

AMELIORATION DU BLE TENDRE POUR SA VALEUR D'UTILISATION

par MICHEL ROUSSET

Chargé de Recherches à l'I.N.R.A.
Station d'Amélioration des Plantes de Clairmont Ferrand.

Les deux grandes destinations du Blé tendre (*Triticum aestivum*) sont la panification (au sens large) et l'alimentation animale.

La valeur d'utilisation (V.U.) du grain de Blé recouvrira donc deux aspects:

- la valeur en panification ou valeur boulangère.
- la valeur nutritionnelle ou valeur fourragère.

Cette valeur d'utilisation est avant tout une caractéristique variétale sur laquelle le sélectionneur pourra intervenir par modification du génotype. Cependant, le milieu aura une influence primordiale sur l'expression des potentialités du génotype.

La V.U. du grain de Blé repose sur la présence de deux groupes de constituants essentiels:

- l'amidon et les protéines.

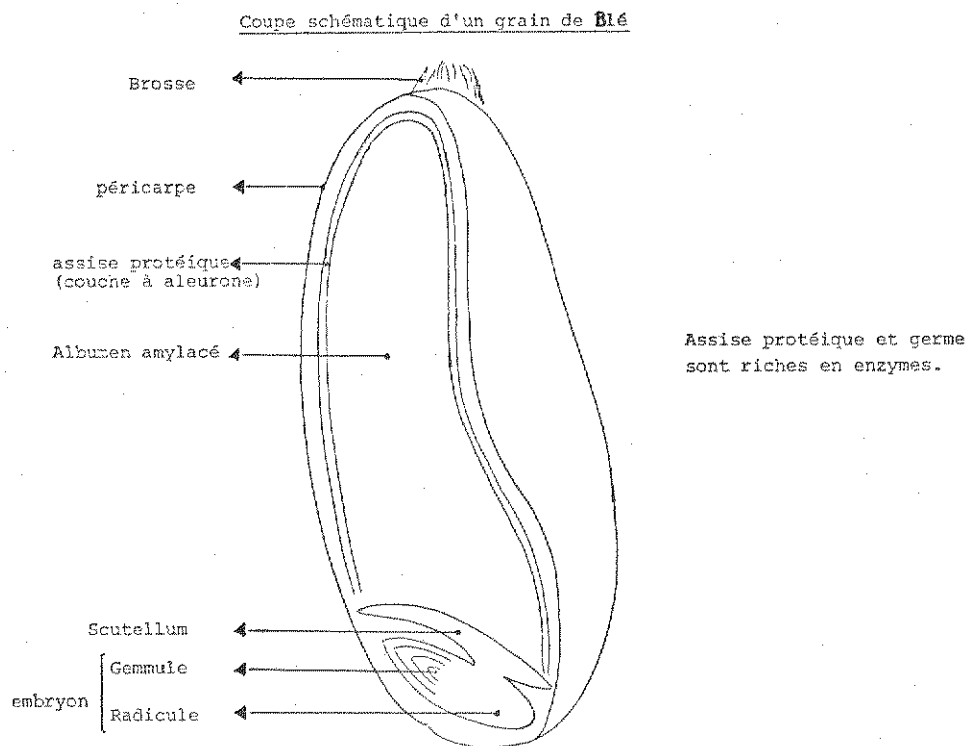
Dans l'exposé qui va suivre nous étudierons en premier lieu les constituants essentiels du grain de Blé sous l'aspect de leur liaison avec la V.U. du grain. Nous consacrerons ensuite un chapitre à la définition et au jugement de cette V.U.. Nous achèverons cet exposé par un développement sur la sélection pour la V.U..

I. LES CONSTITUANTS DU GRAIN DE BLE.

Considérons les constituants qui jouent un rôle fondamental dans les opérations de panification:

- fermentation
- gonflement des pâtes
- cuisson

ou encore qui représentent les facteurs déterminant de la valeur nutritionnelle du grain.



