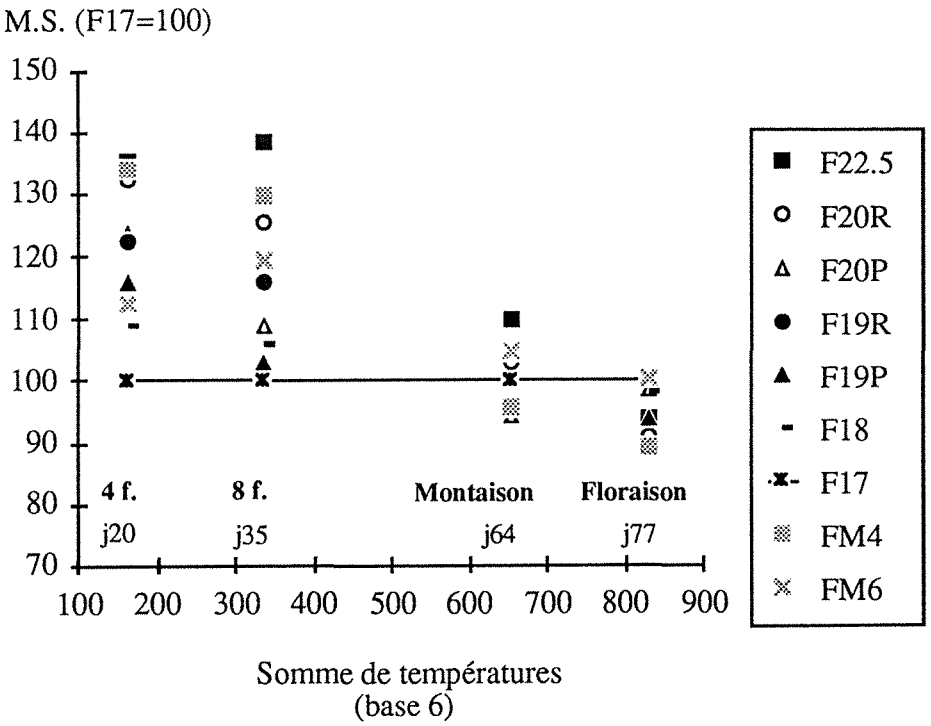


Fig.26 : Matière sèche par fraction (parties aériennes) en 1991, valeurs relatives (F17.5=100).
a) Colmar **b)** Ostheim

a)



b)

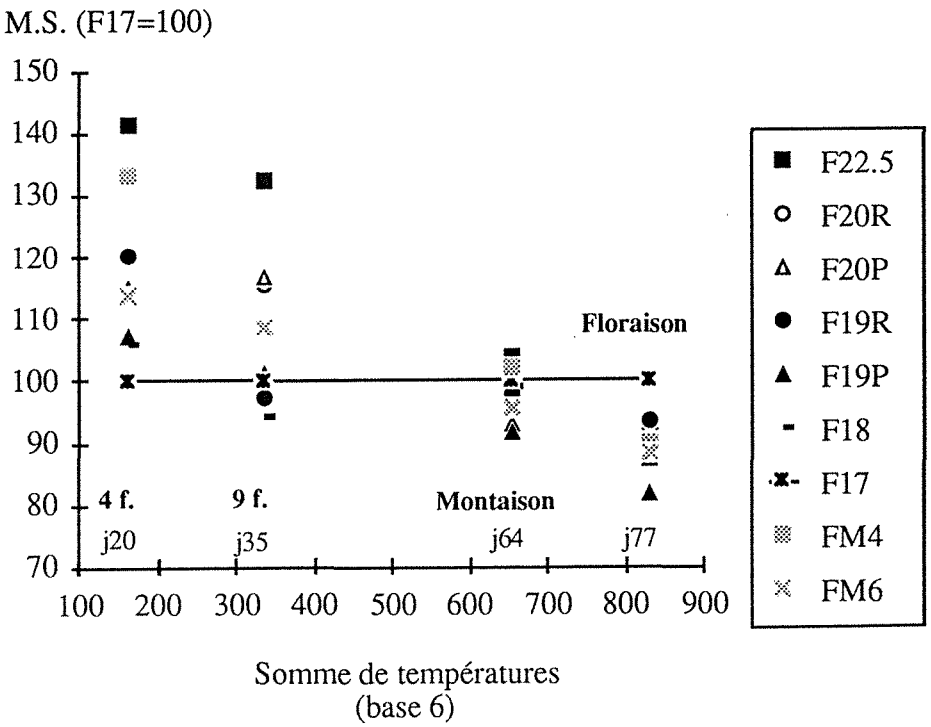


Fig.27 : Matière sèche par fraction (parties aériennes) en 1992, valeurs relatives (F17=100).
a) Colmar **b)** Ostheim

En phase de montaison, les écarts relatifs diminuent fortement et à la floraison, la tendance s'est inversée pour tous les essais, en 1991 et 1992. **A la floraison les plantes issues de F22.5 présentent un retard de croissance d'environ 10% par rapport à celles de F17.5 (F17 en 1992).** Si on considère les distributions des valeurs des répétitions, on n'observe pas de recoupement entre F22.5 et F17.5 en 1991, alors qu'en 1992 elles se recoupent entre F22.5 et F17, ce qui ne permet pas de conclure à des différences pour 1992 (annexes 18 à 21). Le renversement de tendance en 1991 s'est traduit par une corrélation négative entre la matière sèche à la floraison et le poids initial de la semence à Ostheim (Tab.41), alors qu'au stade 4 feuilles elle était positive.

Les tests de comparaison des moyennes révèlent des différences significatives, pour les prélèvements au stade 4 feuilles et pour certains, au stade 7-8 feuilles (Tab.42), tandis que pour les prélèvements en montaison et à la floraison, aucun effet significatif n'a été trouvé. En fait, les dispositifs manquent, en particulier en 1991, de puissance. En plus, celle-ci varie d'une année à l'autre, en raison d'un nombre différent de traitements, **ce qui ne permet pas de dégager des tendances pour d'éventuelles fractions seuils au dessous desquelles, les différences deviennent significatives.**

En ce qui concerne la forme de la semence, les plantes issues des semences rondes présentent une croissance supérieure au stade 4 feuilles, par rapport à celles venant des plates, pour des semences ayant été retenues par la même grille à trous ronds telles que les fractions F20 R et F20 P. Mais dans ce cas, les semences de la fraction ronde sont de poids supérieur. Entre les fractions de poids semblables mais de forme différente F20.5 P et F19.5 R en 1991, et, F20 P et F19 R, les écarts sont faibles et ne vont pas dans le même sens. L'avantage de la fraction F19.5R en 1991, à Colmar, provient d'une répétition dont la valeur est anormalement élevée (Fig.24a). **Il ne ressort donc aucun effet évident de la forme de la semence sur la croissance, à la sortie de l'hétérotrophie**, et par la suite aucune tendance n'apparaît non plus.

Les plantes issues des lots commerciaux ne présentent pas de différences par rapport à celles issues des fractions formées par un calibrage en laboratoire. En 1992, la croissance supérieure des plantes du lot FM4 par rapport à celles de FM6 est logiquement liée à la taille de la semence. L'écart entre ces deux lots diminue par la suite. En 1991, au stade 4 feuilles, les plantes issues du lot FM64, ayant un bon niveau de germination (Tab.29), présentent une croissance pratiquement égale à celles venant de FM4 et nettement supérieure à celles du lot FM61 de qualité germinative légèrement moins bonne (Tab.29) que FM64 (Fig.24a). Ceci a été observé sur les deux sites. Bien que nous n'ayons pas de résultat pour FM64, la différence entre FM61 et FM64 est probablement liée à une légère différence de vigueur qui influe aussi sur la croissance hétérotrophe (ABDUL-HAMID 1986).

Tab.42 : Comparaison des moyennnes des matières sèches par fraction.

a) 1990 **b)** 1991 **c)** 1992

a)

Fractions	j12	j15	j19	j22	j26	j29
F23	a*	a	a	a	a	a
F20	ab	ab	a	a	a	ab
F19	ab	ab	a	a	a	bc
F18	ab	b	a	a	a	c
F17	b	c	a	a	a	c

* Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (test Newman et Keuls)

b)

	Colmar		Ostheim	
Fractions	j28 (4 f.)	j42 (8f.)	j28 (4 f.)	j42 (8f.)
F22.5	a*	a	a	a
F20.5R	ab	a	ab	a
F20.5P	ab	a	ab	a
F19.5R	ab	a	ab	a
F19.5P	ab	a	ab	a
F18.5	ab	a	b	a
F17.5	b	a	ab	a
FM4	ab	a	ab	a
FM61	ab	a	b	a
FM64	ab	a	ab	a

* Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (test Newman et Keuls)

c)

	Colmar		Ostheim	
Fractions	j20 (4 f.)	j35 (8f.)	j20 (4 f.)	j35 (9f.)
F22.5	a*	a	a	a
F20R	ab	a	ab	ab
F20P	abc	a	bc	ab
F19R	abc	a	abc	ab
F19P	bcd	a	c	ab
F18	cd	a	c	b
F17	d	a	c	ab
FM4	ab	a	ab	ab
FM6	cd	a	bc	ab

* Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (test Newman et Keuls)

2.5.2. Surface foliaire

En 1992, les surfaces foliaires des feuilles adultes estimées à partir du produit longueur par largeur sur les plantes prélevées, sont supérieures à Ostheim par rapport à Colmar, dès la 3ème feuille. Sur les 5 premières feuilles à Colmar et les 10 premières à Ostheim, les valeurs de F22.5 sont supérieures à celles de F17 (Fig.28). L'avantage des plantes issues des grosses semences est de l'ordre de 15-20%, pour les feuilles 1, 2 et 4 et plus faible sur la 3, pour les deux sites. Par la suite, cet écart diminue plus rapidement à Colmar qu'à Ostheim. A partir de la feuille 6, à Colmar et de la 11 à Ostheim, les surfaces foliaires des plantes issues de F22.5 sont même légèrement inférieures à celles venant de F17.

2.5.3. Hauteur des plantes

En 1990, les hauteurs mesurées sur les plantes suivies individuellement, laissent apparaître des différences entre les fractions F17 et F23, de l'ordre de 3 cm au stade 4 feuilles (annexe 22). Au stade 11 feuilles, cet écart s'élève à 7 cm environ, et n'est pas plus élevé en 1991 sur les deux sites (annexe 23). Au stade 7 feuilles, les écarts relatifs sont de l'ordre de 13% entre les fractions extrêmes (F17 et F22.5), en 1990 et aussi à Ostheim en 1991, et sont dans les deux cas significatifs (Fig.29 et 30, Tab.43). A Colmar en 1991, F22.5 ne diffère que de 8,5% au plus, par rapport à la fraction des plus petites semences F17.5. La comparaison de moyennes ne donne pas de différence significative, en 1991 à Colmar (Tab.43b). En 1990, au stade 11 feuilles, les écarts entre F23 et F17 ne dépassent pas 9 cm, mais sont du même ordre, en valeur relative, qu'au stade 5 feuilles. A Colmar, en 1991, les différences sont plus faibles à ces stades. Au stade 13-14 feuilles, elles ont aussi diminué en valeurs relatives à Ostheim où un rattrapage s'est donc produit. En tout cas, si des différences de hauteur apparaissent entre plantes issues de semences de taille suffisamment éloignée, elles ne sont pas assez importantes pour provoquer un ombrage sur les plus petites plantes, ce qui handicaperait ces dernières de manière irréversible. dans le cas où elles seraient côte à côte.

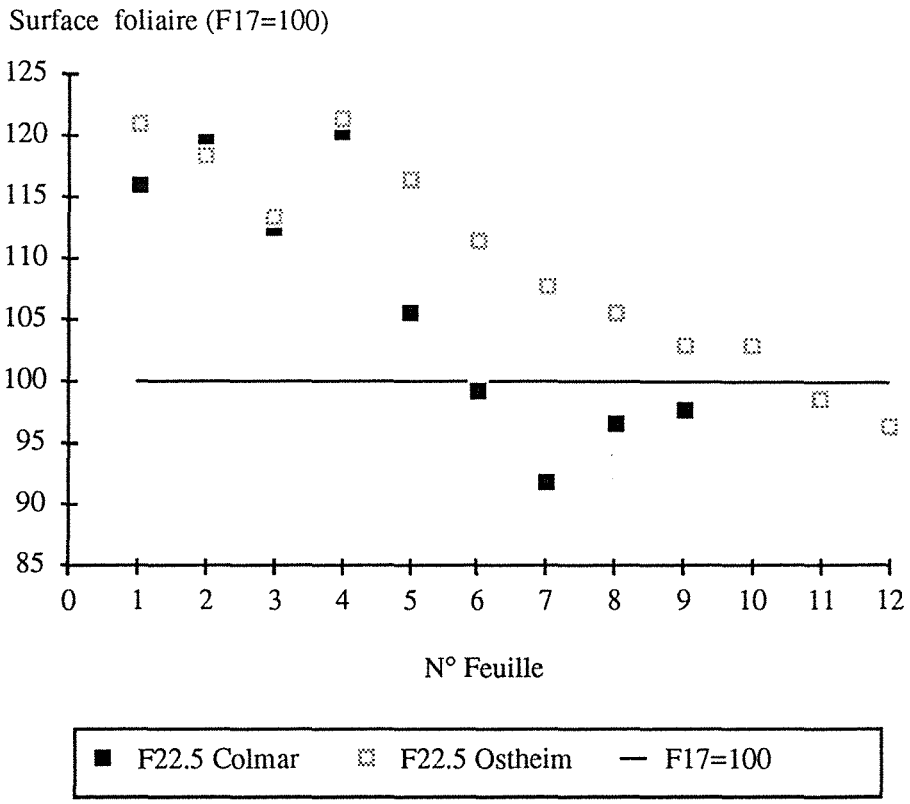


Fig.28 : Surface foliaire par feuille et par fraction en 1992,valeurs relatives (F17=100).

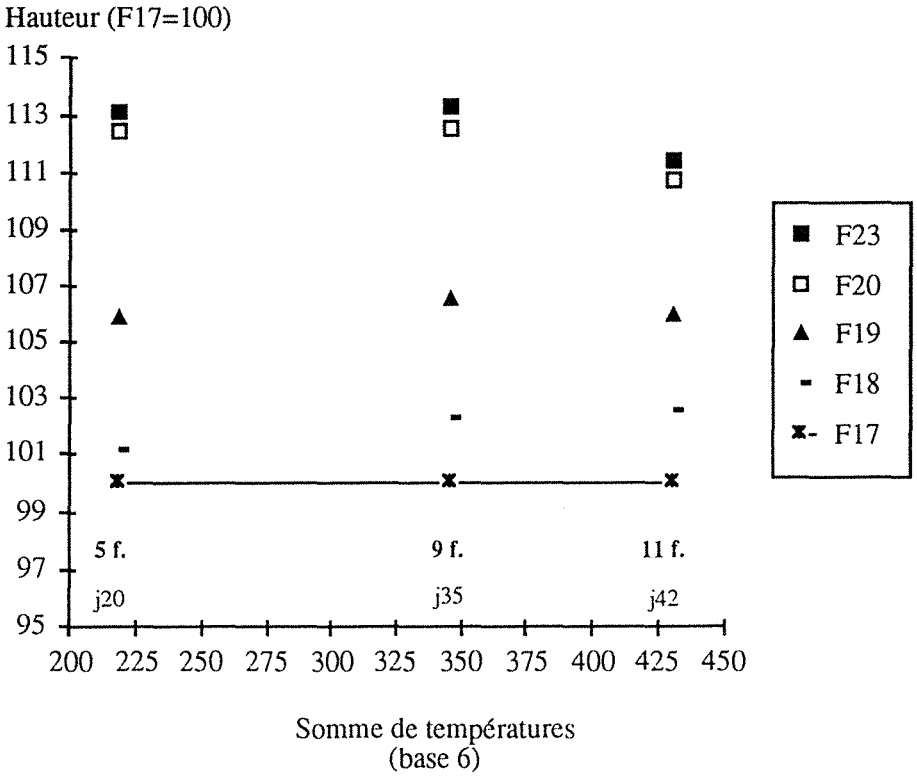
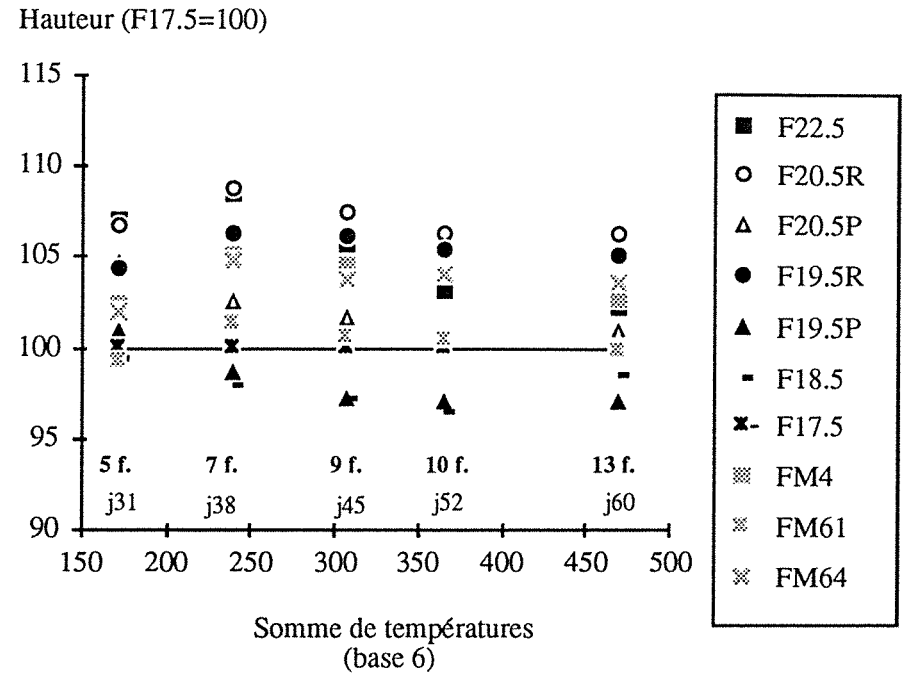


Fig.29 : Hauteur par fraction à Colmar en1990, valeurs relatives (F17=100).

a)



b)

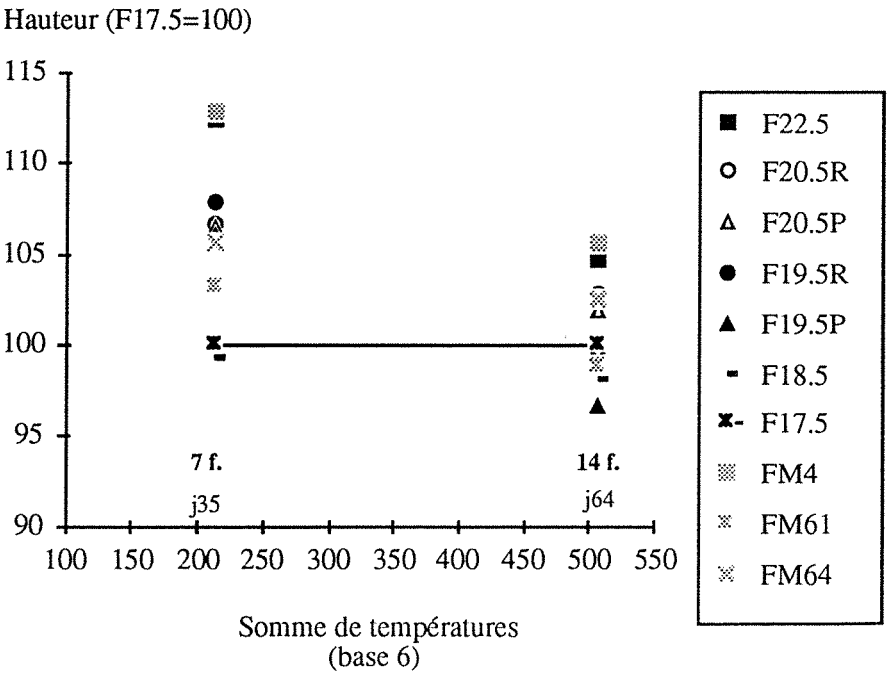


Fig.30 : Hauteur par fraction en 1991, valeurs relatives (F17.5=100).
a) Colmar **b)** Ostheim

Tab.43 : Comparaison des moyennes des hauteurs par fraction.

a) 1990 **b)** 1991

a)

Fractions	j20	j35	j42
F23	a*	a	a
F20	ab	a	a
F19	ab	b	b
F18	ab	b	bc
F17	b	c	a

* Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (test Newman et Keuls)

b)

	Colmar		Ostheim	
Fractions	j31 (5 f.)	j60 (13f.)	j35 (7 f.)	j64 (14f.)
F22.5	a*	a	a	a
F20.5R	a	a	abc	ab
F20.5P	a	a	abc	ab
F19.5R	a	a	ab	ab
F19.5P	a	a	abc	a
F18.5	a	a	c	ab
F17.5	a	a	bc	ab
FM4	a	a	a	a
FM61	a	a	bc	ab
FM64	a	a	abc	ab

* Les valeurs suivies d'une même lettre dans une colonne ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (test Newman et Keuls)

2.5.4. Vitesse de croissance

Entre les stades 4 et 9 feuilles, la croissance en matière sèche peut être modélisée avec un modèle exponentiel. En utilisant des valeurs transformées en logarithmes, on a la relation suivante :

$$\mathbf{Ln\ MS = Ln\ MS_0 + RGR * (t - t_0)} \quad (3)$$

t : est le temps exprimé en somme de température, depuis le semis (base 6°C)
$\mathbf{t_0}$: est le temps initial au stade 4 feuilles, à la sortie de l'hétérotrophie
RGR : est le taux de croissance relatif, c'est-à-dire la vitesse de croissance relative et donne la pente de la droite, si les matières sèches sont exprimées en valeurs logarithmiques.
$\mathbf{Ln\ MS_0}$: est le niveau de croissance initial, à la sortie de l'hétérotrophie

Si pour deux courbes de croissance les pentes sont égales, il n'y aurait pas de rattrapage. Le rapport des matières sèches sera constant et égal à celui des valeurs initiales :

Si, $\mathbf{RGR_1 = RGR_2}$ alors : $\mathbf{Ln\ MS_1 - Ln\ MS_2 = Ln\ MS_{1_0} - Ln\ MS_{2_0}}$

donc : $$\mathbf{MS_1 / MS_2 = MS_{1_0} / MS_{2_0}} \quad (4)$$

La liaison entre les valeurs de matière sèche exprimées en valeurs logarithmiques, et les sommes de températures est très étroite, en 1990 et 1991 (Tab.44). La croissance entre les stades 4 et 8 feuilles est donc bien exponentielle. Le coefficient de cette régression, qui donne le RGR, a été estimé pour chaque fraction. Les valeurs de RGR en 1990, sont supérieures à celles de 1991. Par année, RGR varie très faiblement entre fractions, et ces différences sont non significatives (au seuil de 5%) en 1990 et 1991. Les vitesses de croissance relatives sont donc égales entre fractions, et le rapport des matières sèches initiales doit donc se maintenir durant toute la période considérée, ce qui a été retrouvé à Ostheim en 1991 et à Colmar en 1992. A Ostheim en 1992 ce rapport a déjà diminué au deuxième prélèvement (Fig.27b). Or celui-ci a été effectué au stade 9 feuilles (Tab.35), à un stade où la croissance n'est probablement plus exponentielle.