Teneur en protéines des différentes zones du grain de Blé

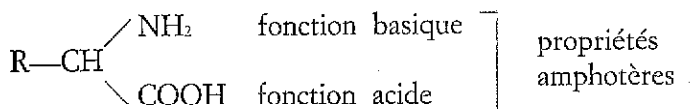
Zone du grain	Teneur en protéines en % de la M.S.
Assise protéique	20
Embryon	33
Scutellum	27
Albumen périphérique	14
Albumen central	6
Grain entier	12

d'après L. PETIT

1) LES PROTEINES.

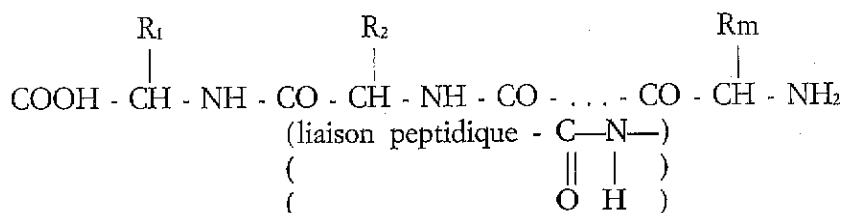
Les acides aminés sont les constituants élémentaires des protéines.

1 acide aminé peut se schématiser par:



la protéine peut être considérée comme une chaîne dont les maillons sont les acides aminés accrochés entre eux par la liaison peptidique.

Chaîne protéique:



La séquence des acides aminés d'un polypeptide ou d'une protéine est sous le contrôle direct du code génétique (A.D.N.).

A - La classification d'Osborne: monographie (1907).

Rappelons la classification, selon OSBORNE, des protéines du Blé

Fraction d'OSBORNE	Proportion dans le grain (1)	Solubilité
Albumines	0,4 %	eau + solutions salines diluées
Globulines	0,6 %	milieu salin neutre
Prolamines = gliadines	4,5 %	éthanol aqueux
Gluténine	4,0 %	solution basiques

(1) Pour un Blé à 9,7 % de protéines.

Composition protéique des farines de Cappelle et Heurtebise d'après (P. FEILLET et A. BOURDET)

moyennes sur 6 lieux avec () = erreur type sur la moyenne = $S_M = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

		Cappelle	Heurtebise
mg % farine s.s.	N Total	1865 (117)	2115 (109)
	N non protéique	63 (11)	78 (15)
	N protéique	1802 (108)	2037 (101)
	N protéines solubles	268 (6)	285 (7)
	N gliadines	897 (71)	1137 (57)
	N gluténine	637 (44)	615 (52)
	N (gliadines + gluténine)	1533 (107)	1752 (107)
% N total	N non protéique	3,48 (0,37)	3,65 (0,62)
	N protéique	96,52 (0,37)	96,80 (0,70)
% N protéique	N protéines solubles	15,13 (0,86)	14,22 (0,89)
	N gliadines	49,52 (1,40)	55,82 (0,58)
	N gluténine	35,35 (1,15)	29,97 (1,13)
	N (gliadines + gluténine)	84,87 (0,86)	85,77 (0,90)

B - Le gluten.

Le Blé est une céréale panifiable, cette propriété est liée à la nature d'une partie des protéines présentes dans le grain: le GLUTEN. Ce groupe de protéines confère à la pâte préparée à partir de la farine des propriétés d'élasticité et de résistance à la traction. Le gluten correspond approximativement aux protéines non hydrosolubles c'est-à-dire principalement gliadines et gluténine.

La valeur en panification d'un Blé dépend donc étroitement de la quantité et de la qualité du gluten.

Pour des farines dont le taux d'extraction est de l'ordre de 74 à 78% la teneur en gluten est d'environ 7 à 10% pour les farines ordinaires et de 12 à 15% pour les farines de « force ».

C - Le protéines solubles du Blé.

FINNEY (1943) est le premier à avoir mis en évidence le rôle technologique des constituants des farines solubles dans l'eau.

Influence des fractions solubles des farines sur le volume du pain (FINNEY 1943)

Variétés	Volume des pains (cm ³)	
	Farines totales	Farines sans fraction solubles
Thatcher	975	690
Chiefkan	780	715
Kharkof	950	960

Le groupe protéique des albumines est le principal responsable du pouvoir améliorant des extraits aqueux de farines.