Tab.44 : Modèle exponentiel de croissance en matière sèche : r^2 et RGR par fraction.
a) 1990 **b)** 1991

a)

Fractions	r2	RGR
F23	0,99	0,0199*
F20	0,99	0,0201*
F19	0,99	0,0201*
F18	0,99	0,0195*
F17	0,99	0,0201*

*significatif à 5%

b)

Fractions	r2	RGR
F22.5	0,97	0,0143*
F19.5R	0,95	0,0146*
F19.5P	0,97	0,0147*
F17.5	0,98	0,0148*

*significatif à 5%

Tab.45 : Vitesse de croissance par fraction en montaison.

a) 1991 **b)** 1992

a)

	vitesses de croissance (g/°C.j)				
	Colmar			Ostheim	
Fractions	j45-j64	j64-j70	j70-floraison	j64-j70	j70-floraison
F22.5	0,086	0,172	0,146	0,161	0,147
F17.5	0,076	0,162	0,207	0,149	0,212

b)

	vitesses de croissance (g/°C.j)			
	Colmar		Ostheim	
Fractions	j35-j64	j64-floraison	j35-j64	j64-floraison
F22.5	0,105	0,175	0,170	0,157
F17	0,097	0,216 (0,193) (1)	0,166	0,202 (0,170) (1)

(1) valeur corrigée (rattrapage sans dépassement de F22.5 par F17 à la floraison)

En phase de montaison, les plantes issues des petites semences ont présenté une vitesse de croissance supérieure à celles provenant des grosses semences dans la dernière partie de la montaison (Tab.45). En 1992, les vitesses de croissance des plantes issues de F17 sont amplifiées, suite à une valeur beaucoup plus élevée d'une répétition, ceci sur chaque site. Nous avons recalculé la vitesse de croissance dans le cas où les plantes de F17 atteindraient le même niveau de matière sèche que celles de F22.5 à la floraison sans le dépasser. Dans ce cas les vitesses de croissance des plantes issues des petites semences restent supérieures.

2.5.5. Discussion

A la sortie de l'hétérotrophie, la croissance en matière sèche varie entre les fractions de semences et est liée à la taille de la semence, et plus précisément à son poids initial. Ces différences proviennent de la croissance hétérotrophe qui dépend de la taille de la semence et de l'importance de ses réserves, comme l'ont montré plusieurs auteurs. En fait, durant la phase juvénile, les plantes issues de grosses semences présentent une vitesse de consommation des réserves séminales supérieure à celles issues de petites semences. Ces effets ont pu être observés au champ pour des fractions de semences, bien que les distributions de poids de semence puissent se recouper entre deux fractions successives.

Durant la période qui suit, la plante entre en phase de croissance exponentielle pendant laquelle **la vitesse de croissance relative ne varie pas en fonction de la taille de la semence.** D'une année à l'autre, nous avons observé une forte variabilité du taux de croissance relatif qui est liée à la température moyenne (FLEURY et al. 1986), et rend compte des différences climatiques entre 1990 et 1991, pour le mois de mai et début juin en particulier (Tab.30). **En fait la mise en place de la machinerie photosynthétique n'a pas été influencée par la taille de la semence.** Mais les conditions pour la levée et la croissance hétérotrophe n'ont pas été extrêmement défavorables. Même si en 1991 les températures n'ont pas été très élevées, le sol a pu se réchauffer car le mois de mars et la première moitié d'avril ont été relativement doux. **Une conséquence de l'absence d'effet de la taille de la semence sur la vitesse de croissance en phase exponentielle est le maintien durant cette période du rapport initial des matières sèches.** Nous l'avons observé pour les fractions extrêmes quant à la taille de semence, donc pour un écart entre les tailles de semences suffisamment grand. Dans ce cas, durant la phase de croissance exponentielle il n'y a pas de rattrapage, ce qui avait été supposé par POMMEL et FLEURY (1989) et POMMEL

(1991). Mais ces auteurs n'avaient pas de données sur les tailles de semences dans leurs expérimentations au champ.

Entre les stades 4 et 8 feuilles, nous avons observé des écarts de croissance de 30% et plus, entre les fractions de taille extrêmes. Pour la hauteur des plantes, les écarts ne dépassent pas 15%. Ceci s'explique par le fait que cette grandeur ne rend compte que d'une dimension. **En tout cas, les différences de hauteur en valeurs absolues restent faibles et n'entraîneraient pas d'handicap irréversible des plantes issues des petites semences.** En fait, durant cette période la plante produit surtout des feuilles. Cependant, pour les premières feuilles formées durant la phase exponentielle, les écarts de surface foliaire ne dépassent pas 20%, et ne rendent pas compte de toute la variabilité de matière sèche. En fait, les feuilles des plantes issues des grosses semences sont probablement aussi plus épaisses et les premiers entre-nœuds de diamètre supérieur. La chute de l'écart relatif entre F22.5 et F17 pour la 3ème feuille pourrait être la conséquence de la crise de croissance passagère, observée par BOURDU et GREGORY (1983) et ABD EL RAHMAN et BOURDU (1986), et qui se produit lors du passage à l'autotrophie. En effet, c'est durant cette crise que la 3ème feuille est en pleine croissance. Or la croissance de plantes issues de grosses semences serait davantage affectée, que celle des plantes provenant de petites semences (ABD EL RAHMAN et BOURDU 1986).

En prenant l'ensemble des fractions, le lien matière sèche - poids de semence devient de plus en plus lâche. Ceci peut traduire l'influence de plus en plus forte des facteurs du milieu dont la variabilité au niveau de chaque plante masque petit à petit l'effet de la taille de la semence. Celui-ci demeure pour des plantes issues de semences de taille suffisamment éloignée. Nous traiterons donc, surtout les résultats des fractions F22.5 et F17.5 pour 1991, et, F22.5 et F17 pour 1992 par la suite. **En phase de montaison, on assiste à un rétrécissement de l'écart entre ces deux fractions. A la floraison, le classement est inversé entre les deux fractions en 1991, où un stress hydrique s'est produit avant floraison. En 1992, avec des conditions d'alimentation en eau plutôt normales, un rattrapage entre les deux fractions s'est produit, sans qu'on puisse conclure à une inversion de tendance.** En fait, les plantes issues des petites semences ont présenté une vitesse de croissance supérieure à celles provenant des grosses semences dans la dernière partie de la montaison. Cependant des points de mesure supplémentaires seraient nécessaires pour préciser l'évolution de la vitesse entre les deux fractions. Plusieurs explications à ce rattrapage peuvent être avancées :

- En 1991, **les conditions stressantes quant à l'alimentation en eau** ont été peut être plus sévères pour les plantes issues des grosses semences. En pleine montaison, celles-

ci présentaient encore une matière sèche supérieure, mais la surface foliaire des feuilles supérieures n'est pas affectée par la taille de la semence, ce qui avait été aussi montré par HAWKINS et COOPER (1979). Or celles-ci sont en pleine activité durant la montaison, alors que les premières dessèchent. L'absence de différence de surface foliaire à ce stade, permet de supposer que la transpiration ait été égale entre les fractions. Mais il est probable que les réserves hydriques du sol sous les plantes issues des grosses semences aient été épuisées plus rapidement, à cause d'une croissance supérieure dans la première moitié du cycle. Si un stress hydrique peut expliquer le renversement de la tendance en 1991, le rattrapage de 1992 reste inexpliqué, puisque avant floraison les conditions d'alimentation hydrique étaient apparemment normales.

– **Un facteur génétique** pourrait aussi intervenir. On peut supposer qu'en situations identiques, les plantes issues de différentes tailles de semences tendent toutes vers un même niveau de croissance potentiel qui est défini par les conditions du milieu, ce qui expliquerait ce rattrapage. Mais il est surprenant que cette régulation se produise seulement dans la dernière partie de la montaison et non progressivement durant tout le cycle.

– Enfin, une explication pourrait provenir de la **concurrence interplante** qui serait plus forte pour les plantes issues de grosses semences. Mais cette concurrence ne proviendrait pas d'une variabilité intrapeuplement plus grande comme le montre le tableau 46, qui donne les coefficients de variation pour des grandeurs mesurées plante par plante. **Cependant, en raison d'un niveau de croissance supérieur à la sortie de la phase de croissance exponentielle, les plantes isssues de grosses semences entreraient plus rapidement en compétition,** et celle-ci serait plus intense pour ces plantes. Ceci se répercuterait sur la croissance foliaire à partir de la sixième feuille. En effet, la différence de surface foliaire diminue entre les fractions extrêmes et les plantes issues de grosses semences ont des surfaces foliaires finales égales à celles des petites, ou même inférieures pour les dernières feuilles. Il est probable qu'en 1991, le stress hydrique ait accentué le phénomène.

Un moyen de vérification du rôle de la concurrence dans la disparition des effets de la taille de la semence, serait de reproduire l'essai à différentes densités de peuplement. Si la concurrence intervenait, les différences de croissance se maintiendraient plus longtemps dans le cas d'un semis à faible densité. En situation extrême, l'effet de la taille de la semence sur la croissance se retrouverait à la floraison, et pourrait alors se répercuter sur le rendement. La taille de la semence et la densité de peuplement pourraient donc interagir, ce qui n'a pas été étudié. Il est à noter que les résultats de POMMEL et FLEURY (1989) sur la croissance exponentielle, qui les ont amené à formuler certaines hypothèses sur les effets de la taille de la semence, ont été obtenus à faible densité (60000 plantes/ha). Ceci pourrait expliquer les différences

Tab.46 : Variabilité interplante par fraction (coefficients de variation C.V.)
a) Hauteur (1991) **b)** Surface foliairesde Colmar (1992)
c) Surface foliaire d'Ostheim (1992)

a)

	Hauteurs C.V. (%)					
	Colmar				Ostheim	
Fractions	j38 (7 f.)	j45 (9 f.)	j52 (10f.)	j60 (13f.)	j35 (7 f.)	j64 (14f.)
F22.5	6,2	7,8	8,4	6,7	7,4	4,6
F17.5	8,3	10,1	10,6	9,0	8,4	5,2

b)

	Surfaces foliaires C.V. (%)								
	N° feuille								
Fractions	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F22.5	15,8	10,8	14,4	11,1	12,1	13,2	13,4	10,2	9,3
F17	14,1	11,7	16,7	15,9	12,9	14,4	13,4	11,4	10,1

c)

	Surfaces foliaires C.V. (%)								
	N° feuille								
Fractions	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F22.5	11,6	10,4	11	12,5	12,3	13,2	9,9	9,6	8,6
F17	12,8	14,7	13,4	12,7	12,6	11,8	10,9	9,7	7,6

de rendements qu'ils ont observées par la suite, entre plantes levées en même temps et ayant eu une croissance exponentielle différente.

Le rôle de la concurrence dans la disparition des effets soulève aussi une question sur le dispositif que nous avons adopté. En effet dans notre étude, nous avons semé séparément grosses et petites semences. Mais, si elles étaient côte à côte, elles entreraient directement en compétition et dans ce cas, les plantes issues des grosses semences pourraient conserver leur avantage, en l'absence de contrainte hydrique du moins. Ceci reste à vérifier. Cependant, la combinaison des fractions extrêmes ne se fait pas dans la pratique en raison de problèmes de semis. D'autre part, au champ, la rencontre de deux semences de poids suffisamment éloignés, pour que les effets persistent, reste un cas rare. Ainsi nous avons calculé la probabilité que deux semences dont le poids varie d'au moins 90 mg, soient côte à côte. Nous avons effectué ce calcul à partir des distributions des poids du lot FM6 de 1992 qui présente une forte amplitude. Nous avons choisi la limite pour la différence des poids de sorte qu'elle corresponde à l'écart entre les moyennes des fractions extrêmes de 1991, plus petit que celui en 1990 et 1992 (Tab.27). La probabilité est de 0,13, ce qui est faible.

Les lots commerciaux n'ont pas manifesté un comportement particulier, par rapport aux fractions que nous avons formées. En fait l'hétérogénéité des poids de semences à l'intérieur de ces lots n'est pas beaucoup plus élevée que dans les fractions (cf. 1.2.). Il n'y aurait donc pas une plus grande hétérogénéité de croissance des plantes à l'entrée en compétition, ce qui aurait pu entraîner un effet négatif sur le résultat final.

En ce qui concerne la forme plate ou ronde des semences aucun effet n'a été observé sur la croissance, ni sur le développement. Les semences rondes ou plates n'ont donc pas de caractéristiques intrinsèques différentes autres que la vigueur, qui produiraient des différences de croissance ou de développement. La conclusion n'est pas étendue aux semences rondes passées par un traitement industriel, qui peuvent avoir une qualité germinative inférieure à cause de fissures ou de cassures occasionnées par les chocs mécaniques.

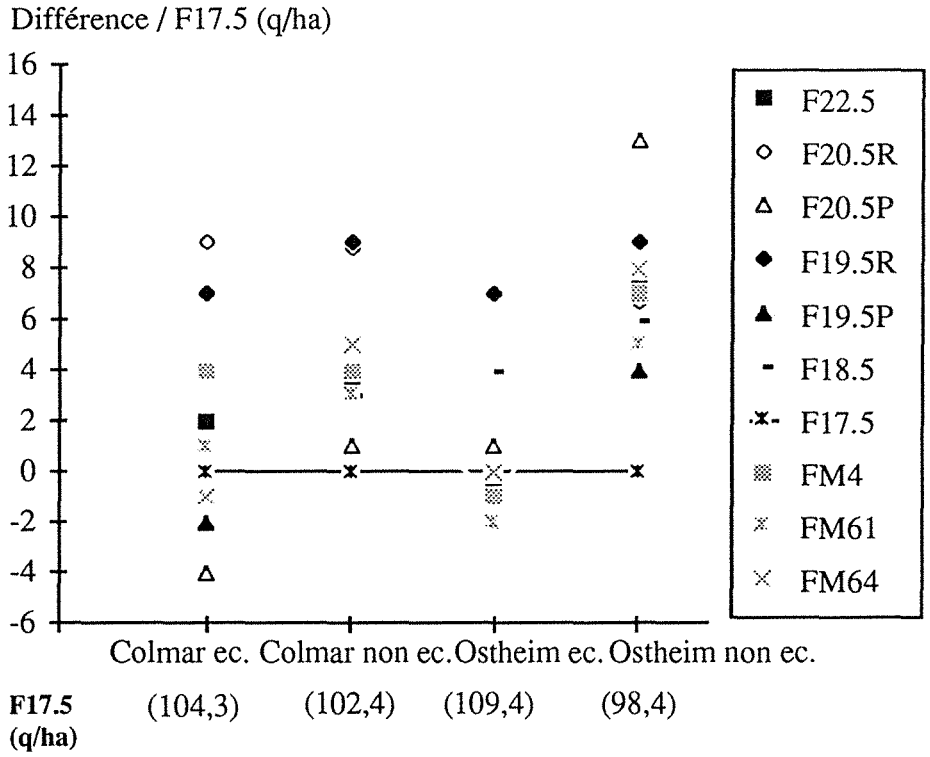
2.6. Rendement en grain

Les niveaux de rendement en grain ramenés aux normes et en quintaux/ ha, sont supérieurs à 98 qx (Tab.47), ce qui est bon pour des situations non irriguées (84 qx de moyenne en Alsace en 1992). Si on prend l'ensemble des essais, il ne ressort aucune tendance claire dans le classement des fractions, qui ne suit pas l'ordre des tailles de semences.

Tab.47 : Rendement en grain moyens par essai sur rangs récoltés (ramenés aux normes et à l'hectare).

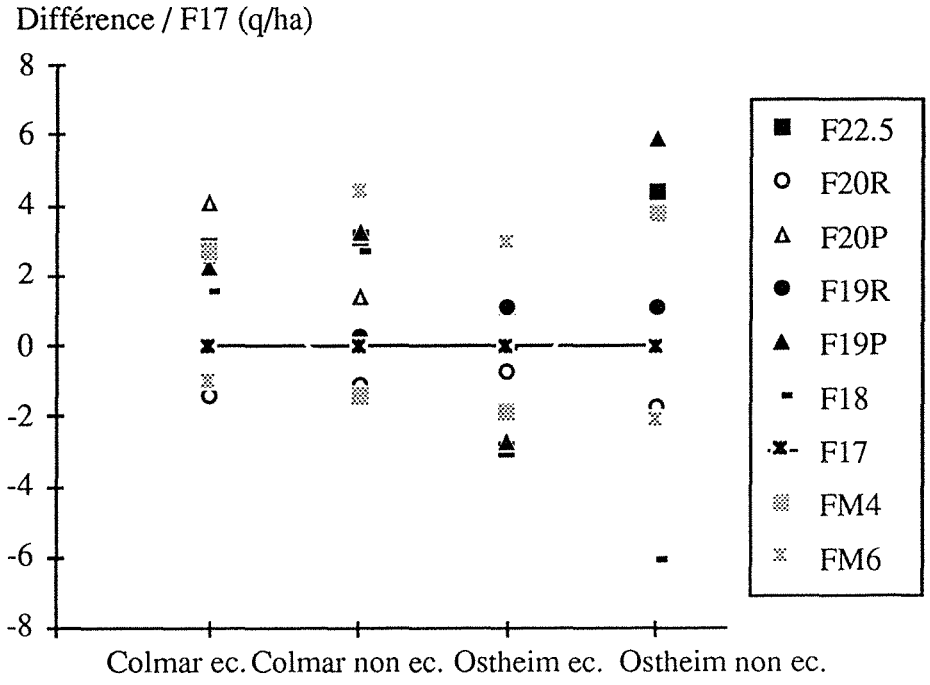
Essais	Rendements (q/ ha) 1991	1992
Colmar ecl.	104,4	103,6
Colmar non ecl.	102,4	105,3
Ostheim ecl.	109,4	95,2
Ostheim non ecl.	98,4	99,1

a)



F17.5 (q/ha)	(104,3)	(102,4)	(109,4)	(98,4)

b)



F17 (q/ha)	(103,6)	(105,3)	(95,2)	(99,1)

Fig.31 : Ecart de rendement (q/ha) par fraction par rapport à la fraction de petites semences (F17.5 ou F17).

a) 1991 **b)** 1992

De même, aucun effet de la forme de la semence sur le rendement en grain n'a été mis en évidence. Aucune différence systématique n'a été observée entre plantes issues des fractions de grains plats et celles de grains ronds (Fig.31). En 1991 sur l'essai non éclairci d'Ostheim, F17.5 se détache largement. Mais dans ce cas, près de 64% de la variabilité du rendement était expliqué par le nombre d'épis récoltés. Ces écarts ne sont donc pas dus aux caractéristiques de la semence. Les fractions F20.5R et F19.5R se détachent des autres à Colmar en 1991 respectivement dans deux et trois essais sur quatre. Cependant pour l'essai éclairci de Colmar, F19.5R ne doit sa supériorité qu'à une répétition. D'autre part, cette tendance n'a pas été retrouvée en 1992.

Il est à noter que dans l'essai éclairci de Colmar de 1992, le premier bloc situé sur précédent maïs n'a pas présenté de rendement supérieur, par rapport aux autres (103,8 contre 105,8qx/ha, pour la moyenne des blocs 2 et 3), situés sur précédent colza, pourtant plus défavorable au développement et à la croissance (cf. II-2.3. et 2.5.). Dans aucun des essais, des différences significatives n'ont pu être mises en évidence. Les composantes de rendement n'ont pas non plus été affectées par la taille de la semence. En effet, les différences entre F22.5 et F17.5 (F17 en 1992) sont faibles, et ne varient pas dans le même sens d'une année à l'autre (Tab.48). Nous avons corrélé le rendement en grain au niveau de croissance correspondant. En 1991, les meilleures corrélations ont été obtenues à Colmar, entre le rendement (essai non éclairci) et la matière sèche en cours de montaison (r=0,51), et la hauteur à j60 (r=0,70). La matière sèche à la floraison et le rendement en grain ne sont pas corrélés. En 1992, le rendement est corrélé avec la matière sèche en cours de montaison et à la floraison (r=0,53). A Ostheim, les corrélations ne sont pas significatives.

Les résultats du suivi plante à plante en 1991, tendent à mettre en évidence une différence de rendement entre F22.5 et F17.5, bien que les écarts ne soient pas significatifs (Tab.49). Cependant, les valeurs des répétitions se recoupent entre fractions dans les deux essais, ce qui ne permet pas de conclure. Aucune différence n'apparaît non plus, entre les fractions F22.5 et F17.5 pour les composantes de rendement, si ce n'est pour le nombre de rangs à Ostheim (Tab.49). Mais le nombre de grains par épi n'est pas affecté. A Colmar, les rendements du suivi sont faiblement corrélés avec la hauteur à j60 (r=0,60), et la matière sèche en cours de montaison (r=0,45), mais non avec la matière sèche à la floraison des plantes prélevées.

Tab.48 : Composantes de rendement par fraction sur rangs récoltés.

Composantes	1991		1992	
	F22.5	F17.5	F22.5	F17
Nombre rangs / épi	13,6	13,2	13,6	13,6
Nombre grains / rang	31,0	31,9	28,3	27,8
Nombre grains / épi (1)	420	421	384	377
Poids 1000 grains (2)	336	342	320	327

(1) calculé (2) ramené à 15% d'humidité

Tab.49: Rendement et composantes de rendement par fraction sur suivi plante à plante (1991).

	Colmar		Ostheim	
	F22.5	F17.5	F22.5	F17.5
Rendement / plante (g) (1)	131,5 a*	137,8 a	138,4 a	143,7 a
Nombre rangs / épi	13,4	13;5	14,1	13,6
Nombre grains / rang	31,7	32,0	30,0	30,6
Nombre grains / épi (2)	425	431	417	415
Poids 1000 grains (g) (1)	320	326	349	354

(1) ramené à 15% d'humidité (2) calculé

* Les valeurs suivies d'une même lettre ne sont pas significativement différentes au seuil de 5 % (test Newman et Keuls)

Aucun effet de la taille et de la forme de la semence sur le rendement en grain n'a été mis en évidence. Ceci rejoint les résultats des différents auteurs cités dans la bibliographie. Nos données sur la croissance à la floraison et les dates de celle-ci, permettent de comprendre cette absence de liens entre le rendement en grain et les caractéristiques de la semence. Nous avons vu que l'effet initial de la taille de la semence ne pouvait se répercuter sur le rendement en grain, que s'il se maintenait jusqu'à la floraison. La matière sèche, à ce stade déterminerait le potentiel de remplissage du grain. D'autre part, l'homogénéité des dates de floraison entraîne des durées de remplissage du grain, semblables pour toutes les fractions. Il n'y a donc pas d'effet de la durée de la phase de remplissage Il est à noter, que les résultats de rendement sont faiblement liés à la croissance, ce qui est probablement dû aux conditions sèches post floraison qui influent sur le remplissage. Durant cette phase, la pluviométrie a été faible (Tab.30). Mais, les niveaux de rendement et les valeurs des composantes de rendement des deux années d'expérimentations ne sont pas inférieurs aux valeurs de référence (LORGEOU 1991). **Même si on se plaçait dans de très bonnes conditions de remplissage, ce qui entraînerait une réalisation du potentiel d'assimilation lié à la matière sèche à la floraison, nos conclusions ne seraient pas modifiées, puisque, ni la taille de la semence et ni sa forme n'influent sur la matière sèche à la floraison, et donc sur le potentiel de remplissage.**

III- CONCLUSION

Le calibrage d'un lot brut de semences par passage à travers des grilles à trous ronds, de diamètre décroissant permet d'obtenir des fractions de semences dont le poids moyen est lié positivement à la taille des trous ou calibre. Si pour les grains plats, il existe une liaison entre calibre et la largeur de chaque semence, pour les grains épais ou ronds, il n'existe pas de relation générale avec les caractéristiques de la semence. La forme variable des grains, en particulier pour les ronds, en est la raison, d'où l'origine de la liaison lâche entre le calibre et le poids de semence individuel. Ainsi, à l'intérieur de chaque fraction, il existe une variabilité de poids qui a pour conséquence, un recoupement des distributions de deux fractions voisines.

Au champ, aucun effet de la forme plate ou ronde des grains n'a été observé sur la levée et sur la suite du cycle, ceci pour des semences de même qualité germinative. Les dates de levée et de floraison ne dépendent pas non plus de la taille de la semence. Celle-ci n'entraîne que de faibles écarts de développement foliaire, sans conséquence sur le nombre final de feuilles. En ce qui concerne la croissance, des différences nettes

liées à la taille et plus précisément au poids de semence, existent au stade 4 feuilles et proviennent de la dépendance étroite entre la matière sèche de la plante et l'importance des réserves, en phase d'hétérotrophie. Dans la suite du cycle, la vitesse de croissance, en phase exponentielle, n'est pas influencée par la taille de la semence. Ainsi durant cette phase, les écarts de croissance en valeurs relatives se maintiennent à peu près pour les fractions de semences de taille extrême. En fait, cet effet de la taille de la semence sur la matière sèche des plantes se répercute surtout sur la surface foliaire, alors que les écarts de hauteur restent faibles. Cependant dans la seconde moitié de la phase de montaison, les différences de croissance diminuent et disparaissent à la floraison. Ceci explique l'absence d'effet sur le rendement que plusieurs auteurs avaient déjà observée. La concurrence plus précoce et plus intense entre plantes issues des grosses semences, en raison d'une croissance supérieure est probablement la raison de ce rattrapage.

Ce rôle de la compétition interplante soulève la question des interactions taille de semence-densité de peuplement. Dans le cas extrême d'une densité faible, l'avantage initial des plantes issues de grosses semences pourrait se maintenir jusqu'à la floraison et pourrait affecter le rendement. Mais le gain dû à la taille de semence serait probablement négligeable par rapport aux pertes entraînées par une diminution de la densité de peuplement.

Enfin, ces résultats ont été obtenus dans différentes conditions pédologiques et climatiques, plus ou moins favorables, notamment en phase de croissance exponentielle et en cours de montaison, ce qui permet de les extrapoler. Cependant, des stress très sévères n'ont pas été observés durant les deux années d'expérimentation, en particulier pendant la phase juvénile, stress qui pourraient modifier ces conclusions.

TROISIEME PARTIE : INTERACTIONS TAILLE DE LA SEMENCE-CONDITIONS PEDOCLIMATIQUES

L'objectif dans cette dernière partie de notre travail est l'étude des effets de la taille de la semence sur la croissance junévile en conditions difficiles de stress (températures froides, sècheresse). Nous envisagerons donc les interactions entre les caractéristiques de la semence et certains facteurs du milieu.

Pour cette étude, nous avons décidé de mener les essais en chambre de culture où les stress sont plus facilement contrôlables, pour une période englobant la croissance hétérotrophe. Bien qu'il soit impossible de reproduire en conditions contrôlées celles qui prévalent au champ, nous nous sommes efforcés de ne pas trop nous en éloigner. En effet, un des objectifs de l'étude est de travailler dans des conditions rencontrées par l'agriculteur. La suite du cycle a été étudiée au champ après repiquage d'une partie des plantes.

I- MATERIEL ET METHODES

En 1991 et 1992, l'étude comportait 3 traitements:
- un essai témoin avec des conditions favorables (chaudes et humides).
- un essai froid avec des températures froides et des conditions hydriques non limitantes.
- un essai sec avec les mêmes températures que le premier, accompagnées d'un stress hydrique.

En raison du nombre de plantes nécessaires pour le repiquage et de la place limitée dans la chambre, nous avons été obligés de réduire le nombre de fractions à trois. En 1991, les fractions **F22.5**, **F19.5** (sans séparation plats-ronds) et **F17.5**, et, en 1992, **F22.5**, **F19** (non séparée) et **F17** ont été utilisées pour cette étude. Pour tous les essais nous avons adopté un dispositif en blocs aléatoires complets à 4 répétitions.

1. Etude en chambre de culture

En raison de la nature des traitements (régimes thermiques différents) et de l'obligation de repiquer les plantes au même moment et à stade identique, nous avons dû utiliser deux chambres de culture. Celles-ci présentent un fonctionnement différent (aération, régulation), et l'éclairage n'est pas identique.

Tab.50 : Températures moyennes 1986-1990 à Colmar : avril (décade 3) et mai (décades 1 et 2).

Périodes	Année 1986	1987	1988	1989	1990	moyennes 1986-90
avril (déc. 3)	10,7	13,8 21,7/5,9 (1)	10,7	7,9	10,6	10,7
mai (déc. 1)	15,0	11,5 16,9/6,0 (1)	15,9	14,0	17,2 24,2/10,2 (1)	14,7
mai (déc. 2)	17,3	10,3 14,1/6,5 (1)	17,0	15,9	16,3	15,4

(1) Température maxi / mini

Tab.51 : Protocole des essais en chambre de culture.
a) 1991 **b)** 1992

a)

	Témoin	Froid	Sec
Photopériode	14 h 30	14 h 30	14 h 30
Température °C jour / nuit	22 / 12	20 / 8 (1) - 15 / 8	20 / 8 (1) - 22 / 12
Régime hydrique	non limitant	non limitant	limité après levée
Date de semis	6 / 5 / 91	22 / 4 / 91	26 / 4 / 91

(1) avant levée

b)

	Témoin	Froid	Sec
Photopériode	14 h 30	14 h 30	14 h 30
Température °C jour / nuit	22 / 12	20 / 8 (1) - 15 / 5	22 / 12
Régime hydrique	non limitant	non limitant	limité après levée
Date de semis	15 / 5 / 92	23 / 4 / 92	11 / 5 / 92

(1) avant levée

La chambre (n°1) où l'essai froid a été mis en place, était équipée de tubes fluorescents. La seconde possédait des lampes à vapeur de sodium haute pression 400W, placées dans un caisson mobile. Cette contrainte expérimentale a pu constituer un biais au dispositif. Pour l'éclairage, une différence de qualité du rayonnement (annexe 24) pourraient influer sur les résultats, en particulier sur les processus morphogénétiques (THOMAS 1981). Par contre, durant la période étudiée (phase hétérotrophe), l'éclairement photosynthétique a une faible importance. Néanmoins au niveau quantitatif, nous avons cherché en 1992 à rapprocher les intensités en jouant sur la hauteur du caisson de la chambre n°2.

Les conditions de températures et la photopériode ont été inspirées des données météorologiques de Colmar (Tab.50). Dans cette région, le maïs est semé en général dans la 2ème moitié d'avril. Nous avons donc pris en compte les données de la 3ème décade d'avril et celles de la 1ère décade de mai.

Pour l'essai froid, nous avons imposé les conditions froides seulement après la levée, pour éviter les risques d'une levée étalée. Ceci aurait produit des interactions non désirées avec la croissance. De même, pour l'essai sec, le stress a été appliqué en cours de croissance, suite à un arrêt de l'arrosage après la levée.

1.1. Protocoles

Les protocoles pour 1991 et 1992 sont résumés dans le tableau 51. La photopériode correspond à celle de la fin du mois d'avril.

Pour les traitements témoin et sec, la température moyenne imposée après levée, a été inspirée par celle de la 1ère décade de mai 1990. Pour le traitement sec, en 1992, nous avons appliqué aux 8 et 9ème jours (j8 et j9) une température élevée (30/15°C), pour accélérer le dessèchement. Un tel pic de chaleur n'a été que légèrement supérieur à ceux observés au cours du mois de mai 1992. Du fait que le traitement témoin ait été placé dans la même chambre, il a subit cette période chaude à j4 et j5, ce qui correspond aux 2 premiers jours de levée. En raison de l'arrosage abondant de ce traitement, le pic de chaleur n'a pu que favoriser la croissance du témoin qui a donc bénéfié de conditions un peu plus favorable encore.

Pour le traitement froid, le régime appliqué en 1991 a été inspiré des évènements climatiques de 1987. En effet, la dernière décade d'avril a été plus chaude que celle de la première décade de mai, auxquelles nous avons fait correspondre respectivement le régime avant levée et celui pour la croissance. En 1992, nous avons abaissé les températures du traitement froid proprement dit. La moyenne de 10°C est proche de la 2ème décade de mai 1987. Cette valeur comme celle de 1991 est plus sévère que le

traitement appliqué par DERIEUX et al. (1989). Ces auteurs ont travaillé avec une alternance de 15/10°C et une photopériode de 16h. Le régime de 1992 est à rapprocher de celui appliqué par GAY et al. (1991), dans leur étude du maïs, au stade jeune 14/4°C avec une photopériode de 16h.

Pour fixer les conditions de l'alimentation hydrique, nous nous sommes appuyés sur des données non publiées de METTAUER de l'I.N.R.A. de Colmar, concernant le sol utilisé. D'après cet auteur, le point de flétrissement (pF=4,2) de ce sol de type limon argileux se situe à 10%. La capacité au champ (pF=2,7 plus proche de la réalité que 3) correspond à 29% d'humidité.

En se basant sur ces données, nous avons fixé en 1991 le niveau d'humidité à la capacité au champ supposée, c'est-à-dire à 29%, pour les régimes non limitants, à l'exception de l'essai à sec, avant la levée, pour lequel l'humidité a été élevée à 25% (85% environ de la capacité au champ). En 1992, nous avons appliqué cette valeur pour tous les essais afin d'éviter des problèmes d'asphyxie, dus à un excès d'eau. Pour les traitements témoin et froid, nous n'avons pas laissé descendre l'humidité en dessous de 15% (50% environ de la capacité au champ). Elle a été ramenée plusieurs fois à la valeur désirée.

1.2. Mise en place

Les trois traitements ont été mis en place avec un décalage entre eux, compte tenu des vitesses de croissance probables sous l'effet des traitements, afin de minimiser les écarts de développement au repiquage.

Les semences ont été semées à 1 cm de profondeur dans des pots en plastique carrés, de 7*7*8 cm. Le substrat utilisé était le même type de sol que celui des parcelles d'expérimentation de Colmar. Il a été séché et au moment du semis, et son taux d'humidité se situait entre 5 et 10%. En 1992, le sol a été tamisé.

Afin de pouvoir contrôler l'humidité, chaque pot a été rempli d'une masse de terre variant entre 200 et 205 g en 1991, et de 190-191 g en 1992. Pour 10 pots témoins par essai, nous avons noté la valeur exacte. Connaissant en plus, le poids de ces pots vides et l'humidité de départ, nous avons pu suivre l'évolution de l'humidité par simple pesée de ces pots. Il était ainsi possible de calculer la quantité d'eau à apporter, pour ramener le sol à un certain niveau d'humidité. Cette valeur moyenne a été extrapolée aux pots de l'essai. L'arrosage a été effectué au départ, pot par pot, avec un tube à essai. Pour l'essai froid après la fin des prélèvements, et après le stress hydrique pour l'essai sec, nous avons utilisé l'arrosoir.

1.3. Mesures

La levée a été notée pot par pot et la date a été enregistrée pour chaque plante. Dans la mesure du possible, nous avons prélevé des plantes levées le même jour. Un prélèvement de 4*5 plantes par fraction en 1991 et deux en 1992 ont été réalisés pour chaque essai. En 1991, le nombre de plantes n'était pas suffisant pour un second prélèvement pour le témoin, en raison d'un problème de levée. A l'intérieur d'un groupe de levées, les plantes ont été tirées aléatoirement.

En 1992, nous avons prélevé les plantes à un stade donné, ce qui nous permettra de comparer entre essais les résultats de croissance, et d'évaluer l'effet du traitement, en supposant que les conditions différentes entre les chambres n'aient pas influencé les résultats. En 1991 la correspondance entre les stades foliaires des plantes des différents traitements au moment des prélèvements n'a pas été si précise.

Lors de chaque prélèvement, nous avons noté le nombre de feuilles. Après dissection, nous avons déterminé la matière sèche des parties aériennes, des racines et du reste de la semence, après séchage à l' étuve à 80°C pendant 48h environ. Ces mesures ont été effectuées plante par plante.

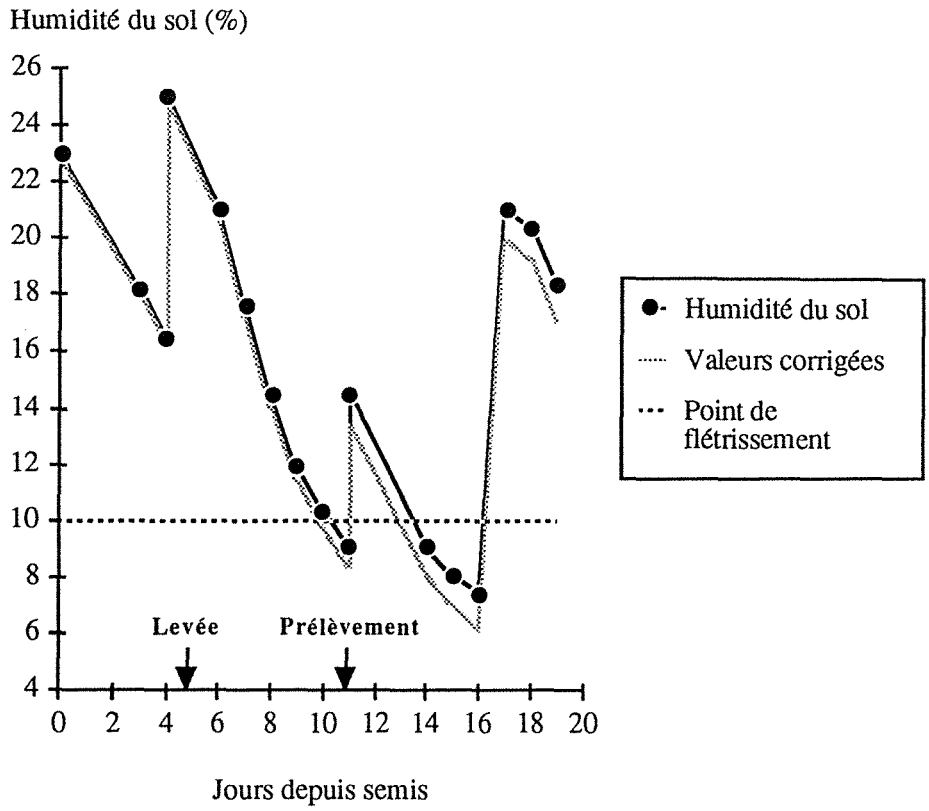
Le contrôle de l'intensité lumineuse s'est effectué à l'aide d'un quantummètre (MACAM Q101). Les mesures ont été effectuées à la surface des pots, tous les 20 cm, selon un quadrillage couvrant l'aire de la chambre. A partir de ces résultats, nous avons cherché à rapprocher au maximum l'intensité de la chambre n°2 à celle de la n°1. Ainsi le plafond lumineux a été remonté au maximum dans la chambre n°2. Nous avons aussi déterminé l'intensité lumineuse reçue par chaque plante prélevée, dont la position par rapport au quadrillage était connue, par calcul d'une moyenne de l'éclairement au centre du pot, pondérée en fonction de l'éloignement des points du quadrillage.

2. Etude au champ

Les plantes non prélevées en chambre ont été repiquées au champ, afin de poursuivre l'étude jusqu'à la récolte, et de comparer les rendements. Ceci nous a amené à contrôler les conséquences d'éventuelles interactions taille de la semence-conditions pédoclimatiques pendant la phase juvénile, au niveau du rendement.

Pour chaque essai, le repiquage s'est fait selon un dispositif en blocs aléatoires complets à 4 répétitions, qui correspondaient à celles des chambres de culture. En 1991, 23 plantes en moyenne (16 pour 1 répétition de F17.5 de l'essai froid), et 20 en 1992, par fraction et répétition de chaque essai, ont été replantées sur un rang. En 1991 et 1992, les plantes ont été repiquées respectivement le 23.5.91 et le 27.5.92 au stade 4 feuilles.

a)



b)

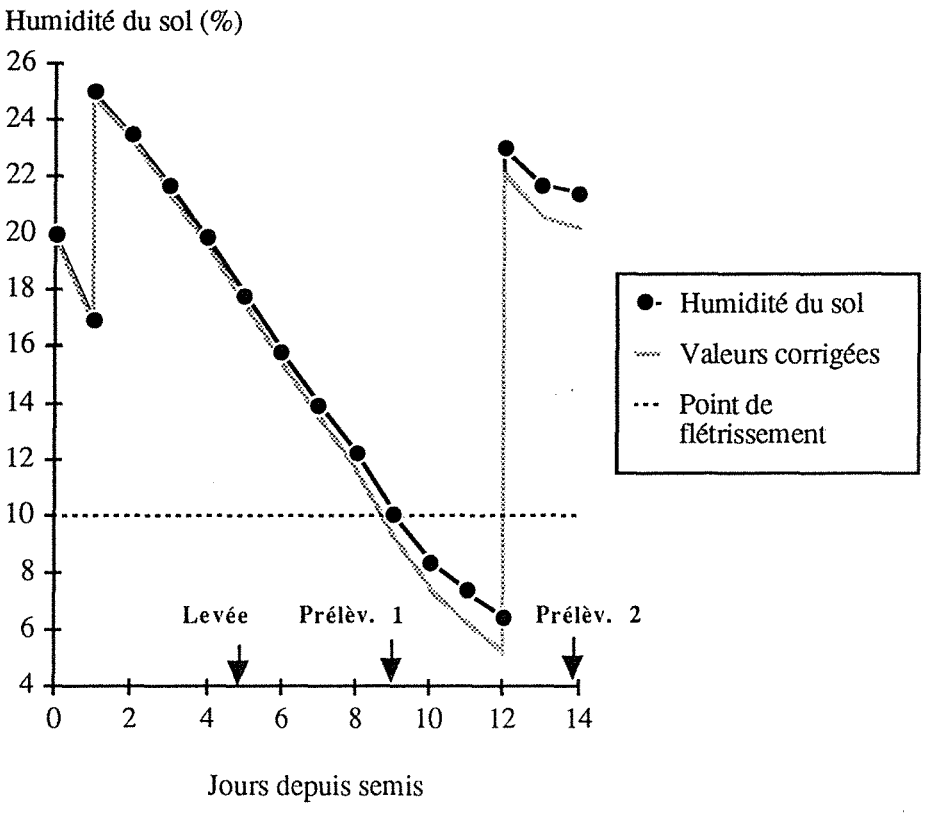


Fig.32 : Evolution de l'humidité du sol du traitement sec.
a) 1991 **b)** 1992

Afin de minimiser le stress lié au repiquage, nous avons pris certaines précautions. Les plantes ont été sorties plusieurs heures avant repiquage et placées à l'ombre, évitant ainsi une exposition trop brutale au soleil. Les pots ont été arrosés abondamment, pour conserver une motte de terre autour des racines. Puis, après plantation, nous avons butté l'essai et bien arrosé. L'itinéraire technique suivi sur les parcelles a été proche de celui sur les expériences en microparcelles (annexe 6).

La date de floraison femelle a été notée, et, à la récolte le rendement en grain, l'humidité, le poids de 1000 grains (effectué sur 100 grains) et le nombre d'épis anormaux ont été déterminés.

II. RESULTATS

1. Etude en chambre de culture

1.1. Mesures de contrôle

1.1.1. Suivi de l'humidité du sol

L'humidité du sol a été contrôlée sur 10 pots de chaque essai, par pesée régulière de ceux-ci. Pour les essais témoin et froid, elle n'est pas descendue en dessous de 15%, c'est-à-dire environ 50% de la capacité au champ. Dans le cas de l'essai sec, nous avons arrêté l'arrosage après la levée, ce qui a entraîné un dessèchement du sol (Fig.32). En 1991, le premier prélèvement se situe au deuxième jour après que l'humidité du sol a atteint le point de flétrissement (Fig.32a), estimé à 10% en humidité pondérale par METTAUER de l'I.N.R.A. de Colmar (non publié). En 1992, nous avons prélevé les plantes le jour où cette valeur critique a été atteinte (Fig.32b). Le second prélèvement a été réalisé deux jours après la levée du stress, qui a compris 4 jours où l'humidité a été inférieure ou égale au point de flétrissement. En 1991, l'humidité du sol s'est trouvée 5 à 6 jours dans cette zone. Le stress a donc été plus intense en 1991 qu'en 1992, mais a été interrompue par une période de réhumectation (Fig.32a).

Cette estimation de l'humidité par pesée ne donne que des valeurs approximatives. Lors de la réhumectation, la correspondance pF-humidité pondérale n'est pas identique à celle en dessiccation (phénomène d'hystérésis). D'autre part, nous avons semé les pots servant à cette estimation. Les calculs n'ont pas tenu compte du poids (inclu dans celui du pot) des plantules, qui ont prélevé une certaine quantité d'eau. Nous avons donc surestimé l'humidité pondérale du sol. Cette teneur est en toute rigueur fonction du poids humide du sol (pot inclu), et du poids frais de la plantule.

Tab.52 : Intensité lumineuse reçue par les plantes prélevées par fraction et traitement en 1992.

Intensité lumineuse (µmole de photons/m2/s)					
prélèvement 1			prélèvement 2		
Témoin	Froid	Sec	Témoin	Froid	Sec
269	197	263	268	194	264
258	169	273	257	167	271
266	188	271	267	189	265
NS	NS	NS	NS	NS	NS

Tab.53 : Rayonnement global reçu entre la levée et le prélèvement par les plantes prélevées par fraction et traitement en 1992.

Rayonnement global (mole de photons/m2)					
prélèvement 1			prélèvement 2		
Témoin	Froid	Sec	Témoin	Froid	Sec
42,1	93,1	54,9	83,9	192,9	124,0
40,4	79,4	57,0	80,5	166,1	127,3
41,7	89,3	56,6	83,6	188,9	124,5
NS	NS	NS	NS	NS	NS

A partir des poids moyens du pot vide, du sol sec et des valeurs moyennes de poids frais de plantule (déterminé pour les prélèvements de 1991), nous avons construit des abaques pour chaque essai (annexe 25), donnant l'erreur d'estimation de l'humidité. La surestimation de l'humidité du sol est de l'ordre de 0,1% (point d'humidité) en début du cycle, et de 1,40% en fin de cycle (Fig.32). Ainsi, l'humidité du sol corrigée de cette erreur, ne descend pas en dessous de 14,5% pour les essais témoin et froid. Pour l'essai sec, la période où elle se situe en dessous du point de flétrissement, n'est pas changée.

Pour l'arrosage des pots, nous avons calculé une valeur moyenne d'eau à apporter, à partir des pots de contrôle, ce qui a entraîné une variabilité de l'humidité réelle dans chaque pot. Sur chaque série de pots de contrôle, nous avons pu estimer l'écart-type. Avant l'utilisation de l'arrosoir à la fin des essais, nous avons trouvé des valeurs de 1,60% en 1991 et de 0,85% au maximum en 1992. Les valeurs inférieures de l'écart-type en 1992 s'expliquent par une plus faible variabilité du poids de sol initial mis dans les pots (cf. I-1.2.), et par une meilleure accessibilité aux pots, ce qui a permis un arrosage plus régulier qu'en 1991.

1.1.2. Eclairement

Bien que nous ayons cherché à rapprocher l'intensité lumineuse des deux chambres de culture utilisées, des différences importantes subsistent entre le traitement froid placé dans l'une, et les deux autres traitements réalisés dans l'autre chambre (Tab.52). Si l'intensité lumineuse des essais témoin et sec est supérieure à l'essai froid, les plantes prélevées dans ce dernier ont reçu un rayonnement global depuis leur levée supérieur au témoin (Tab.53). Or la croissance en matière sèche dépend surtout de ce paramètre et non pas tant de l'intensité (BONHOMME 1984).

Dans chaque essai, les écarts d'intensité lumineuse et de rayonnement global entre fractions de semences sont faibles et non significatifs, pour les plantes des deux prélèvements (Tab.52). Comme celles-ci ont levé pratiquement le même jour et ont été prélevées en même temps pour un essai donné, intensité et rayonnement global reçus sont proportionnels. **D'éventuelles différences de matière sèche entre fractions d'un traitement ne pourront être expliquées par des écarts d'intensité lumineuse et de rayonnement global reçus par les plantes, et seront donc attribuées à la taille de la semence.**

1.2. Traitement froid

1.2.1. Développement de la plante

En 1992, le temps nécessaire aux plantes pour atteindre un stade donné est nettement augmenté dans le traitement froid. En 1991, nous n'avons pas effectué de prélèvement à un stade donné. Cependant entre les essais froid et témoin, les plantes sont à des stades très proches (Tab.55a), alors que la durée écoulée entre la levée et le prélèvement est presque le double dans le traitement à basse température (Tab.54a). Le développement des plantes a donc été ralenti dans le traitement froid. Il dépend en fait de la température moyenne (GAY et al. 1991). Vu le nombre de plantes (5) par répétition, l'estimation des moyennes par répétition manque de précision, ce qui ne nous permet pas de conclure sur les différences entre fractions d'un traitement à l'autre.