Les enzymes: α -amylases, β -amylases, protéases, lipoxygénases... sont en majorité des protéines solubles. Parmi ces enzymes, le groupe des amylases joue un rôle primordial dans les processus de panification. (Voir les schémas 1 et 2).

On distingue deux groupes d'amylases: α et β qui interviennent différemment dans les réactions d'hydrolyse: amidon \rightarrow dextrines \rightarrow glucides simples:

les α -amylases: coupent les chaînes glucidiques au hasard
(\rightarrow libération rapide de dextrines)
(\rightarrow chute très rapide de la viscosité du milieu)

les β -amylases: attaquent les chaînes glucidiques par leurs extrémités en détachant le maltose molécule par molécule \Rightarrow \Rightarrow abaissement progressif de la viscosité du milieu.

2) LES GLUCIDES.

A - *Les petites molécules glucidiques:* 2% du poids du grain.

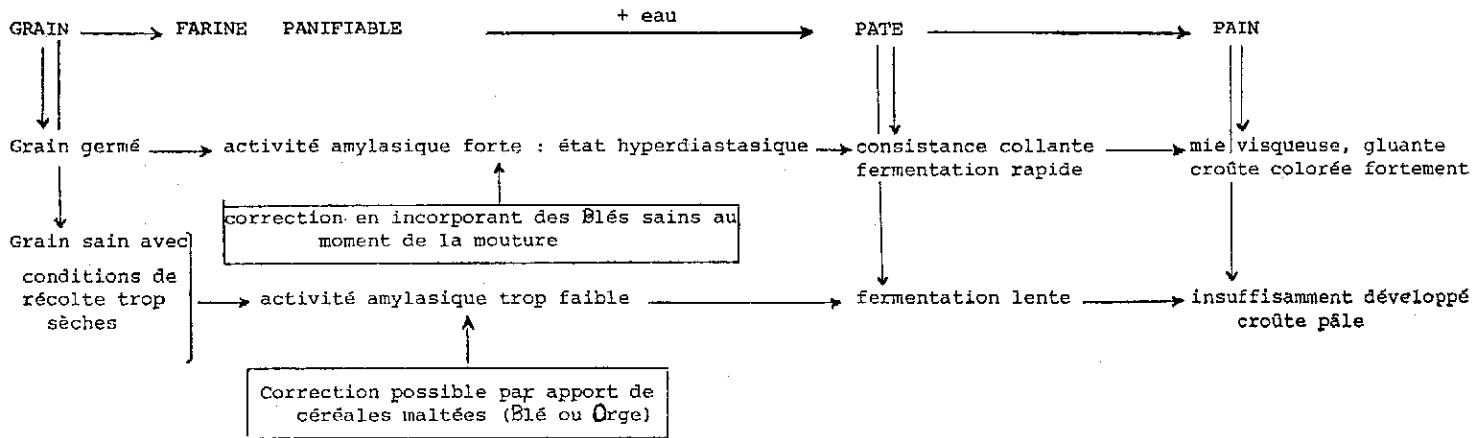
Du point de vue pondéral, ce sont des composés mineurs mais leur importance technologique est grande car ce sont des sucres facilement fermentescibles et assimilables par les micro organismes: glucose - fructose - saccharose - maltose.

B - *L'amidon:* représente 60 à 65% du poids du grain, c'est un polymère du glucose. Cet amidon est constitué de:

proportions moyennes chez le Blé:

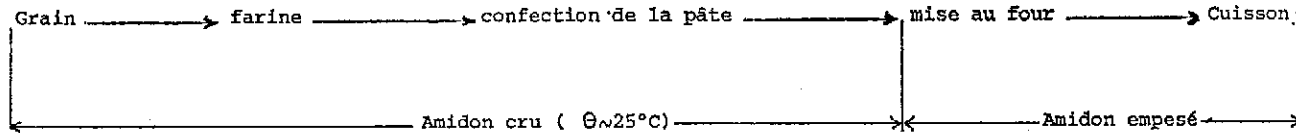
Amylose = chaînes non ramifiées	23 %
Amylo dextrines = chaînes ramifiées	77 %

SCHEMA 1 - Phénomènes amylolytiques en technologie boulangère.

ETAT DIASTASIQUE DES FARINES :

SCHEMA 2 - Phénomènes amylolytiques en technologie boulangère.