Le bilan de matière sèche entre matière sèche produite et matière sèche consommée (Poids sec semence initial - Poids sec de la semence restant) est légèrement négatif, pour le traitement froid et largement positif pour le témoin (Tab.56). Les plantes de l'essai témoin sont donc déjà entrées en autotrophie alors que les plantes soumises à de basses températures sont sur le point d'y entrer. Or le poids de ce qui reste de la semence, ne varie pas de manière significative entre traitements (Tab.57), et donc la part de réserve consommée non plus. Le passage à l'autotrophie s'effectue donc pour un pourcentage de réserves consommées supérieur, ce qui confirme les résultats de DERIEUX et al. (1989).

1.2.2. Croissance

La matière sèche des parties aériennes des plantes soumises au traitement froid est significativement réduite par rapport au témoin en 1991 et en 1992, pour les deux prélèvements (Tab.58), de même pour les parties racinaires (Tab.59).

Les moyennes des deux traitements froid et témoin étant combinées, les différences de matière sèche entre fractions de semences sont significatives, à l'exception de la matière sèche des parties aériennes des plantes du prélèvement de 1991 (Tab.58, 59). Ces différences suivent dans tous les cas l'ordre des fractions et sont donc liées à la taille de la semence. Si on effectue une analyse de variance pour chaque traitement séparé, on trouve un effet significatif de la taille de la semence sur la croissance des parties aériennes, pour le traitement froid de 1991, mais non pour le témoin de la même année.

Tab.54 : Date de prélèvement pour les traitements témoin et froid.
a) 1991 **b)** 1992

a)

	Témoin	Froid
Dates prélèvement (jours depuis semis)	11	19
Dates prélèvement (jours depuis levée)	5	9

b)

	prélèvement 1		prélèvement 2	
	Témoin	Froid	Témoin	Froid
Dates prélèvement (jours depuis semis)	8	16	11	26
Dates prélèvement (jours depuis levée)	3	9	6	19

Tab.55 : Stade foliaire par fraction pour les traitements témoin et froid.
a) 1991 (1er prélèvement) **b)** 1992

a)

	N. feuilles visibles	
Fractions	Témoin	Froid
F22.5	3,2	3,0
F19.5	3,1	3,0
F17.5	3,1	3,0

b)

	N. feuilles visibles			
	prélèvement 1		prélèvement 2	
Fractions	Témoin	Froid	Témoin	Froid
F22.5	3,0	2,8	4,0	3,9
F19	3,0	2,7	3,8	3,7
F17	2,9	2,4	3,7	3,6

Tab.56 : Bilan des matières sèches (M.S. produite-M.S. consommée entre le semis et le 1er prélèvement) par fraction pour les traitements témoin et froid en 1992.

	Bilan M.S. (mg)	
Fractions	Témoin	Froid
F22.5	23,0	-1,35
F17	34,4	-1,52

Tab.57 : Matière sèche du reste de la semence (au 1er prélèvement) par fraction pour les traitements témoin et froid en 1992 et résultats de l'analyse de variance.

	M.S. semence (mg)	
Fractions	Témoin	Froid
F22.5	166	175
F19	134	151
F17	119	124

Facteurs	Niv. signif. (5%)
Traitement (T)	NS
Fraction (F)	THS
Interaction (T*F)	NS

Tab.58 : Matière sèche des parties aériennes par fraction pour les traitements témoin et froid et résultats de l'analyse de variance.
a) 1991 (1er prélèvement) **b)** 1992

a)

Fractions	M.S. part. aér. (mg) Témoin	Froid
F22.5	98,3	52,5
F19.5	88,0	52,5
F17.5	86,8	45,8

Facteurs	Niv. signif. (5%)
Traitement (T)	THS
Fraction (F)	NS
Interaction (T*F)	NS

b)

	M.S. part. aér. (mg)			
	prélèvement 1		prélèvement 2	
Fractions	Témoin	Froid	Témoin	Froid
F22.5	58,2	41,8	144,1	105,1
F19	51,4	34,8	116,7	79,6
F17	43,0	27,1	99,5	69,6

	Niv. signif. (5%)	
Facteurs	prélèvement 1	prélèvement 2
Traitement (T)	THS	S
Fraction (F)	THS	THS
Interaction (T*F)	NS	NS

Tab.59 : Matière sèche des parties racinaires par fraction pour les traitements témoin et froid et résultats de l'analyse de variance.
a) 1991 (1^{er} prélèvement) **b)** 1992

a)

	M.S. part. rac. (mg)	
Fractions	Témoin	Froid
F22.5	105,7	60,8
F19.5	85,2	54,1
F17.5	82,0	45,4

Facteurs	Niv. signif. (5%)
Traitement (T)	THS
Fraction (F)	THS
Interaction (T*F)	NS

b)

	M.S. part. rac. (mg)	
Fractions	Témoin	Froid
F22.5	94,7	77,9
F19	91,1	61,2
F17	71,2	46,4

Facteurs	Niv. signif. (5%)
Traitement (T)	HS
Fraction (F)	THS
Interaction (T*F)	NS

Pour cet essai, F17.5 et à moindre degré F22.5 présentent une répétition dont la valeur anormalement éloignée des autres contribue à réduire les écarts et à augmenter la variance résiduelle.

Aucune interaction significative entre la taille de la semence et le régime thermique n'a été observée, ni pour les parties aériennes, ni pour les parties racinaires. Aucune tendance allant dans le sens d'une interaction ne ressort non plus.

Le rapport matière sèche parties aériennes sur parties racinaires (Tab.60) ne varie pas significativement ni entre fractions, ni entre régimes thermiques. Par contre, il est nettement plus faible en 1992 qu'en 1991. Les plantes auraient produit plus de racines en 1992 par rapport aux parties aériennes.

Les valeurs du rapport matières sèches parties aériennes sur parties racinaires (MSPA/MSR) sont toutes plus faibles que celles, toutes supérieures à 1,44, trouvées par GAY et al. (1991) au stade 3 feuilles. Nous avons recalculé les matières sèches racinaires à partir de la formule de POMMEL (1990) avec nos valeurs de matière sèche des parties aériennes. Dans ce cas le rapport varierait entre 1,10 et 1,33 et resterait supérieur aux valeurs observées (Tab.60). D'autre part, les niveaux d'éclairement plus faibles que ceux appliqués par GAY et al. (1991) pour le traitement froid, auraient dû conduire à des valeurs plus élevées du rapport MSPA/MSR (BROUWER et DE WIT 1969). Les faibles valeurs de ce rapport pourraient provenir d'un nettoyage incomplet des racines qui auraient retenu un peu de terre, ce qui aurait conduit à une surestimation des matières sèches racinaires. Dans les bilans de matière sèche calculés, la matière sèche produite est donc probablement surestimée (cf. 1.2.1.). La période d'hétérotrophie des plantes du traitement témoin est donc probablement plus longue que ne le laisse penser ces bilans, et la matière sèche au stade 3 feuilles résulterait donc surtout de la phase hétérotrophe.

Bien que les plantes du traitement froid aient bénéficié d'un rayonnement global nettement supérieur par rapport au témoin, leur croissance est inférieure. En fait, durant la période étudiée de croissance hétérotrophe, la photosynthèse et donc la lumière n'interviennent pas ou faiblement. L'aspect étiolé des plantes du traitement témoin (feuilles allongées) ne s'est pas manifesté par une croissance inférieure. La faible température appliquée au traitement froid, bien en dessous de la valeur optimale (30°C donnée par GAY et al. 1991) a donc limité la croissance en matière sèche, en plus d'un ralentissement du développement foliaire. Nos résultats vont dans le même sens que ceux de GAY et al. (1991). Cette limitation de la croissance n'a pas entraîné d'étiolement aussi net des plantes que pour le traitement témoin. Un effet de la qualité de lumière est peut-être aussi intervenu. La chambre où le traitement témoin a été placé, est équipée de lampes à vapeur de sodium qui manquent de rayonnement bleu (annexe 24), alors que les tubes fluorescents de la chambre de traitement froid présentent un spectre plus équilibré. La différence entre les traitements est nettement plus élevée en 1991 qu'en 1992.

Tab.60 : Rapport des matières sèches parties racinaires sur parties racinaires (1er prélèvement) par fraction pour les traitements témoin et froid et résultats de l'analyse de variance.

a) 1991 **b)** 1992

a)

	M.S. p. aér./ p. rac.	
Fractions	Témoin	Froid
F22.5	0,93	0,87
F19.5	1,03	0,97
F17.5	1,08	1,02

Facteurs	Niv. signif. (5%)
Traitement (T)	NS
Fraction (F)	NS
Interaction (T*F)	NS

b)

	M.S. p. aér./ p. rac.	
Fractions	Témoin	Froid
F22.5	0,54	0,62
F19	0,58	0,57
F17	0,59	0,61

Facteurs	Niv. signif. (5%)
Traitement (T)	NS
Fraction (F)	NS
Interaction (T*F)	NS

Le fait que nous n'ayons pas prélevé les plantes strictement à un même stade foliaire en 1991 en est peut être la raison. Cependant les moyennes des stades (Tab.55a) ne laissent pas apparaître de décalage important qui justifie cette variation. Une alimentation hydrique plus abondante en 1991 qu'en 1992, des plantes soumises à basse température, et proche de la capacité au champ, a peut être provoqué des problèmes d'asphyxie racinaire. Ceci aurait entraîné une croissance moindre pour le traitement froid, effet qui se serait ajouté à celui des températures (SAGLIO 1991).

Un effet de la taille de semence sur la croissance des parties aériennes et racinaires a été mis en évidence en conditions normales et froides, ce qui confirme les résultats d'autres auteurs déjà cités. L'absence de différence significative en 1991, dans le traitement témoin vient d'une variabilité élevée de la croissance à l'intérieur des fractions, et ne remet pas en question ce résultat. En tout cas, **aucune interaction taille de la semence-température n'a été observée. Ainsi, bien que la croissance des plantes ait été affectée par les conditions froides, l'effet de la taille de la semence n'a été ni amplifié, ni diminué par les basses températures.** En fait, les processus métaboliques qui dirigent la consommation des réserves sont affectées de manière identique par la température, quelle que soit la taille des semences. Comme l'ont supposé ABD EL RAHMAN et BOURDU (1986), les effets de la taille de la semence et d'un stress climatique, provoqué par des températures froides, sont cumulatifs. Ces résultats ont été obtenus avec des semences de même vigueur, en 1991, alors qu'en 1992, les petites semences étaient de vigueur inférieure. Ce défaut de vigueur qui se manifeste surtout à basse température, pour la germination du moins (ABDUL-HAMID 1986), n'a pas amplifié les écarts de croissance en conditions froides. Le fait de prélever à des dates de levée identiques en est peut être la raison.

Le traitement appliqué en 1992 a été plus sévère qu'en 1991, mais a conduit à la même conclusion sur l'absence d'interaction. Nous n'avons pas d'élément pour supposer que dans le cas d'un régime thermique appliqué après la levée encore plus sévère que celui de 1992, l'effet de la taille de la semence sur la croissance hétérotrophe puisse être amplifié. Cependant si un stress touche la période prélevée, et l'allonge de manière excessive, la croissance des plantes venant de petites semences pourrait être plus affectée que celle des plantes des grosses semences, par suite d'une consommation en réserves séminales supérieure aux grosses semences (POMMEL 1990). Après la levée, les plantes issues de petites semences pourraient manquer de réserves et dans ce cas, le passage à l'autrophie remis en question. Ceci produirait des manques à l'implantation et se répercuterait alors sur la production globale. Mais cette sensibilité supérieure des plantes issues de petites semences par rapport à celles venant des grosses reste à vérifier.

1.3. Traitement sec

1.3.1. Développement

En 1992, les plantes soumises à un stress hydrique ont un jour de retard au stade 3 feuilles, tandis que la durée entre les stades 3 et 4 feuilles est presque doublée, par rapport au témoin (Tab.61). Le prélèvement de 1991 a lieu 5 jours après la levée pour le traitement témoin et le traitement sec dont le sol est déjà en dessous du point de flétrissement (Fig.32a). La précision de l'estimation des moyennes ne permet pas de conclure sur des différences de stades foliaires (Tab.62).

En 1992, le léger retard de développement des plantes au premier prélèvement peut être le signe d'un léger stress hydrique, consécutif au dessèchement du sol jusqu'au point de flétrissement. Le rythme d'apparition des feuilles est ralenti par un stress hydrique (VACLAVIK 1969). La période de trois jours (après le 1er prélèvement), où les plantes sont soumises à un stress intense (sol< point de flétrissement) a nettement ralenti le développement. Durant cette période, la croissance et le développement ont été fortement freinés, ou arrêtés pour les parties aériennes (SHARP et al. 1988). En 1991, l'absence de concordance entre stades ne permet pas de conclure sur d'éventuelles différences.

En 1992, le bilan calculé entre la matière sèche produite et celle des réserves séminales consommées, est supérieure au traitement témoin (annexe 26). Les plantes du traitement sec seraient donc entrées en phase d'autotrophie. Mais, il est difficile de conclure sur un effet des conditions sèches sur le passage des plantes à l'autotrophie.

1.3.2. Croissance

En 1992, il n'existe pas de différence significative entre les traitements sec et témoin au stade 3 feuilles, pour la matière sèche des parties aériennes, alors qu'en 1991, un effet négatif de la réduction de l'alimentation hydrique a été noté (Tab.63). Quant à la matière sèche racinaire, elle diffère significativement entre les deux essais, sur les deux années, mais pas dans le même sens en 1991 et en 1992 (Tab.64). En 1991, elle est nettement réduite, alors qu'en 1992 elle est augmentée dans les conditions de dessiccation du sol. En 1992, au stade 4 feuilles, les plantes ayant subi un stress hydrique présentent une matière sèche des parties aériennes supérieure à celles du témoin, (écart pratiquement significatif à 5%). Malgré ces résultats contradictoires quant à l'effet du traitement sec sur la croissance, nous avons trouvé dans tous les cas un effet significatif de la taille de la semence sur la matière sèche, que ce soit pour les parties aériennes ou racinaires.

Tab.61 : Dates de prélèvement pour les traitements témoin et sec.
a) 1991 **b)** 1992

a)

	Témoin	Sec
Date prélèvement (jours depuis semis)	11	11
Date prélèvement (jours depuis levée)	5	5

b)

	prélèvement 1		prélèvement 2	
	Témoin	Sec	Témoin	Sec
Date prélèvement (jours depuis semis)	8	9	11	14
Date prélèvement (jours depuis levée)	3	4	6	9

Tab.62 : Stade foliaire des plantes prélevées par fraction pour les traitements témoin et sec.
a) 1991 (1er prélèvement) **b)** 1992

a)

	N. feuilles visibles	
Fractions	Témoin	Sec
F22.5	3,2	2,9
F19.5	3,1	2,8
F17.5	3,1	2,9

b)

	N. feuilles visibles			
	prélèvement 1		prélèvement 2	
Fractions	Témoin	Sec	Témoin	Sec
F22.5	3,0	2,6	4,0	3,8
F19	3,0	2,8	3,8	3,5
F17	2,9	2,6	3,7	3,4

Tab.63 : Matière sèche des parties aériennes par fraction pour les traitements témoin et sec et résultats de l'analyse de variance.
a) 1991 (1er prélèvement) **b)** 1992

a)

	M.S. part. aér. (mg)	
Fractions	Témoin	Sec
F22.5	98,3	87,2
F19.5	88,0	75,3
F17.5	86,8	68,4

Facteurs	Niv. signif. (5%)
Traitement (T)	S
Fraction (F)	S
Interaction (T*F)	NS

b)

	M.S. part. aér. (mg)			
	prélèvement 1		prélèvement 2	
Fractions	Témoin	Sec	Témoin	Sec
F22.5	58,2	55,3	144,1	160,5
F19	51,4	49,4	116,7	140,0
F17	43,0	45,7	99,5	123,3

	Niv. signif. (5%)	
Facteurs	prélèvement 1	prélèvement 2
Traitement (T)	NS	S (1)
Fraction (F)	THS	THS
Interaction (T*F)	NS	NS

(1) niveau de signification=5,6%

Tab.64 : Matière sèche des parties racinaires par fraction pour les traitements témoin et sec et résultats de l'analyse de variance.
a) 1991 (1er prélèvement) **b)** 1992

a)

	M.S. part. rac. (mg)	
Fractions	Témoin	Sec
F22.5	105,7	55,6
F19.5	85,2	45,5
F17.5	82,0	38,0

Facteurs	Niv. signif. (5%)
Traitement (T)	THS
Fraction (F)	THS
Interaction (T*F)	NS

b)

	M.S. part. rac. (mg)	
Fractions	Témoin	Sec
F22.5	94,7	124,6
F19	91,1	111,0
F17	71,2	96,3

Facteurs	Niv. signif. (5%)
Traitement (T)	S (1)
Fraction (F)	HS
Interaction (T*F)	NS

(1) niveau de signification=5,3%

La croissance des plantes issues des grosses semences est supérieure à celles des petites semences. Cependant, comme pour le stress thermique, aucune interaction significative taille de semence-stress hydrique n'a été trouvée, et aucune tendance ne ressort des moyennes.

Le rapport matière sèche parties aériennes sur parties racinaires varie significativement par rapport au témoin, en 1991 et 1992, mais de manière contradictoire, comme la matière sèche racinaire (Tab.65). Aucun effet de la taille de la semence et aucune interaction ne sont apparus. En revanche, la différence d'une année à l'autre est très élevée.

Si en 1992, le dessèchement du sol jusqu'au point de flétrissement a légèrement ralenti le développement foliaire, la matière sèche des parties aériennes n'a pas été affectée. Par contre la croissance racinaire a été supérieure au stade 3 feuilles, avec donc un rapport des matières sèches aériennes sur matières sèches racinaires supérieur au traitement témoin. A ce stade, les plantes n'ont subi qu'un faible stress. Ces résultats vont dans le sens de ceux trouvés dans la bibliographie. En effet, ROBERTSON et al. (1980) observent au champ, une densité racinaire supérieure et donc une croissance supérieure en situation de léger stress hydrique. De même, la croissance racinaire est moins affectée par une contrainte hydrique que les parties aériennes, ce qui amène à une diminution du rapport en situation de stress (SHARP et al. 1988). Les résultats contradictoires de 1991 sont à remettre en question. Si la différence de matière sèche des parties aériennes entre les traitements sec et témoin est peut-être due à un léger décalage de développement, celle au niveau racinaire est élevée et entraîne une inversion très nette du rapport des matières sèches des deux compartiments par rapport à 1992. Ceci est en contradiction avec les résultats de la bibliographie. En fait, les faibles valeurs de 1991 pourraient venir d'un problème de prélèvement et de la perte d'une partie des racines. En 1992, au stade 4 feuilles, après le stress suivi de deux jours d'arrosage, les plantes présentent une matière sèche des parties aériennes supérieure à celles du témoin. En fait, durant la période où l'humidité du sol est en dessous du point de flétrissement, la croissance en matière sèche des parties aériennes est arrêtée (SHARP et al. 1988). La période de croissance des plantes du traitement sec, entre les deux prélèvements n'a donc duré que deux jours contre trois pour le traitement témoin. Malgré cela, elles ont rattrapé et même dépassé les plantes du témoin. Tout se passe comme si la levée du stress avait fortement stimulé la croissance, comme cela a été observé dans le cas d'un stress hydrique modéré par BARLOW et BOERSMA (1972).

Tab.65 : Rapport des matières sèches parties racinaires sur parties racinaires (1er prélèvement) par fraction des traitements témoin et sec et résultats de l'analyse de variance.

a) 1991 **b)** 1992

a)

	M.S. p. aér./ p. rac.	
Fractions	Témoin	Sec
F22.5	0,93	1,58
F19.5	1,03	1,70
F17.5	1,08	1,80

Facteurs	Niv. signif. (5%)
Traitement (T)	HS
Fraction (F)	NS
Interaction (T*F)	NS

b)

	M.S. p. aér./ p. rac.	
Fractions	Témoin	Sec
F22.5	0,54	0,47
F19	0,58	0,45
F17	0,59	0,48

Facteurs	Niv. signif. (5%)
Traitement (T)	S
Fraction (F)	NS
Interaction (T*F)	NS

Au stade 3 feuilles où les plantes n'ont donc probablement subi qu'une faible contrainte hydrique, et au stade 4 feuilles, où elles ont subi un stress plus violent, suivi d'un redémarrage brutal de la croissance **l'effet de la taille de la semence sur la croissance racinaire et aérienne a été retrouvé et n'a pas été modifié par un stress hydrique, puisque aucune interaction n'a pas été mise en évidence**. Même le redémarrage de la croissance, qui a été fort après la levée du stress n'a pas modifié cet effet. **Les plantes issues de petites semences et de grosses semences ne présentent donc pas de sensibilité différente à la sècheresse pour leur croissance,** contrairement à ce qui se passe pour la germination (MUCHENA et TROGAN 1977).

Cependant, l'utilisation de pots de volume limité a peut être induit un biais dans l'expérimentation, en modifiant en particulier la croissance racinaire. L'effet de la taille de la semence sur la croissance racinaire que nous avons noté, a aussi été mis en évidence par POMMEL (1990), et se manifeste en fait dès la germination (SHIEH et McDONALD 1982). Cependant au champ, cet effet pourrait induire des différences dans le volume de sol exploré, qui pourraient influer sur la résistance à un stress hydrique. Cet aspect doit être étudié. Une autre remarque à cette expérimentation est la date d'application du stress, qui dans sa phase la plus sévère s'est situé entre les stades 3 et 4 feuilles, à un stade où les plantes sont déjà en autotrophie, ou sur le point de l'être. Or MILLEQUANT (1980) a observé un effet maximal du stress (substrat porté deux jours à pF = 3,9 c'est-à-dire 12% d'humidité environ, pour notre sol), lorsque celui-ci était appliqué au stade 2 feuilles visibles, en pleine phase d'hétérotrophie. Cependant, à priori, nous n'avons pas d'éléments qui puissent faire penser à une variation de sensibilité en fonction de la taille de la semence, des processus métaboliques qui commandent la croissance hétérotrophe.

2. Suite du cycle

2.1. Date de levée des plantes repiquées

Les dates moyennes de levée ont été calculées à partir des dates individuelles des plantes repiquées (Tab.66). Les plantes des traitements sec et témoin ont des dates très proches. Celles du traitement froid présentent un retard de 4-5 jours en 1991 et 2,5 jours en 1992, par rapport à celles du traitement témoin. Ce retard peut être dû aux températures en prélevée légèrement inférieures (14°C) pour le traitement froid par rapport au témoin (17°C). Cependant les écarts entre fractions d'un essai donné n'excèdent pas un demi jour, ce qui est négligeable. D'éventuelles différences de date de floraison ou de rendement entre les fractions ne pourront être attribuées à des retards de levée.

Tab.66 : Date de levée des plantes repiquées par fraction pour les 3 traitements.
a) 1991 **b)** 1992

a)

Fractions	Dates de levée (jours depuis semis) Témoin	Froid	Sec
F22.5	5,8	10,3	4,6
F19.5	6,2	10,1	4,4
F17.5	6,3	10,1	4,6

b)

Fractions	Dates de levée (jours depuis semis) Témoin	Froid	Sec
F22.5	4,7	7,1	5,2
F19	4,9	7,2	5,1
F17	5,2	7,6	5,1

Tab.67 : Date de floraison femelle (50% des plantes) par fraction pour les traitements témoin et froid.
a) 1991 **b)** 1992

a)

Fractions	Dates de floraison (jours depuis semis) Témoin	Froid
F22.5	80,8	94,3
F19.5	82,8	96,0
F17.5	82,3	97,3
Date moyenne	28.7.91	28.7.91

b)

Fractions	Dates de floraison (jours depuis semis) Témoin	Froid
F22.5	69,8	90,3
F19	69,8	91,7
F17	71,3	92,3
Date moyenne	24.7.92	23.7.92

2.2. Traitement froid

2.2.1. Date de floraison femelle

Le traitement froid appliqué en début de cycle a entraîné un allongement de la durée semis-floraison femelle de 14 jours en moyenne en 1991 et de 21 jours en 1992, par rapport à celle du témoin. Les plantes ont fleuri en moyenne le même jour en 1991, alors qu'en 1992 les plantes du traitement témoin ont en moyenne un jour de retard (Tab.67). La durée entre le repiquage et la floraison a faiblement varié. En 1991, l'écart entre fractions extrêmes F22.5 et F17.5 a doublé pour les plantes ayant subi un stress et est passé de 1,5 jours à 3 jours. Cependant, on ne retrouve pas cette tendance de manière si nette en 1992.

La mise en place différée des essais en chambre de culture a permis d'amener les plantes à des stades de développement très proches au moment du repiquage, ce qui explique les faibles variations de la durée repiquage-floraison. Nous avons donc pu éviter l'inconvénient majeur d'un décalage des stades de développement, qui pourrait exister au champ dans le cas de semis décalés (cf. questions et méthodes III-3.). En 1991, en raison de mauvaises conditions de repiquage, il faut rester prudent quant à l'interprétation des résultats, bien qu'à la floraison les plantes aient présenté un aspect normal. Entre fractions, les plantes issues des grosses semences ont systématiquement présenté une avance de 1 à 2 jours, par rapport à celles venant de petites semences. **De tels écarts ont déjà été trouvés entre plantes issues de différentes tailles de semence dans l'étude au champ, en conditions normales** (Tab. 37). **Ils n'ont pas été augmenté pour les plantes ayant subi un stress froid en début de cycle.**

2.2.2. Rendement en grain

Aucun effet sur le rendement en grain du traitement froid, ou de la taille de la semence n'a pu être mis en évidence en 1991 comme en 1992. De même, il n'existe pas d'interaction entre les deux facteurs (Tab.68). L'hétérogénéité à l'intérieur des fractions est cependant élevée. En enlevant des répétitions suspectes (1 en 1991, dont les plantes au repiquage étaient chétives, et 4 en 1992 suite à un problème de l'épendage d'engrais), les écarts entre fractions (données corrigées) sont plus rapprochés. Dans tous les cas, les plantes issues de grosses semences apparaissent systématiquement en tête. En prenant les valeurs corrigées, les différences entre les fractions extrêmes F22.5 et F17.5 (F17 en 1992) ne varient pas de manière nette entre les deux essais, ce qui confirme l'absence d'interaction, entre la taille de la semence et le traitement froid.

Tab.68 : Rendement par plante des fractions pour les traitements témoin et froid et résultats de l'analyse de variance.

a) 1991 **b)** 1992

a)

Fractions	Rendements par plante (g) (1) Témoin	Froid
F22.5	120,6	126,6
F19.5	118,3	118,9
F17.5	114,4	115,4 (121,5) (2)

(1) ajusté à 15% d'humidité (2) valeur corrigée (cf. texte)

Facteurs	Niv. signif. (5%)
Traitement (T)	NS
Fraction (F)	NS
Interaction (T*F)	NS

b)

Fractions	Rendements par plante (g) (1) Témoin	Froid
F22.5	103,0 (108,7) (2)	102,8
F19	105,9	100,2 (104,6) (2)
F17	98,4 (104,8) (2)	92,4 (97,0) (2)

(1) ajusté à 15% d'humidité (2) valeur corrigée (cf. texte)

Facteurs	Niv. signif. (5%)
Traitement (T)	NS
Fraction (F)	NS
Interaction (T*F)	NS

Cependant, le recours au repiquage a pu introduire un biais dans cette expérimentation. Nous ne reviendrons pas sur les problèmes de 1991. En 1992, les plantes ont pris une couleur violacée après le repiquage, ce qui peut être le signe d'un stress. Le passage de conditions artificielles d'éclairement et d'aération, à la lumière (de qualité et d'intensité différentes) du jour et à l'air libre, et le passage pour les racines d'un milieu à un autre, ont probablement induit un stress. Les plantes n'ont pas présenté des signes de flétrissement ou de dessèchement des feuilles, ce qui aurait constitué des stress plus graves. D'autre part, la couleur violacée s'est manifestée sur l'ensemble de l'essai. L'hétérogénéité non contrôlée n'a probablement été que faiblement augmentée.

Bien que non significative et faible, l'avantage de rendement des plantes issues des grosses semences est pratiquement systématique. Un point de mesure de la matière sèche à la floraison aurait été intéressant. En tout cas, en 1991 et 1992 jusqu'à la floraison, les plantes paraissaient plus petites que celles de l'expérimentation au champ de l'étude à partir d'un lot brut (2ème partie). Cette croissance plus faible qu'en conditions normales au champ a peut être limité la concurrence interplante. Dans ce cas, l'avantage des plantes issues de grosses semences pour la croissance s'est peut être maintenu jusqu'à la floraison, ce qui se serait répercuté sur le rendement (RUGET 1989). En tout cas, même dans cette situation, il n'existe pas d'interaction taille de la semence-traitement froid. Ceci peut s'expliquer avec l'absence d'interaction au niveau de la croissance hétérotrophe. A la sortie de celle-ci, au champ, les différences de croissance produites par la taille de la semence ont dû évoluer de la même manière pour le témoin et le traitement froid.

2.3. Traitement sec

2.3.1. Date de floraison femelle

Les plantes ayant subi un stress hydrique en début du cycle, ont fleuri avec 4 jours d'avance par rapport au témoin. Si la durée repiquage-floraison est donc plus courte pour le traitement sec, la période semis-floraison reste plus longue de 7 jours. En 1992, seule cette durée semis-floraison varie entre les deux traitements, et a été allongée de 4 jours seulement (Tab.69). Comme pour le traitement froid, l'écart pour la date de floraison exprimée en jour depuis le semis, entre les fractions extrêmes F22.5 et F17.5 a été augmenté en 1991 par rapport au témoin, mais pas en 1992.

Tab.69 : Date de floraison femelle (50% des plantes) par fraction pour les traitements témoin et sec.
a) 1991 **b)** 1992

a)

Fractions	Date de floraison (jours depuis semis)	
	Témoin	Sec
F22.5	80,8	87,0
F19.5	82,8	87,5
F17.5	82,3	90,3
Date moyenne	28.7.91	24.7.91

b)

Fractions	Date de floraison (jours depuis semis)	
	Témoin	Sec
F22.5	69,8	73,3
F19	69,8	74,5
F17	71,3	74,3
Date moyenne	24.7.92	24.7.92

Les mauvaises conditions de repiquage en 1991 rendent l'interprétation des résultats difficiles. Par contre en 1992, il est à noter que le retard à la floraison correspond à 1 jour près, à celui observé en chambre de culture pour le développement foliaire à la sortie du stress. Il n'est pas impossible que celui-ci se soit maintenu. Mais en l'absence de comptage après repiquage, il est difficile de conclure avec certitude. Cette différence entre traitements est en tout cas plus importante, que celle entre fractions de semences. **La taille de la semence influe donc faiblement sur les dates de floraison et son effet n'est pas modifié par un stress hydrique, survenu en début du cycle.**

2.3.2. Rendement en grain

En 1991, la différence de rendement entre les deux traitements est presque significative. Le traitement sec aurait entraîné un effet négatif sur le rendement. Ceci ne se retrouve pas en 1992, où la tendance est légèrement inversée (Tab.70). Par contre, aucun effet de la fraction de semence et aucune interaction ne sont significatifs en 1991 et 1992.

Les rendements inférieurs en 1991 par rapport au témoin, des plantes ayant subi un stress hydrique en début du cycle, ne s'expliquent pas par ce traitement. En effet, leurs dates de floraison plus précoces permettent d'allonger la période de remplissage, ce qui serait plutôt favorable au rendement. D'autre part, au vu des résultats de 1992, la croissance en matière sèche est supérieure par rapport au témoin à la sortie de l'hétérotrophie. Il est donc peu probable qu'un stress hydrique, appliqué en début du cycle ait des conséquences négatives sur la croissance à la floraison, et par la suite sur le rendement. Cette différence de rendement est plutôt à mettre à l'actif du repiquage, qui aurait davantage affecté les plantes du traitement sec. Ceci est confirmé par des observations visuelles au moment du repiquage. En 1992, où les conditions de repiquage sont meilleures, et les dates de floraison pratiquement simultanées, aucun effet significatif n'a été observé. En enlevant les valeurs douteuses, nous ne disposons plus que de deux valeurs pour la fraction F17, ce qui entraîne une forte diminution de la précison de la moyenne. Il est donc difficile de conclure à un effet positif des petites semences. Le rendement inférieur de la fraction F19 n'est pas dû à une valeur anormale et est inexpliqué. Il est donc difficile de tirer des conclusions définitives de ces résultats.

Tab.70 : Rendement par plante des fractions pour les traitements témoin et sec et résultats de l'analyse de variance.

a) 1991 **b)** 1992

a)

Fractions	Rendements par plante (g) (1) Témoin	Sec
F22.5	120,6	105,2
F19.5	118,3	108,9
F17.5	114,4	102,0

(1) ajusté à 15% d'humidité

Facteurs	Niv. signif. (5%)
Traitement (T)	S (1)
Fraction (F)	NS
Interaction (T*F)	NS

(1) niveau de signification=5,3%

b)

Fractions	Rendements par plante (g) (1) Témoin	Sec
F22.5	103,0 (108,7) (2)	110,8
F19	105,9	102,1
F17	98,4 (104,8) (2)	104,2 (115,2) (2)

(1) ajusté à 15% d'humidité (2) valeurs corrigées (cf. texte)

Facteurs	Niv. signif. (5%)
Traitement (T)	NS
Fraction (F)	NS
Interaction (T*F)	NS

III- CONCLUSION

Des conditions froides appliquées en phase juvénile entraînent un ralentissement du développement et une croissance hétérotrophe inférieure des plantes, par rapport à des températures plus élevées, ceci à dates de levée identiques. Dans une telle situation de stress thermique, des plantes issues de petites semences sont plus petites que celles venant de grosses semences, comme cela a déjà été observé à des températures favorables pour la croissance du maïs. **Cependant, l'effet de la taille de la semence sur la croissance n'est ni amplifié, ni diminué par des conditions froides en postlevée**. Aucune interaction taille de la semence-conditions froides n'a été observée pour la croissance hétérotrophe, ce qui implique une additivité des effets de ces facteurs. De même, **un stress hydrique**, arrêtant la croissance entre les stades 3 et 4 feuilles, **ne modifie pas non plus l'effet de la taille de semence sur la matière sèche des parties aériennes**, même après une reprise de la croissance suite à la levée du stress. **En fait, la sensibilité au stress de la croissance des plantes ne varie pas avec la taille de la semence.** Il reste cependant à voir les conséquences sur des plantes issues de semences de taille différente, d'un stress en prélevée provoqué par des températures froides qui retarderait la levée de manière excessive.

L'étude des conséquences sur la suite du cycle a pu se faire après repiquage au champ, qui a permis de limiter les décalages de développement entre les plantes des différents traitements, et d'égaliser les durées de leur phase de remplissage. Les conditions particulières, ainsi qu'un certain stress produit par le repiquage et le passage de conditions de chambre de culture à celles au champ, sont à noter. Les bonnes conditions de repiquage de 1992 ont probablement limité ce type de biais. **Ainsi, aucune interaction taille de semence-conditions froides au démarrage n'a été retrouvée au niveau du rendement en grain**, ce qui est confirmé par les résultats de 1991. Mais il ne nous a pas été possible de conclure sur les résultats de rendement des plantes ayant subi un stress hydrique.

CONCLUSION GENERALE

La question à la base de cette étude nous a conduit à définir ce que sont la taille et la forme d'une semence, et à caractériser leur variabilité. Plusieurs critères physiques du grain tels que le volume, ou encore les dimensions (longueur, largeur et épaisseur), peuvent servir à caractériser la taille, mais le poids, facilement mesurable, est le plus couramment utilisé. En fait, le volume et le poids de la semence sont étroitement liés, ce qui a pour conséquence une faible variation de la densité réelle des grains, s'ils sont intacts. Une autre liaison est à noter entre le poids total de la semence et celui de l'embryon, dont la taille varie dans le même sens que celle de la semence entière. Quant à la forme du grain, elle est variable avec de nombreux cas particuliers, et on se contente généralement d'une séparation grossière entre semences plates et rondes.

Sur l'épi, le poids du grain diminue plus ou moins régulièrement de la base vers le haut en raison d'une fécondation plus tardive des grains du sommet, et de l'installation d'un gradient de disponibilité en assimilats pour le remplissage. **Une variation du simple au triple** ou plus, existe entre les semences plus légères et plus lourdes. **La forme du grain dépend de l'espace disponible pour la croissance de l'ovule fécondé**. Les grains de la base du sommet sont pour la plupart ronds ou épais, alors que ceux du milieu, comprimés par les voisines sont plats, sans que cela ait de conséquence sur la croissance de l'embryon. Entre épis, il existe aussi une variabilité de poids. Celui-ci est plus faible sur les épis ayant subi un stress, et généralement plus élevé sur des épis mal fécondés. Excepté un tri des épis à l'arrivée à l'usine, pour éliminer ceux d'origine variétale douteuse, les producteurs de semences ne travaillent que sur des lots bruts résultant de l'égrénage des épis. Le tri en fonction de la taille est effectué par calibrage et permet d'obtenir des fractions de semences de poids moyen, variant avec le diamètre des trous des grilles (ou calibre), bien qu'il existe aussi à l'intérieur de chaque fraction une certaine variabilité des poids de semences. Chez les semences plates, le calibre est relié étroitement à la largeur, tandis que pour les semences rondes, les liaisons sont plus complexes et englobent selon la forme, deux ou trois dimensions.

Pour répondre à la question des effets de la taille et de la forme de la semence sur le comportement des plantes, nous avons comparé d'une part, des semences de poids et de forme variables venant de différentes parties de l'épi et, d'autre part, des fractions de semences issues d'un calibrage portant sur la taille et la forme des grains. A la différence de plusieurs travaux antérieurs, le suivi de la croissance et du développement des plantes

a compris des points de mesure à différentes phases du cycle, de la sortie de la phase d'hétérotrophie jusqu'à la floraison. Plusieurs résultats ont été acquis à partir de la comparaison au champ des différentes fractions :

– **La forme plate ou ronde des grains** n'influe pas sur la croissance, le développement et le rendement , ceci pour des semences de même qualité germinative.

– Les dates de levée et de floraison femelle ne dépendent pas **de la taille de la semence**. De faibles variations de stades foliaires entre plantes issues de gros et petits grains ont été observées.

– Au stade 4 feuilles, au début de l'autotrophie, **la croissance en matière sèche est liée positivement au poids de semence initial**. Cette liaison est le résultat de la dépendance étroite entre la croissance hétérotrophe et l'importance des réserves, montrée par d'autres auteurs. L'avantage des plantes issues de grosses semences, pouvant atteindre 30% et plus par rapport à celles issues des plus petites semences, vient d'une vitesse d'utilisation des réserves séminales supérieure.

– Durant la phase de croissance exponentielle, **la vitesse de croissance relative ne dépend pas de la taille de la semence**, ce qui a pour conséquence un maintien de l'écart relatif de la matière sèche entre plantes issues de semences de tailles différentes. En fait, ceci est observable sur les plantes des fractions de semences extrêmes. Aucune taille de semence "seuil" n'a pu être mise en évidence.

– Dans la seconde partie de la phase de montaison, le retard de croissance des plantes issues des petites semences diminue. **A la floraison, les différences de croissance initiales liées à la taille de la semence ont disparu.**

– **Le rendement en grain n'est pas affecté par la taille de la semence**. Cette absence d'effet de la taille de la semence sur le rendement en grain provient de la disparition des différences de croissance à la floraison.

La comparaison de différentes classes de semences venant directement des épis individuels a donné des résultats allant dans le même sens. **Un effet du poids de semence** sur la croissance, auquel peut s'ajouter **un effet de la position sur l'épi** lié à la vigueur, a été mis en évidence. Cette intervention possible de la vigueur de la semence soulève la question des éventuelles interactions des effets de la vigueur et de la taille de la semence sur la croissance hétérotrophe. **L'avantage des plantes issues des grosses semences, de la base de l'épi disparaît après l'entrée en phase de montaison. Aucune différence de rendement due à la taille, à la forme de la semence ou à sa postion sur l'épi n'a été trouvée.**

Aucune interaction de la taille de la semence avec des conditions pédoclimatiques n'est ressortie de l'étude en situation de stress. **Lorsque les plantes subissent en**

phase junévile une période froide ou un stress hydrique sévère, l'avantage des plantes issues de grosses semences pour la croissance hétérotrophe n'est pas modifié. Aucune interaction n'a pas non plus été observée sur le rendement. Cependant, il serait nécessaire de voir les effets sur des plantes issues de semences de taille variable, **d'un stress en prélevée** provoqué par des températures froides en particulier, **qui retarderait de manière excessive la levée.**

Tous ces résultats confirment un certain nombre de travaux antérieurs, tout en apportant des précisions sur la question de l'effet de la forme et de la taille de la semence sur la croissance des plantes qui en sont issues. Ils contredisent donc les doutes des agriculteurs sur les petites semences et les rondes, si du moins celles-ci ne présentent pas de défaut de qualité germinative. En revanche, dans le cas d'un travail de recherche portant sur la première partie du cycle du maïs, un tri des semences en fonction de leur taille peut se justifier. Il reste cependant à expliquer cette disparition des différences de croissance provoquées par la taille de la semence. Il semblerait que **la compétition interplante**, qui s'intensifie durant la phase de montaison, joue un rôle important. **Or, celle-ci dépend de la densité de peuplement qui pourrait donc interagir avec la taille de la semence, ce qui reste à montrer.** D'autre part, cette étude devrait être répétée sur d'autres variétés présentant différents types et tailles de semences.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABD EL RAHMAN N. et BOURDU R. 1986. Effet de la taille et de la forme des grains sur quelques caractéristiques du développement du maïs au stade jeune. *Agronomie,* 6, 181-186.

ABDUL-HAMID I. 1986. Influence de la qualité semencière sur la germination, la croissance hétérotrophe et le devenir des plantules des maïs. Thèse Doct. Univ. Rennes, 148 p..

ABDULLAHI A. et VANDERLIP R.L. 1972. Relationship of vigor test and seed source and size to sorghum seedling establishment. *Agron. J.*, 64, 143-144.

AUTENSON H. et WALTON P.D. 1970. Relationship between initial seed weight, and mature plant characters in spring wheat. *Can. J. Plant Sci.*, 50, 53-58.

BARLOW E.W.R. et BOERSMA L. 1972. Growth response of corn to changes in root temperature and soil water suction measured with an LVDT. *Crop. Sci.*, 12, 251-252.

BARLOY J. 1984. Phase germination, levée et implantation. Dans physiologie du maïs, INRA, Paris, 13-48.

BAUDET L. 1987. Physical and physiological properties of seed corn separated by a gravity table. Ph.D., Iowa State University, 206 p..

BELL M.E. 1952. Development of the embryo of *Zea mays* in relation to position on the ear. M.S. Thesis, Library, Iowa State University, Ames, 19p..

BERTRAND M. 1991. Mécanismes de l'élaboration du nombre de grains du maïs (*Zea mays* L.). Valeur prédictive d'indicateurs écophysiologiques. Thèse INAPG, 196 p..

BONHOMME R. 1984. Fonctionnement photosynthétique du couvert végétal. Dans physiologie du maïs, INRA, Paris, 174-162.

BOURDU R. et GREGORY N. 1983. Etude comparée du début de la croissance chez divers génotype de maïs. *Agronomie*, 3, 761-770.

BOURDU R. et BOUSSER A. 1991. Structures et infrastructures du maïs au cours de la germination. Dans Physiologie et production du maïs, INRA, Paris, 19-27.

BROUWER R. et DE WIT C.T. 1969. A stimulation model of plant growth with special attention to root growth and its consequences. In Whittington W.J. (Eds). Root Growth. Butterworth, London, 224-244.

BRUCKLER L. 1983. Rôle des propriétés physiques du lit des semences sur l'imbibition et la germination. I. Elaboration d'un modèle du système "terre-graine". *Agronomie,* 3, 231-222.

BURRIS J.S., EDJE O.T. et WAHAB A.H. 1973. Effects of seed size on seedling performance in soybeans. II. Seedling growth and photosynthesis and field performance. *Crop. Sci.,* 13, 207-210.

BURRIS J.S. 1976. Seed/seedling vigor and field performance. *Journal of seed Techno.,* 1(2), 58-74.

BURRIS J.S. et NAVRATIL R.J. 1979. Relationship between laboratory cold-test methods and field emergence in maize inbreds. *Agron. J.,* 71, 985-988.

BURRIS J.S., HICKS D.R. et WIKNER I. 1985. Seed corn quality and size. National Corn Handboock. Coop. Ext. Service Purdue Univ., West Lafayette, IN., NCH-16.

CHAMPAGNAT P., OZENDA P. et BAILLAUD D. 1969. Biologie végétale. III: Croissance, morphogénèse, reproduction. Masson, Paris, 1-21.

CHAUSSAT R. 1975. Hétérogénéité de la germination des grains de l'épi du blé *(Triticum aestium L.). C. R. Acad. Sci.,* 281, 527-530.

COOPER C.S. et MACDONALD P.W. 1970. Energetics of early seedling growth in corn (*Zea mays* L.). *Crop. Sci.,* 10, 136-139.

DAGNELIE P. 1970a. Les comparaisons multiples de moyennes. Dans Théorie et méthodes statistiques. Ed : J. DUCULOT S.A. GEMBLOUX, 241-261.

DAGNELIE P. 1970b. Les méthodes relatives à la régression. Dans Théorie et méthodes statistiques. Ed : J. DUCULOT S.A. GEMBLOUX, 265-307.

DAYNARD T.B. et DUCAN W.G. 1969. The black layer and grain matury in corn. *Crop. Sci.*, 9, 473-476.

DELEENS E., GREGORY N. et BOURDU R. 1984. Transition between seed reserve use and photosynthetic supply during development of maize seedlings. *Plant Sci. Lett.*, 37, 35-39.

DERIEUX M., BOURDU R., DURBURCQ J.B. et BOIZARD H. 1989. La crise de croissance de la plantule de maïs à basse température. *Agronomie*, 9, 207-212.

DONALDSON C. et BLACKMAN G.E. 1974. The initiation of hybryd vigour in *Zea mays* during the germination phase. *Ann. Bot.*, 38, 515-527.

DURE L.S. 1960. Gross nutritional contributions of maize endosperm and scutellum to germination growth of maize axis. *Plant Physiology*, 35, 919-925.

EDMEADES G.O. et DAYNARD T.B. 1979. The relationship between final yield and photosynthesis at flowering in individual maize plants. *Can. J. Plant Sci.*, 59(6), 585-601.

FLEURY A., BERTRAND M. et RONSIN T. 1986. Essai d'analyse climatique de la croissance précoce du maïs. C.R. Acad. Agr. Fr., 72(7), 591-602.

FOK AH CHUEN M. 1979. Variabilité génétique de la levée et de la vigueur au stade jeune chez le maïs. Mémoire DAA-ENSA, Rennes, 81 p..

FONTES L.A.N. et OHLROGGE A.J. 1972. Influence of seed size and population on yield and other characteristics of soybean (*glycine max* (L.) Merr.). *Agron. J.*, 64, 833-836.

GAY J.P. et BLOC D. 1984. Détermination des composantes du rendement en grain. Dans Physiologie du maïs, INRA, Paris, 181-192.

GAY J.P., GOYTINO B. et TOLLENAAR M. 1991. Evolution comparée du système aérien et racinaire au stade jeune. Dans Physiologie du maïs, INRA, Paris, 91-99.

GIRARDIN P., JORDAN M.O., PICARD D. et TRENDEL R. 1986. Harmonisation des notations concernant la description morphologique d'un pied de maïs (*Zea mays L.*). *Agronomie*, 6, 873-875.

GIRARDIN P., MOREL-FOURNIER B., JORDAN M.O. et MILLET B. 1987. Développement des racines adventives chez le maïs. *Agronomie*, 7, 353-360.

GIRARDIN P. 1991. De l'ovule au grain de maïs mature. Dans physiologie et production du maïs. INRA, Paris, 187-200.

GRAVEN L.M. et CARTER P.R. 1990. Seed size/shape and tillage system effect on corn growth and grain yield. *J. Prod. Agric.*, 3, 445-452.

GUBBELS G.H. 1974. Growth of corn seedlings under low temperature as affected by genotype seed size, total oil and fatty acid content of the seeds. *Can. J. Plant Sci.*, 54, 425-426.

HAMMES P.S. 1969. Saadeienskappe en saailinggroei van gegradeerde mieliesaad. *Agroplantae*, 1, 33-37.

HANWAY J.J. 1963. Growth stages of corn (*Zea may L.*). *Agron. J.*, 55, 487-492.

HAWKINS R.C.et COOPER P.J.M. 1979. Effects of seed size on growth and yield of maize in the Kenya Highlands. *Expl. Agric.*, 15, 73-79.

HICKS D.R., PETERSON R.H., LUESCHEN W.E. et FORD J.H. 1976. Seed grade effect on corn performance. *Agron. J.*, 68, 819-820.

HOY D.J. et GAMBLE E.E. 1985. The effects of seed size and seed density on germination and vigor in soybean (*glycine max L.*). *Can. J. Pant Sci.*, 65, 1-8.

HUNTER R.B. et KANNENBERG L.W. 1972. Effects of seed size on emergence, grain yield, and plant height in corn. *Can. J. Plant Sci.*, 52, 252-256.

JUGUET M., DERIEUX M. et DUBURCQ J.B. 1986. Variations observées dans l'état de développement des systèmes foliaire et racinaire chez la semence mûre du maïs. *Agronomie*, 6(3), 299-304.

KAUFMANN M.L. et McFADDEN A.D. 1963. The influence of seed size on results of barley yield trial. *Can. J. Plant Sci.*, 43, 51-58.

KAUFMANN M.L. et GUITARD A.A. 1967. The effect of seed size on early plant developpment in barley. *Can. J. Plant Sci.*, 47, 73-78.

KIESSELBACH T.A. 1937. Effect of age, size, and source of seed on the corn crop. *Neb. Agric. Exp. Sta. Bull.*, 305, 1-16.

KIESSELBACH T.A. 1949. The structure and reproduction of corn. *Nebr. Agric. Exp. Stn. Res. Bull.*, 161p..

KNITTLE K.H. et BURRIS J.S. 1976. Effect of kernel maturation on subsequent seedling vigor in maize. *Crop Sci.*, 16, 851-855.

LAMPE L. 1931. A microchemical and morphological study of the developping endosperm of maize. *Bot. Gaz .*, 91, 337-376.

LAWAN M., BARNETT F.L., KHALEEQ B. et VANDERLIP R.L. 1985. Seed density and seed size of pearl millet as related to field emergence and several seed and seedling traits. *Agron. J.*, 77, 567-571.

LAWLOR D.W.1969. Plant growth in PEG solutions in relation to the osmotic potential of the root medium and the leaf water balance. *J. Exp. Bot.*, 65, 895-911.

LORGEOU J. 1991. Des références pour les variétés. Dans Physiologie et production du maïs, INRA, Paris, 291-305.

MANNINO M. et GIRARDIN P. 1993. Maize grain vitreousness : Variability within the ear effect of nitrogen. (accepté pour publication).

MARANVILLE J.W. et CLEGG M.D. 1977. Influence of seed size and density on germination, seedling emergence and yield of grain sorghum. *Agron. J.*, 69, 329-330.

MARCELLIN M. 1979. Etude fine de la croissance de jeunes plantes de maïs cultivées en conditions limitantes. Thèse 3ème cycle, Paris VI, 69p..

McDANIEL R.B. 1969. Relationships of seed weight, seedling vigor and mitrochondrial metabolism in barley. *Crop. Sci.*, 9, 823-827.

McDONALD M.B. 1992. Factors governing the water uptake of soybean and corn seeds. IVème Rencontre Internationale sur les semences, Angers, 20-24 juillet, p. 29.

McINTOSH M.S. 1983. Analysis of combined experiments. *Agron. J.*, 75, 153-155.

MENDHAM N.J., SHIPWAY P.A. et SCOTT R.K. 1981. The effects of seed size, autumn nitrogen and plant population density on the response to delayed sowing in winter oil-seed rape (*Brassica napus*). *J. Agric. Sci.*, 96, 417-428.

MILLEQUANT A. 1980. Contribution à la connaissance des réactions morphologiques, physiologiques et biochimiques de jeunes plants de deux hybrides de maïs soumis à une contrainte hydrique modérée et momentanée. Thèse DDI-INAPG, 89p..

MILLET E. et PINTHUS M.J. 1984. The association between grain volume and grain weight in wheat. *Jounal of cereal science,* 2, 31-35.

MOURAUX D. 1991. Contraintes actuelles en culture de maïs pour l'ensilage. Maîtriser la phytotechnie et la variabilité du rendement, respecter l'environnement. Thèse Lab. des grandes cultures, UCL Louvain-la -Neuve, 239 pp..

MUCHENA S.C. et TROGAN C.O. 1977. Effect of seed size on germination of (*Zea mays* L.) under simulated water stress conditions. *Can. J. Plant Sci.*, 57, 921-923.

MUJICA E. 1976. Influence de la température sur la germination et la croissance du maïs (LG11). Contribution à l'étude particulière de l'action des chocs thermiques sur l'allongement du mésocotyle des plantes étiolées. Thèse Doc.Ing.Univ. P. et M. Curie Paris VI, 109p..

OU-LEE T. et SETTER T.L. 1985. Effect of increased temperature in apical regions of maize ears on starch-synthesis enzymes and accumulation of sugars and starch. *Plant Physiol.*, 79, 852-855.

PELLERIN S., TRICOT F. et CHADOEUF J. 1989. Disposition des racines adventives autour de la tige de maïs (*Zea mays L.*). *Agronomie*, 9, 859-866.

PELLERIN S. 1991. Effet d'une réduction du rayonnement, incident sur l'émission des racines adventives du maïs en début du cycle. *Agronomie*, 11, 9-16.

PICARD D., JORDAN M.O. et TRENDEL R. 1985. Rythme d'apparition des racines primaires du maïs (*Zea mays L.*). I. Etude détaillée pour une variété en un lieu donné. *Agronomie*, 5, 133-145.

PHILLIPS R.E. 1968. Water diffusivity of germinating soybeans, corn and cotton seed. *Agron. J.*, 60, 568-571.

POMERANZ Y., CZUCHAJOWSKA Z., MARTIN C.R. et LAI F.S. 1985. Détermination of corn hardness by the stenvert hardness tester. *Cereal Chem.*, 62, 108-112.

POMMEL B. et FLEURY A. 1989. Etude de la variabilité individuelle chez le maïs à l'issue de la phase d'implantation, conséquences sur la croissance et la production de grain. *Agronomie* , 9, 467-476.

POMMEL B. 1990. Influence du poids de la semence et de la profondeur de semis sur la croissance et le développement de la plantule de maïs. *Agronomie*, 10, 699-708.

POMMEL B. 1991. Caractérisation de la plantule de maïs par ses paramètres au départ et selon son environnement. Dans Physiologie du maïs, INRA, Paris, 75-82.

RANDOLPH L.F. 1936. Developpment morphology of the caryopsis in maize. *J. Agric. Res.*, 53, 881-916.

REDDY P.N., REDDY K.N., RAO S.K. et SINGH S.P. 1989. Effect of seed size on qualitative and quantitative traits in soybean (*glycine max* (L.) Merill). *Seed Sci. et Technol.*, 17, 289-295.

ROBERTSON W. K., HAMMOND L.C., JOHNSON J.T. et BOOTE K.J. 1980. Effects of plant-water stress on root distribution of corn, soybean and peanuts in sandy soil. *Agron. J.*, 72, 548-550.

ROBINSON R.G. 1974. Sunflower performance relative to seed and weight of acheves planted. *Crop. Sci.*, 14, 616-618.

RUGET F. 1989. Relations entre matière sèche à la floraison et rendement en grains chez le maïs : Importance du rayonnement disponible par plante. *Agronomie*, 9, 457-465.

SAGLIO P. 1991. Effets de la teneur en oxygène et de la température au niveau racinaire, sur la croissance de 8 génotypes de maïs. Dans physiologie et production du maïs, INRA, Paris, 45-49.

SAS Institute. 1988. The Univariate Procedure SAS Procedures Guide, Release 6.03 Edition. SAS Inst., Cary NC.

SHARP R.E., SILK W.K. et HSIAO T.C. 1988. Growth of the maize primary root at low water potentials. I. Spatial distribution of expansive growth. *Plant physiol.*, 87, 50-57.

SHIEH W.J. et McDONALD M.B. 1982. The influence of seed size, shape and treatment on inbred seed corn quality. *Seed Sci. and Technol.*, 10, 307-313.

SPITTEL A. et BRINKMANN W. 1985. Zur Qualitätsbeeinflussung bei der Saatmaisaufbereitung. *Mais*, 3, 34-38.

STANTON M.L. 1984. Seed variation in wild radish : effect of seed size on components of seedling and adult fitness. *Ecology*, 65, 1105-1112.

TEKRONY D.M. et EGLI B.D. 1991. Relationship of vigor to crop yield : a review. *Crop Sci.*, 31, 816-822.

TEKRONY D.M., GROVE J.H. et MILES D.F. 1991. Effect of seed size and vigor on field performance in soft red winter wheat. *Agronomy Abstracts*, p.170..

TOLLENAAR M. et DAYNARD T.B. 1978. Kernel growth and development of two positions on the ear of maize (*Zea mays* L.). *Can. J. Plant Sci.*, 58, 189-197.

THOMAS B. 1981. Specific effects of blue light on plant growth and developpment. In H.S SMITH (ed.). Plants and the daylight spectrum. Academic Pess, London. 443-459.

VACLAVICK J. 1969. Effect of different constant soil moisture levels on foliage developpment in maize. *Biol. Plant.*, 11, 68-78.

VAN DE VENTER H.A. et HOFFMAN R. 1988. Germination rate of maize (*Zea mays* L.) kernels. I. Relationships with kernel properties and water uptake. *S. Afr. J. Plant Soil.*, 5, 189-192.

VAN DE VENTER H.A. et LOCK H.W. 1991. A comparison of seed vigour tests for maize (*Zea mays* L.). *S. Afr. J. Plant Soil.*, 8(1), 1-5.

WATSON S.A. 1987. Structure and composition. In Watson S.A., Ramsad P.E. (Eds.). Corn chemistry and technology. Américan association of cereal chemists, St. Paul.

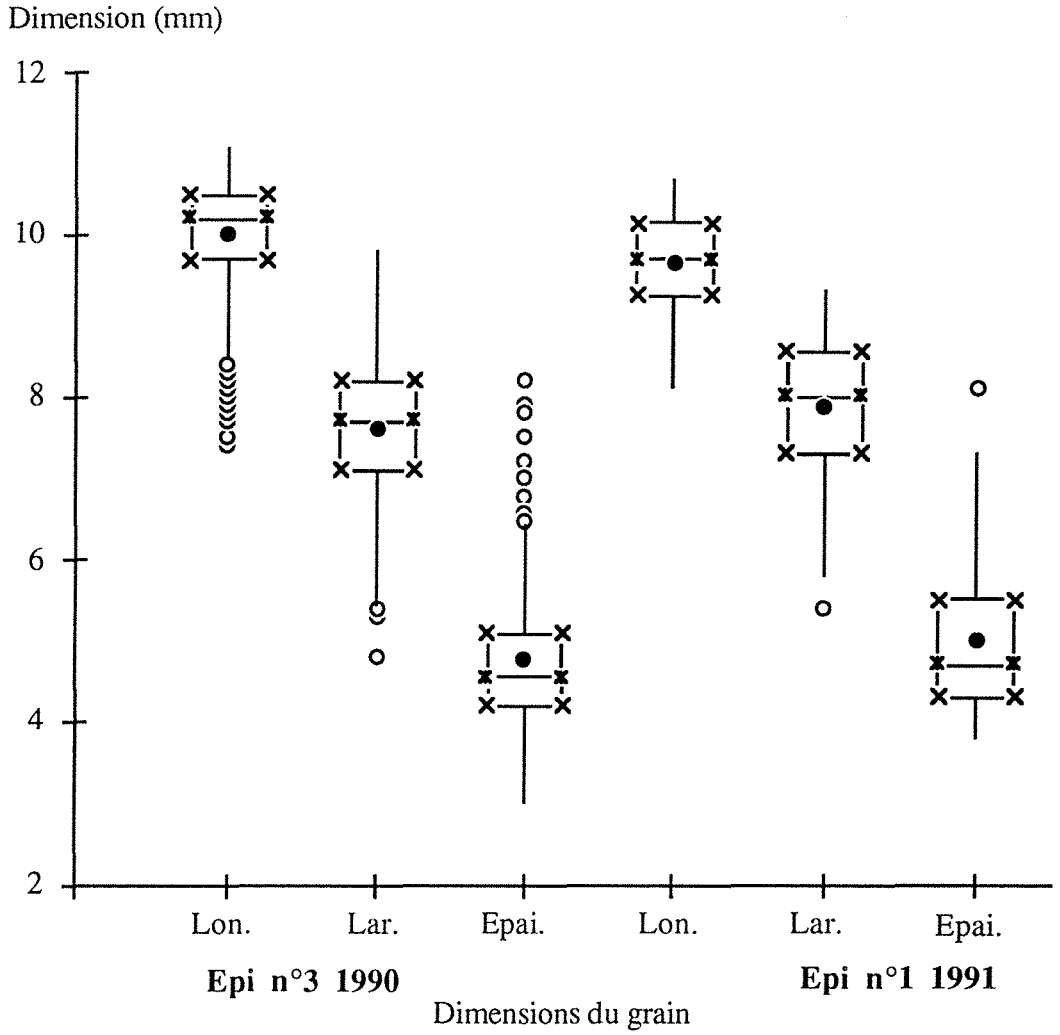
WHALLEY R.D.B., McKELL C.L. et GREON L.R. 1966. Seedling vigor and the early nonphotosynthetic stage of seedling growth in grasses. *Crop. Sci.*, 6, 147-150.

WOLF M.J., BUZAN C.L., MACMASTERS M.M. et RIST C.E. 1952. Structure of the mature corn kernel. I. Gross anatomy and structural relationships. *Cereal Chem.*, 29, 321-331.

WOOD D.W., LONGDEN D.C. et SCOTT R.K. 1977. Seed size variation ; its extent, source and significance in field crops. *Seed Sci. et Technol.*, 5, 337-353.

WURR D.C.E. et FELLOWS J.R. 1985. A determination of the seed vigour and field performance of crips lettuce seedstocks. *Seed Sci. et Technol.*, 13, 11-17.

Annexe 1 : Représentation par "boîte à pattes" (Exemple Fig.4).



Remarques :

– La représentation par "boîte à pattes" permet de représenter les distributions des valeurs de variables (équivalentes) ou des niveaux d'un facteur (cf. Fig.20).

– Sur l'axe des ordonnées, les valeurs des variables ou du niveau du facteur sont représentées.

– Sur l'axe des abscisses, les variables ou les niveaux du facteur sont représentés.

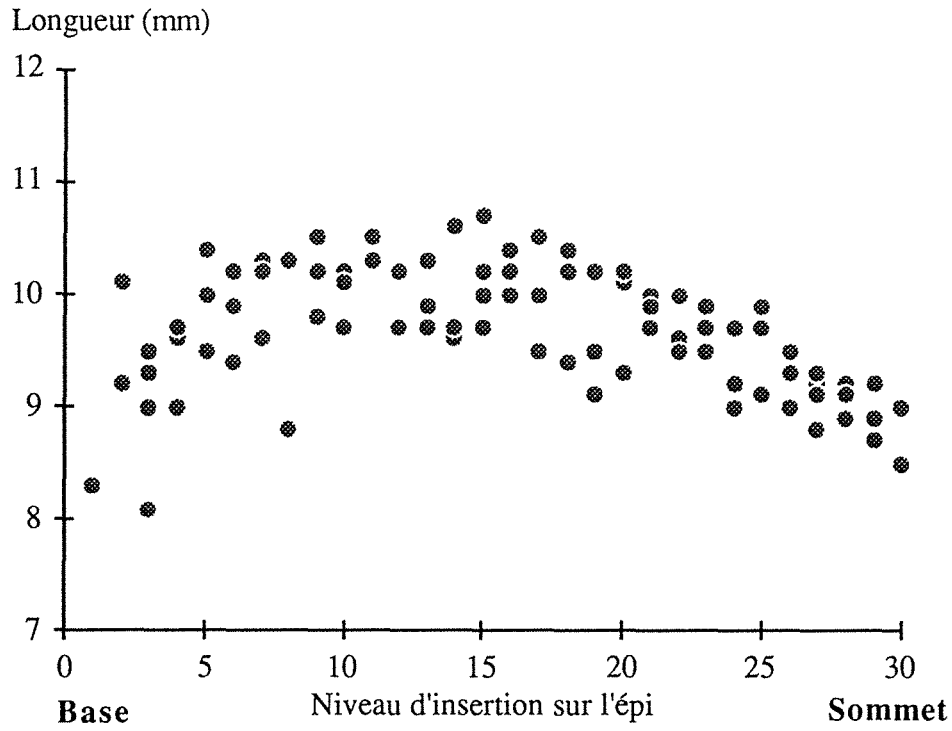
– L'élargissement de la boîte n'a pas de signification particulière autre que graphique pour la mise en valeur de l'information.

– Pour chaque variable les grandeurs suivantes sont représentées :

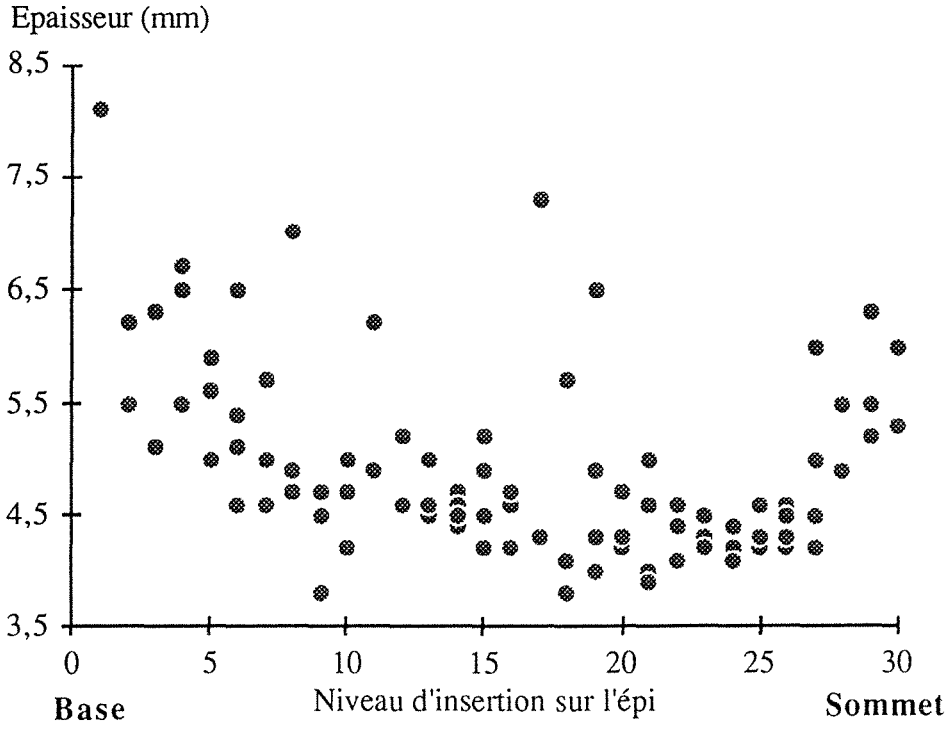
1 moyenne
2 médiane (50% données)
3 quartiles inférieur (25% données) et supérieur (75%)
4 patte = intervalle entre extremum et quartile
5 points extrêmes : points dont la distance au quartile le plus proche est > 1,5 * distance interquartile

Annexe 2 : Distribution des **a)** longueurs **b)** épaisseurs de semence le long de l'épi (n°1 1991).

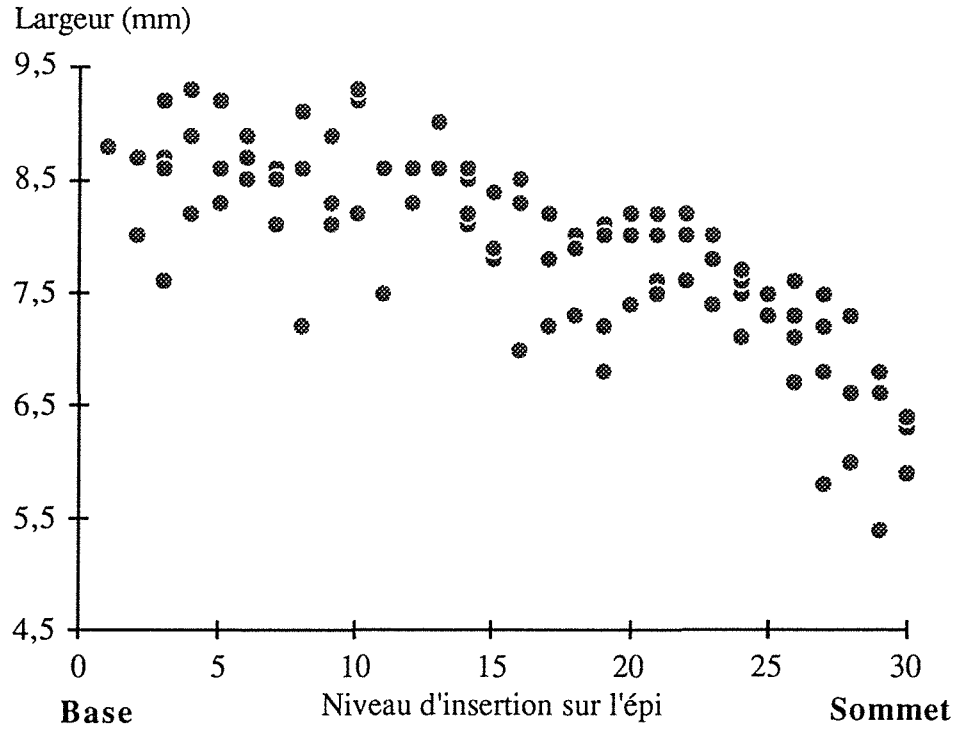
a)



b)



Annexe 3 : Distribution des largeurs de semence le long de l'épi (n°1 1991).



Annexe 4 : Coefficient de corrélation entre plusieurs caractéristiques de la semence et la hauteur de plante aux différents jours de mesure (j0 : semis). (résultats plante à plante)

a) 1990 **b)** 1991

a)

	haut j14	haut j23	haut j30	haut j36	haut j45
niv	-0,02	-0,58*	-0,52*	-0,39*	-0,32*
lon	0,44*	0,31*	0,24*	0,20*	0,18*
lar	0,19*	0,51*	0,38*	0,33*	0,31*
epai	-0,35*	0,12	0,08	0,08	0,01
poids	0,04	0,56*	0,43*	0,38*	0,30*

* significatif à 5%

b)

	haut j32	haut j39	haut j46	haut j54	haut j60	haut j67	haut j74
niv	-0,38*	-0,37*	-0,43*	-0,39*	-0,40*	-0,40*	-0,30*
lon	0,01	-0,05	-0,11	-0,05	-0,05	-0,04	-0,08
lar	0,12	0,14	0,17	0,14	0,13	0,13	0,03
epai	0,27*	0,31*	0,40*	0,36*	0,38*	0,38*	0,37*
poids	0,35*	0,36*	0,42*	0,39*	0,41*	0,40*	0,30*

* significatif à 5%

niv : niveau d'insertion sur l'épi
lon : longueur du grain
epai : épaisseur du grain
poids: poids total du grain
lar : largeur du grain
haut : hauteur de plante (j0 : semis)

Annexe 5 : Protocoles **a)** du test de germination à 18°C **b)** du test au froid (cold test).

a) Test de germination à 18°C :

- 3*100 grains
- Mélange 5 volume de sable+1 volume d'eau
- Disposer les grains dans une couche de sable
- Recouvrir les grains de sable
- 5 jours à 18°C

b) Test au froid :

- 4*100 grains
- Terre répartie uniformément sur un buvard humidifié
- Grains posés embryon contre terre
- 7 jours à 10°C
- 3 jours à 25°C

A l'issue de chaque test, les notations suivantes sont faites :

- nombre de grains germés avec plantules normales
- nombre de grains germés avec plantules faibles
- nombre de grains germés avec plantules anormales au niveau des racines
- nombre de grains germés avec plantules anormales au niveau du coléoptile
- nombre de grains non germés et morts

Remarque : Les anormaux faibles et racinaires sont laissés deux jours de plus pour le test à 18°C, et un jour de plus à 25°C pour le test au froid, pour être renotés (lectures à 7 et 11 jours)

Annexe 6 : Itinéraires techniques appliqués sur les essais à Colmar (Domaine expérimental de l'I.N.R.A. de Colmar).

a) 1990

- 20 avril : fumure de fond P, K
- 20 avril : reprise à la herse
- 20 avril : desherbage avec un mélange d'atrazine (2 l/ha) et d'EPTC (CAPSOLANE 9 l/ha)
- 3 mai : semis
- 4 mai : irrigation 20 mm
- 29 mai : éclaircissage au stade 7 feuilles
- début juin : 140 u d'azote sous forme d'ammonitrate au stade 8 feuilles

b) 1991

- 20 décembre : fumure de fond P, K
- 22 avril : reprise à la herse rotative
- 24 avril : reprise au vibroculteur avec rotoherse au bout
- 29 avril : semis
- 4 juin : desherbage avec un mélange d'atrazine, et, de pyridate et clopyralid(PYRON)
- 4-5 juin : éclaircissage au stade 6-7 feuilles
- 11 juin : 140 u d'azote sous forme d'ammonitrate au stade 8 feuilles
- 2 octobre : récolte des 2 rangs "récolte"
- 3 octobre : récolte des plantes du suivi plante à plante

c) 1992

- 21 avril : reprise à la herse
- 29 avril : semis
- 21 mai : éclaircissage au stade 5 feuilles
- 10 juin : desherbage avec du pyridate (LENTAGRAN 2 l/ha)
- 11 juin : 130 u d'azote sous forme d'azote liquide (solution 39%)
- 28 juin : pose de capsules de trichogrammes
- 29 septembre : récolte des 2 rangs "récolte"

Remarque : labour en hiver

Annexe 7 : Itinéraires techniques appliqués sur les essais à Ostheim (Chez un agriculteur).

a) 1991

- avril : reprise au vibroculteur
- avril : 220 u d'azote sous forme d'azote liquide (solution 39%) en mélange avec desherbants
- avril : desherbage avec un mélange d'atrazine et d'alachlore (LASSO)
- avril : reprise au germinator
- 29 avril : semis
- 5 juin : éclaircissage au stade 6-7 feuilles
- 7 octobre : récolte des 2 rangs "récolte"
- 8 octobre : récolte des plantes du suivi plante à plante

b) 1992

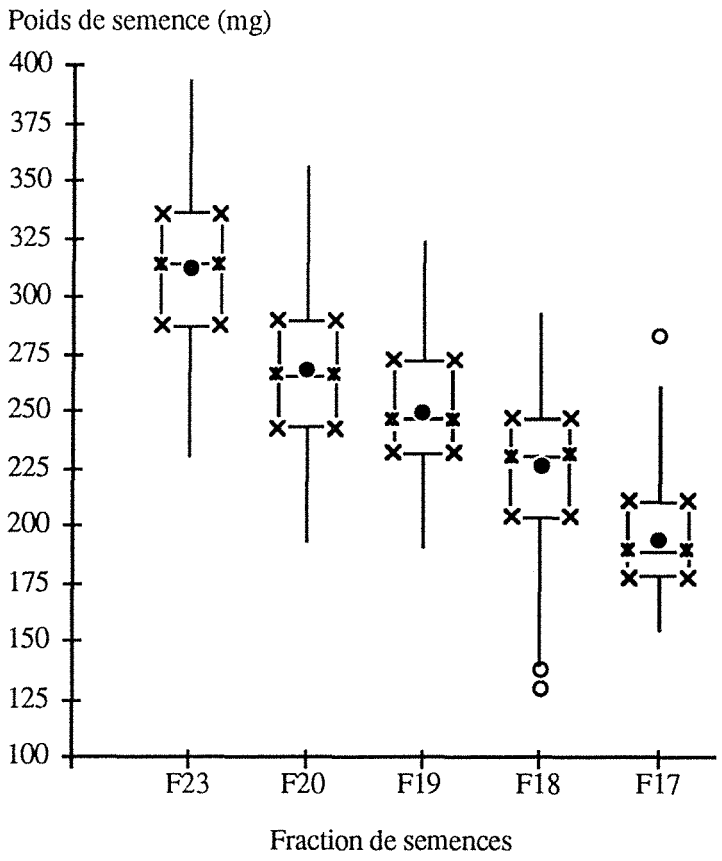
- avril : reprise au vibroculteur
- avril : 60 u d'azote sous forme d'azote liquide (solution 39%) en mélange avec desherbants
- avril : desherbage avec un mélange d'atrazine et d'alachlore (LASSO)
- avril : reprise au germinator
- 29 avril : semis
- 22 mai : éclaircissage au stade 5 feuilles
- juin : desherbage de rattrappage avec un mélange d'atrazine, de BINEX et de TITUS
- juin : 160 u d'azote sous forme de perlurée au stade 8 feuilles
- 23 septembre : récolte des 2 rangs "récolte"

Remarque : labour et fumure de fond P, K en hiver

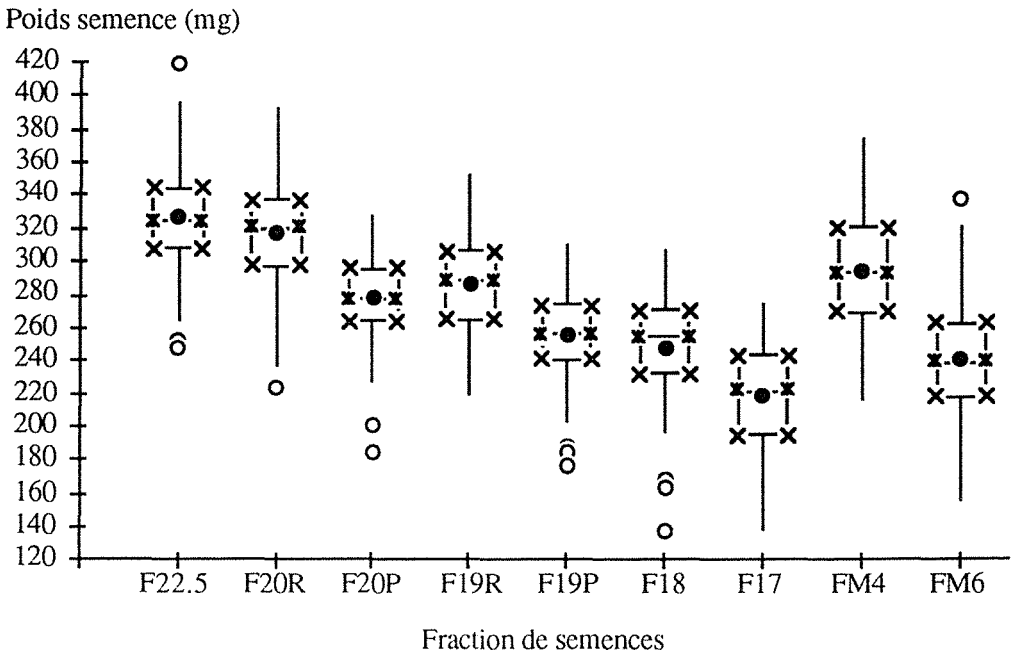
Annexe 8 : Distribution des poids de semence par fraction (représentation par "boîte à pattes").

a) 1990 **b)** 1992

a)



b)



Annexe 9 : Date de levée (jours depuis semis) par fraction des plantes prélevées à Colmar en 1990.

Fractions	Dates de levée (jours depuis semis)					
	j12	j15	j19	j22	j26	j29
F23	9,9	9,9	9,9	10,0	9,7	9,8
F20	9,8	10,1	10,2	10,3	10,0	10,0
F19	10,1	10,1	10,0	10,2	10,4	10,2
F18	9,5	10,3	10,4	9,8	10,0	10,0
F17	10,2	9,8	10,0	10,2	9,8	10,2

Annexe 10 : Date de levée moyennes (jours depuis semis) par fraction pour les deux rangs récoltés (éclaircis).

a) 1991 **b)** 1992

a)

Fractions	Dates de levée (jours depuis semis)	
	Colmar	Ostheim
F22.5	18,0	17,2
F20.5R	17,6	17,1
F20.5P	17,5	17,2
F19.5R	17,9	17,2
F19.5P	18,1	17,1
F18.5	17,8	17,1
F17.5	18,1	17,2
FM4	18,1	17,3
FM61	17,5	17,1
FM64	18,2	18,1

b)

Fractions	Dates de levée (jours depuis semis)	
	Colmar	Ostheim
F22.5	12,6	13,5
F20R	12,5	13,5
F20P	12,5	13,0
F19R	12,6	13,4
F19P	12,7	13,1
F18	12,7	13,2
F17	12,6	13,7
FM4	12,9	13,4
FM6	12,6	13,5

Annexe 11 : Date de floraison femelles moyennes (jours depuis semis) par fraction pour les plantes prélevées en 1991.

Fractions	Dates de floraison (jours depuis semis)	
	Colmar	Ostheim
F22.5	77,3	71,7
F20R	77,0	72,3
F20P	77,7	72,0
F19R	77,7	72,3
F19P	78,3	72,7
F18	78,0	73,3
F17	78,3	73,3
FM4	76,7	71,7
FM6	78,0	73,0

Annexe 12 : Densité de peuplement par fraction estimée pour le suivi plante à plante en 1991.

Fractions	Densités de peuplement (pl /ha)	
	Colmar	Ostheim
F22.5	87750	85400
F20.5R	85100	85100
F20.5P	83650	84700
F19.5R	82000	85750
F19.5P	84700	86450
F18.5	85100	83000
F17.5	83650	85100
FM4	82600	85750
FM61	83000	83350
FM64	84900	84500

Annexe 13 : Stade foliaire (nombre de feuilles visibles) par fraction pour le suivi plante à plante en 1991 (j0 : semis).

a) Colmar 1990 **b)** Colmar 1991 **c)** Ostheim 1991

a)

Fractions	Stades foliaires (n. feuilles visibles)		
	j20	j35	j42
F23	5,2	9,4	10,9
F20	5,3	9,3	10,8
F19	5,1	9,2	10,7
F18	5,0	9,0	10,6
F17	5,0	9,0	10,3

b)

Fractions	Stades foliaires (n. feuilles visibles)				
	j31	j38	j45	j52	j60
F22.5	5,1	7,5	8,7	9,8	12,6
F20.5R	5,2	7,4	8,8	10,1	12,8
F20.5P	5,0	7,1	8,6	9,8	12,6
F19.5R	5,0	7,4	8,7	10,0	12,7
F19.5P	5,0	6,9	8,6	9,6	12,2
F18.5	5,0	7,2	8,5	9,7	12,4
F17.5	5,0	7,3	8,7	9,7	12,5
FM4	5,1	7,4	8,8	10,0	12,8
FM61	5,0	7,4	8,7	9,9	12,8
FM64	5,0	7,5	8,9	10,0	12,8

c)

Fractions	Stades foliaires (n. feuilles visibles)	
	j35	j64
F22.5	6,9	14,0
F20.5R	6,5	13,6
F20.5P	6,7	13,9
F19.5R	6,8	13,7
F19.5P	6,6	13,7
F18.5	6,5	13,9
F17.5	6,7	13,9
FM4	6,9	13,8
FM61	6,7	13,8
FM64	6,8	14,0

Annexe 14 : Date de floraison femelle (jours depuis semis) par fraction pour les deux rangs récoltés (non éclaircis).

a) 1991 **b)** 1992

a)

Fractions	Dates de floraison (jours depuis semis) Colmar	Ostheim
F22.5	82,3	82,0
F20.5R	82,3	82,0
F20.5P	83,0	82,3
F19.5R	82,3	82,2
F19.5P	83,7	82,5
F18.5	83,3	82,7
F17.5	83,7	82,0
FM4	83,0	81,7
FM61	83,0	81,7
FM64	83,0	82,3

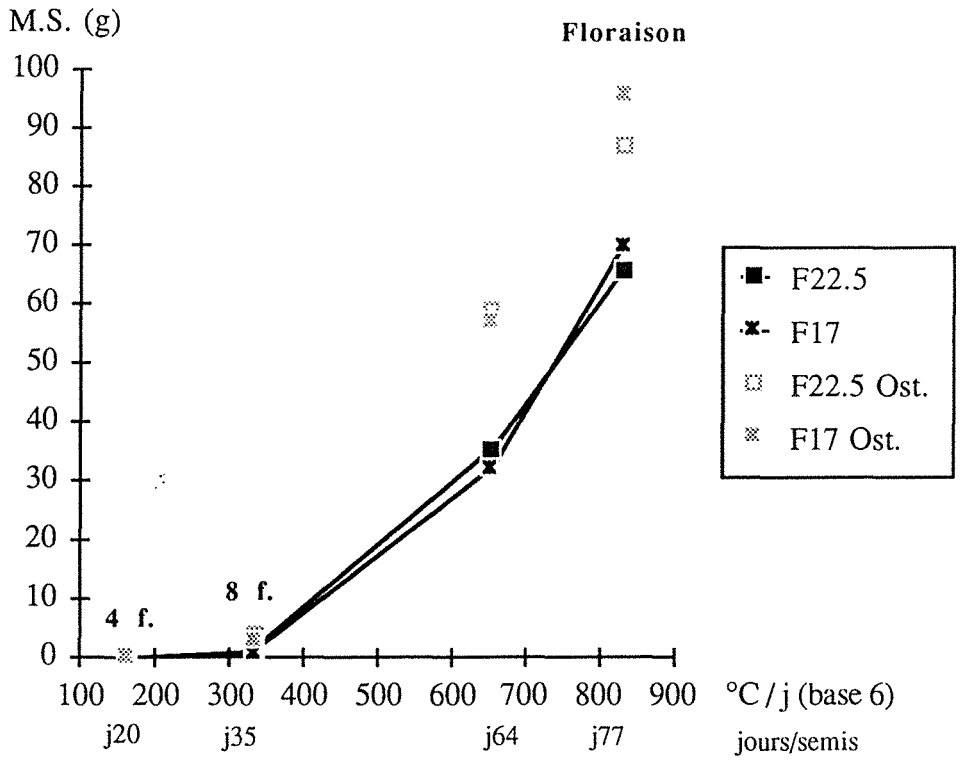
b)

Fractions	Dates de floraison (jours depuis semis) Colmar	Ostheim
F22.5	77,3	71,7
F20R	77,0	72,3
F20P	77,7	72,0
F19R	77,7	72,3
F19P	78,3	72,7
F18	78,0	73,3
F17	78,3	73,3
FM4	76,7	71,7
FM6	78,0	73,0

Annexe 15 : Dates de floraison femelles (jours depuis semis) par fraction pour le suivi plante à plante en 1991.

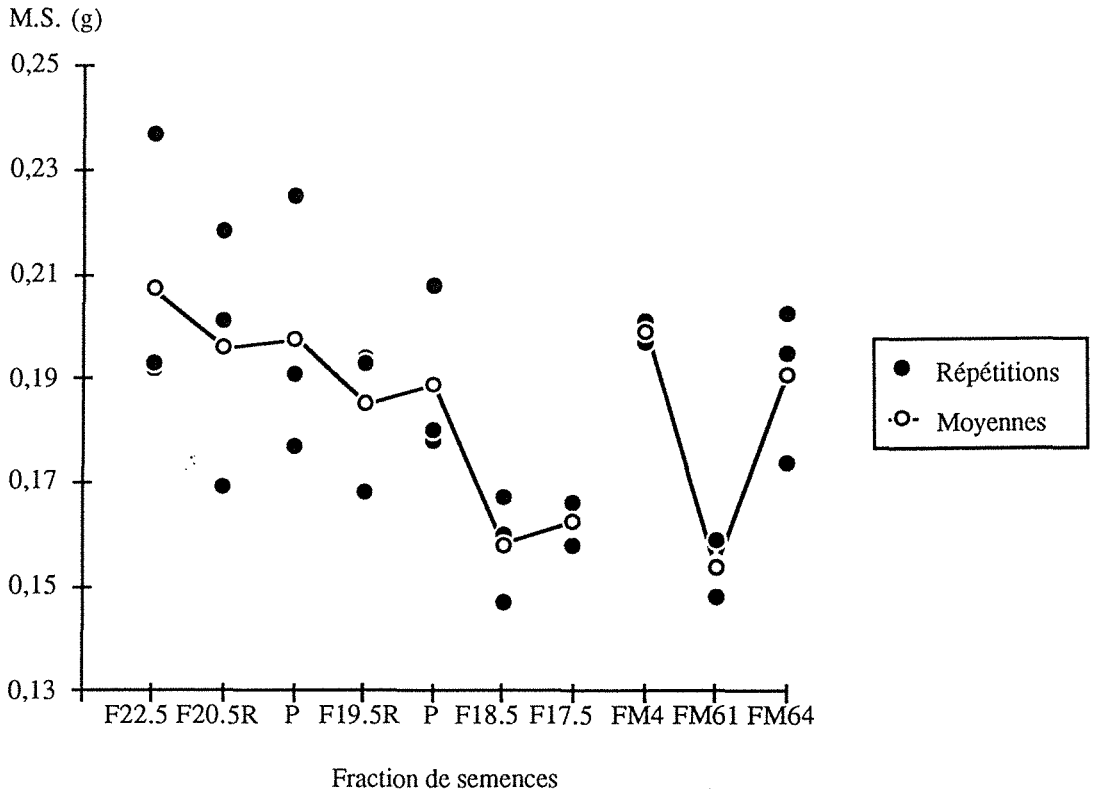
Fractions	Dates de floraison (jours depuis semis)	
	Colmar	Ostheim
F22.5	81,8	80,9
F20.5R	81,5	81,7
F20.5P	82,3	81,7
F19.5R	81,8	81,0
F19.5P	83,8	81,2
F18.5	82,9	82,1
F17.5	82,4	81,6
FM4	82,6	81,2
FM61	82,3	81,0
FM64	82,3	80,9

Annexe 16 : Croissance en matière sèche (part. aériennes) par fraction jusqu'à floraison à Colmar (et à Ostheim) en 1992.

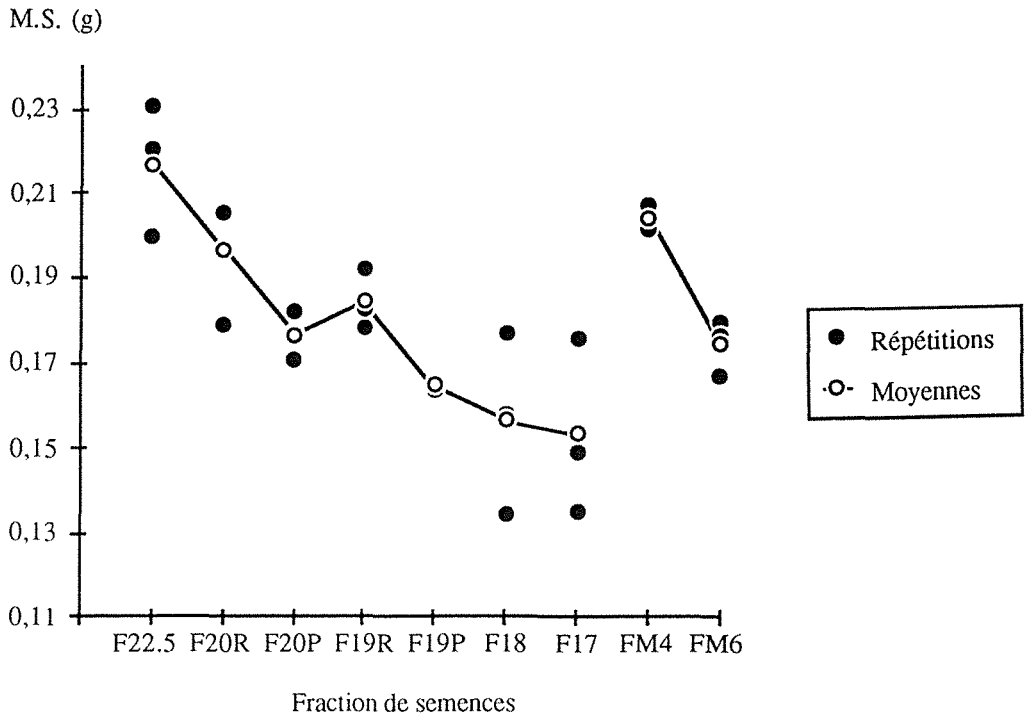


Annexe 17 : Distribution des répétitions pour la matière sèche (p.aériennes) par fraction à Ostheim au stade 4 feuilles. **a)** 1991 **b)** 1992

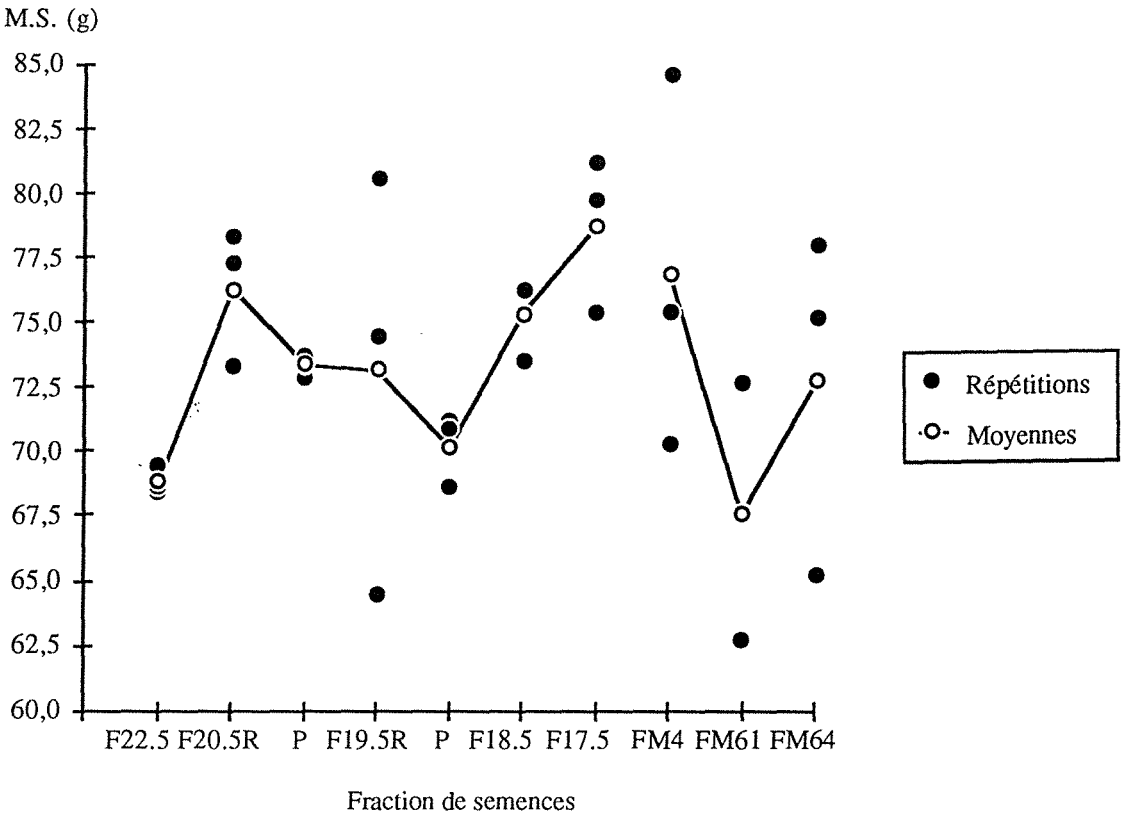
a)



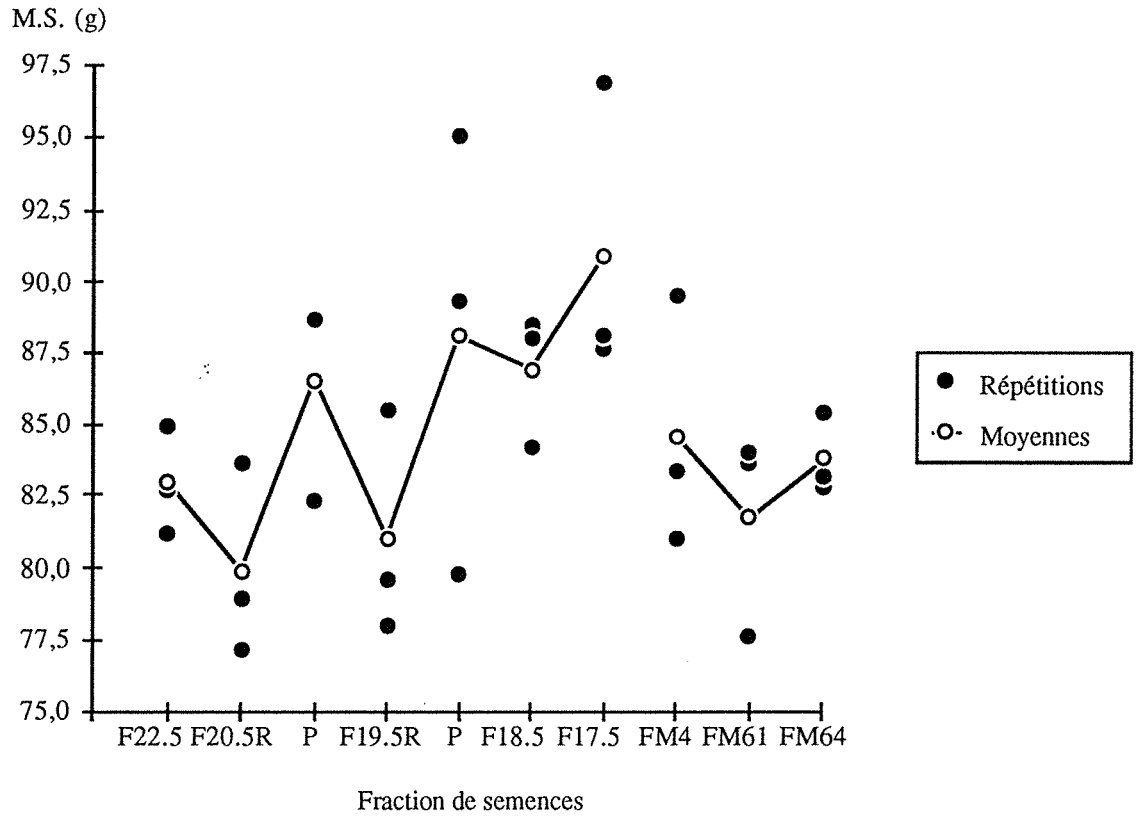
b)



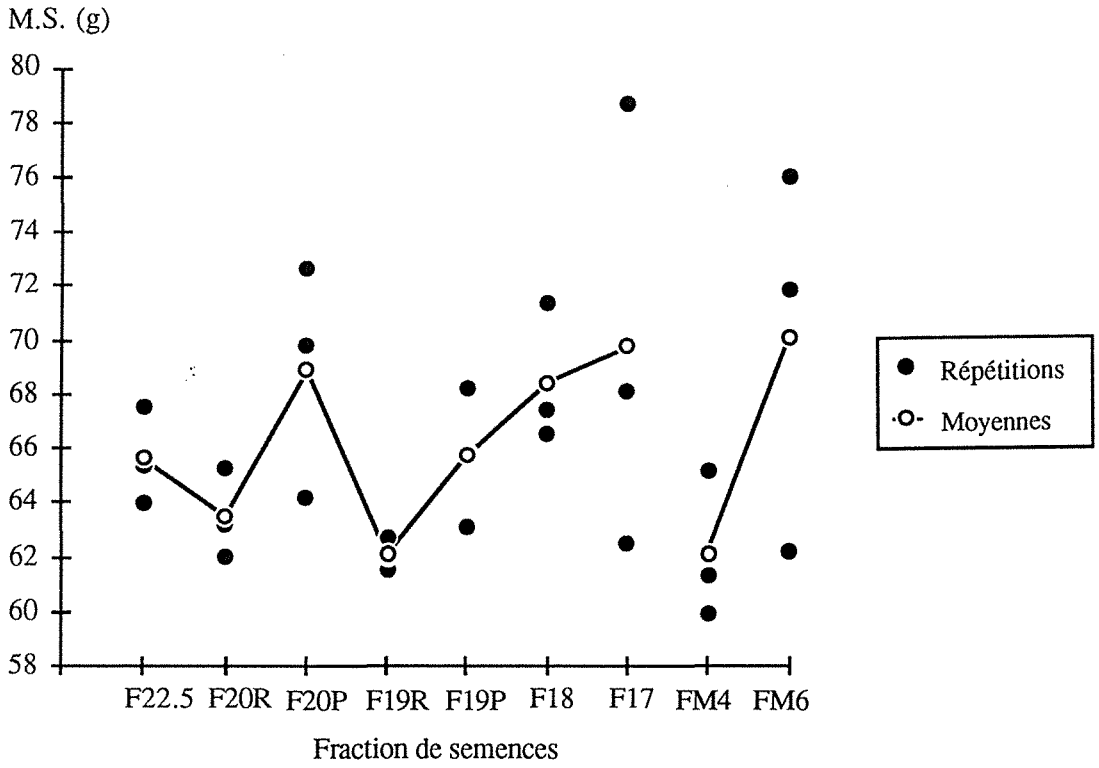
Annexe 18 : Distribution des répétitions pour la matière sèche (p.aériennes) par fraction à la floraison en 1991 à Colmar.



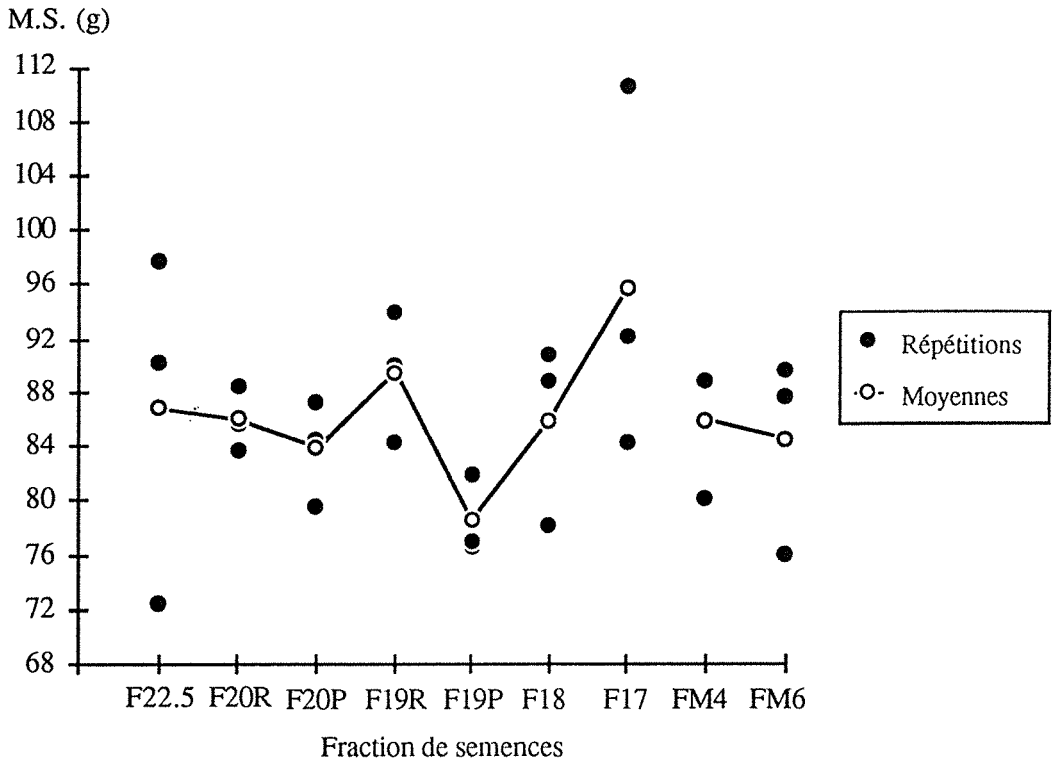
Annexe 19 : Distribution des répétitions pour la matière sèche (p.aériennes) par fraction à la floraison en 1991 à Ostheim.



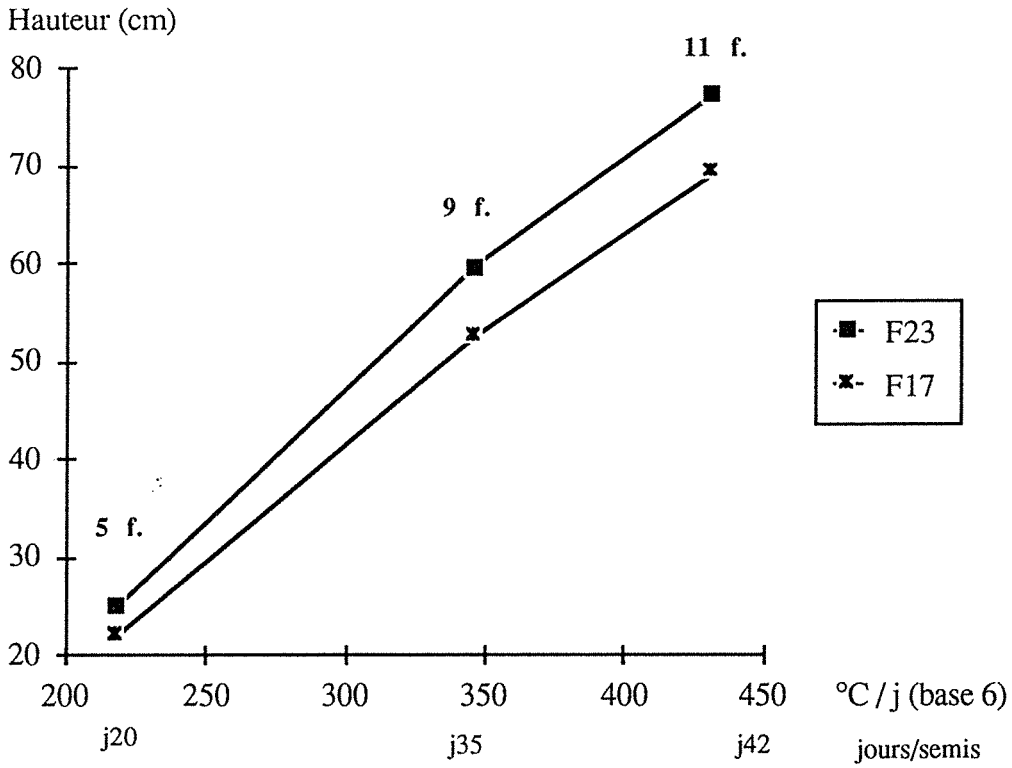
Annexe 20 : Distribution des répétitions pour la matière sèche (p.aériennes) par fraction à la floraison en 1992 à Colmar.



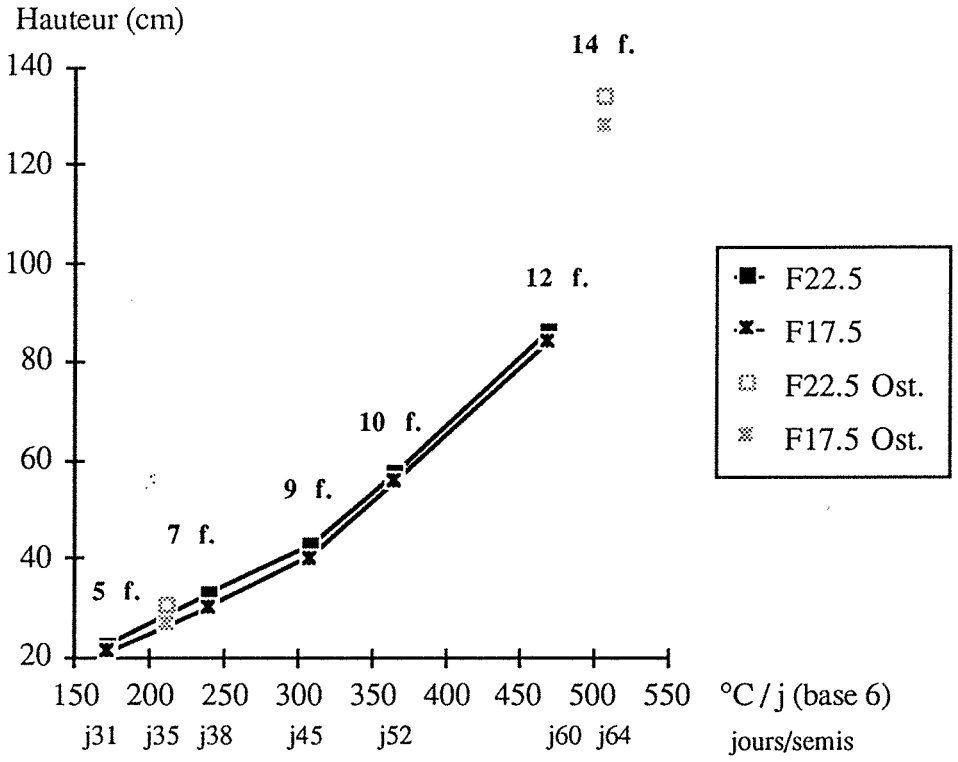
Annexe 21 : Distribution des répétitions pour la matière sèche (p.aériennes) par fraction à la floraison en 1992 à Ostheim.



Annexe 22 : Croissance en hauteur par fraction jusqu'à floraison à Colmar en 1990.



Annexe 23 : Croissance en hauteur par fraction jusqu'à floraison à Colmar (et à Ostheim) en 1991.

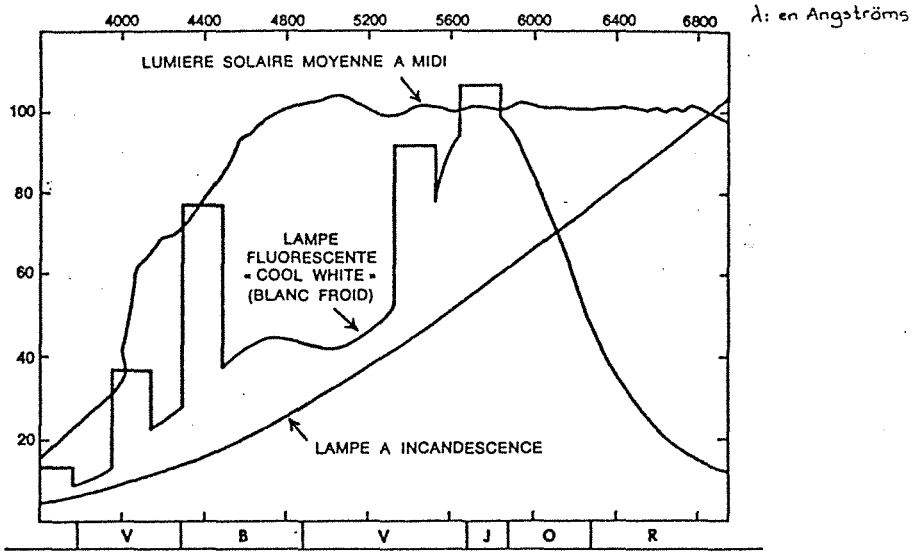


Annexe 24 : Répartition spectrale de la lumière :

a) d'un tube fluorescent (traitement froid)

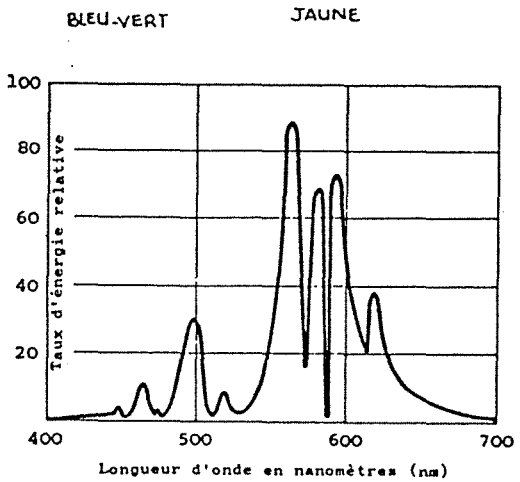
b) d'une lampe à vapeur de sodium haute pression (traitements témoin et sec)

a)



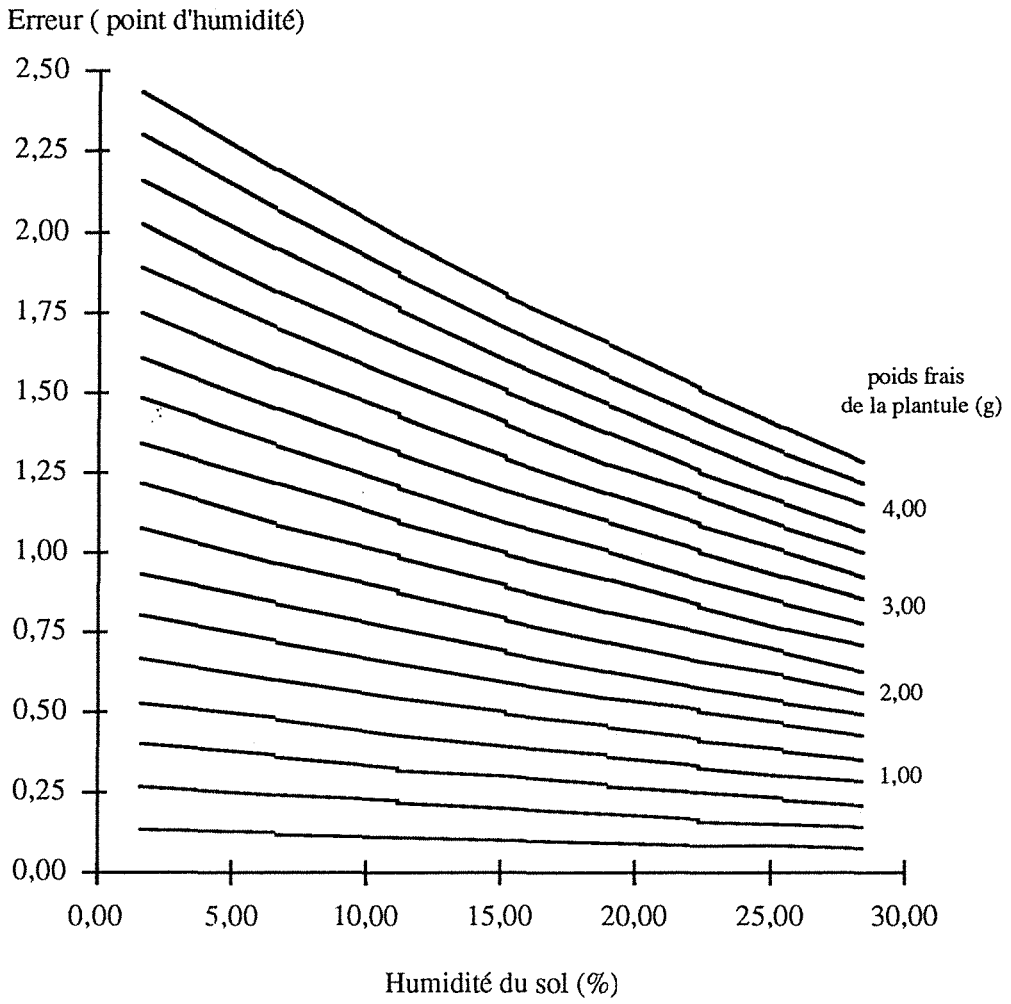
Comparaison des spectres de tubes fluorescents (blanc froid) et de lampe à incandescence par rapport à la lumière solaire.

b)



Lampe à vapeur de sodium haute-pression.

Annexe 25 : Abaque donnant l'erreur d'estimation de l'humidité du sol en fonction de l'humidité du sol estimé (à partir du poids frais du pot) et du poids frais de la plantule (Traitement sec 1991).



Remarque : les abaques des autres traitements de 1991 et de ceux de 1992 sont très semblables à celle représentée ici.

Annexe 26 : Bilan des matières sèches (M.S. produites-M.S. consommées entre le semis et le 1er prélèvement) par fraction pour les traitements témoin et sec en 1992.

Fractions	Bilan M.S. (mg)	
	Témoin	Sec
F22.5	23,0	52,8
F17	34,4	48,6

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE LORRAINE NANCY

SUMMARY

Farmers do question the yield potential of small and round seeds of maize. In agronomic experiments, heterogeneity of seed size or shape can also increase the residual variance. The objective of our work is to study within a cultivar the effects of size and shape (round or flat) of seeds on growth, development and grain yield of plants.

We worked with identified kernels from the ear, and with seed grades made after the grading of a seed lot.

Seed weight, to which kernel volume and embryo weight are correlated, decreases from the bottom to the tip of the ear. An effect on plant growth of seed weight and the location of the kernel on the ear was found. It disappears during stem elongation.

Mean seed weight of each grade varies according to the size of the seed grades. The breadth of flat kernels is closely linked to the size of the seed grades. No effect of seed shape on plant behaviour in the field was found. Plant development (dates of emergence, silking, foliar stages...) is slightly influenced by seed size. At the 4 visible leaves-stage, there is a positive correlation between the dry weight of seedlings and their initial seed weight. This results come from the heterotrophic growth which depends on the size of the initial seed.

The high dry matter content (over 30%) of plants from large seeds over plants from small seeds is maintained during exponential growth, because the relative growth rate does not vary between plants of different seed size. This advantage decreases during stem elongation and disappears during the second part of this phase. The absence of effect of seed size on grain yied can be explained by the absence of growth difference at silking.

Effect of seed size on heterotrophic growth is not increased by low temperatures or a drought. No interaction between seed size and pedo-climatic conditions was found.

The disappearing of growth difference due to seed size has to be explained. The competition between plants is supposed to be a reason.It can be proved by studying the interaction between seed size and population density. Our study also has to be carried out with others cultivars of different kernel type.

Keywords : Maize / seed / size / shape / growth / grain yield / cold / drought

RESUME

Le potentiel de rendement des petites semences de maïs et des rondes est remis en question par les agriculteurs, tandis que les chercheurs peuvent être confrontés à des problèmes d'hétérogénéité non contrôlée, dus à la taille et à la forme plate ou ronde du grain. Cette étude a porté au sein d'une variété sur les effets de la taille et de la forme plate ou ronde des semences sur la croissance, le développement et le rendement en grain.

Nous avons travaillé sur des grains repérés directement sur l'épi et sur des fractions de semences issues du calibrage d'un lot brut de semences.

Le poids de semence auquel sont corrélés le volume du grain et le poids de l'embryon diminue de la base au sommet de l'épi. Un effet sur la croissance du poids du grain et de sa position sur l'épi a été mis en évidence. Il disparaît en phase de montaison.

Le poids moyen des semences par fraction suit l'ordre des calibres. Chez les grains plats, une corrélation étroite entre calibre et largeur de la semence a été trouvée. Aucun effet de la forme de la semence sur le comportement des plantes n'a été trouvé. Le développement (dates de levée et de floraison, stades foliaires...) est faiblement influencé par la taille de la semence. Au stade 4 feuilles, il existe une corrélation positive entre la matière sèche de la plante et le poids de semence dont elle est issue. Ceci résulte d'une croissance hétérotrophe différente suivant la taille de la semence d'origine. L'avantage de plus de 30% de matière sèche des plantes des grosses semences, par rapport à celles des petites semences se maintient à peu près durant la croissance exponentielle, en raison d'une stabilité du taux de croissance relatif entre plantes venant de semences de différentes tailles. Cet écart diminue en phase de montaison, pour disparaître dans la seconde partie. L'absence d'effet de la taille de la semence sur le rendement en grain s'explique par l'absence de différence de croissance à la floraison.

L'écart de croissance dû à la taille de la semence en phase hétérotrophe n'est pas amplifié par des températures basses et le manque d'eau, et aucune interaction entre la taille de la semence et les conditions pédoclimatiques n'est apparue.

Il reste à expliquer le rattrapage du retard de croissance par les plantes issues des petites semences. Il est possible que la compétition interplante soit une des raisons. Ceci nécessite l'étude des interactions taille de semence-densité de peuplement. Ce travail devra être reconduit avec des variétés de types de semence différents.

Mots clés : Maïs / semence / taille / forme / croissance / rendement en grain / froid / sècheresse