MODE D'ACTION DES AMYLASES EN PANIFICATION

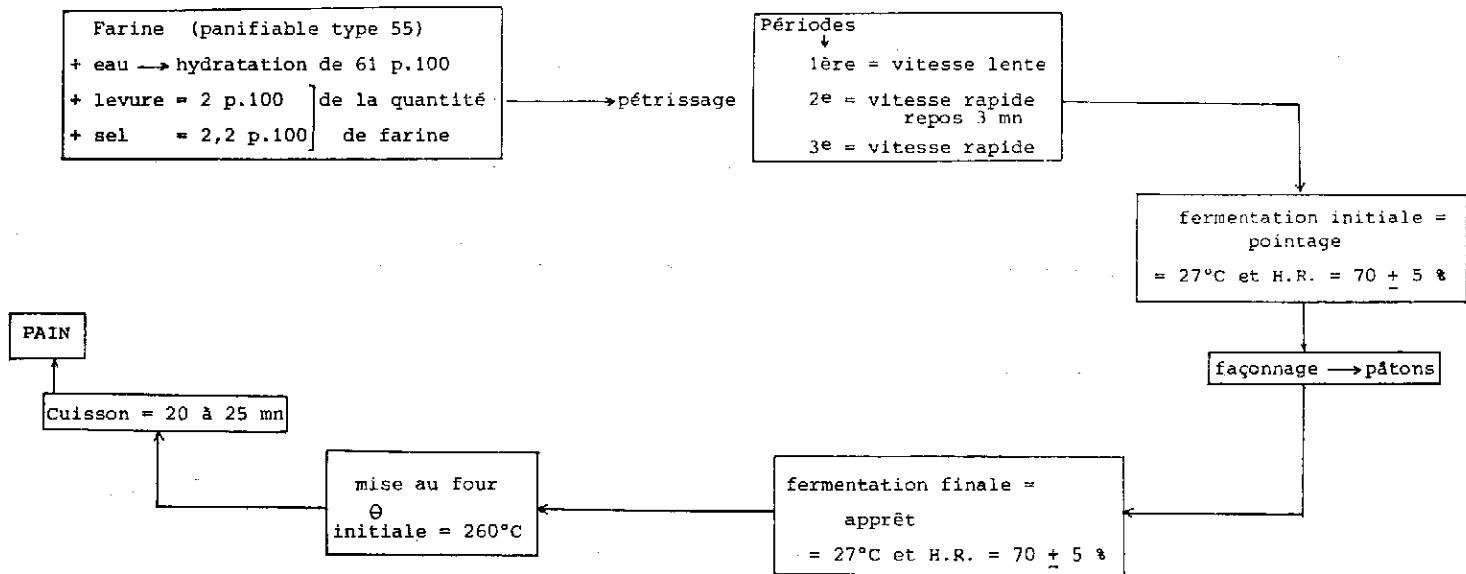


- Au cours de la fermentation panaire : action principalement de la β -amylase
- Au cours de la cuisson :
 - modification de l'état physique de l'amidon = empesage partiel
 - modification des conditions d'action des amylases
 - action principalement de l' α -amylase avant inactivation des amylases par la température, thermostabilité plus grande de l' α -amylase.

$$\text{taux de transformation de l'amidon} = \epsilon \quad \epsilon (\alpha\text{-amylase} + \beta\text{-amylase}) \gg \epsilon_{\alpha\text{-amylase}} + \epsilon_{\beta\text{-amylase}}$$

ESSAI DE PANIFICATION

Méthode directe C.n.e.r.n.a. (1)



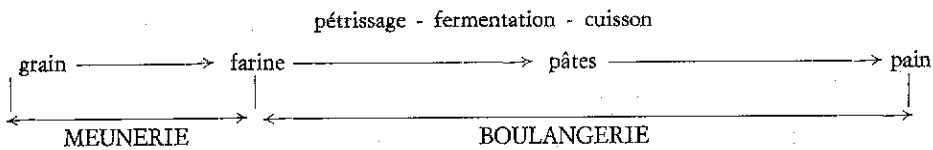
(1) Centre National de coordination des études et recherches sur la nutrition et l'alimentation

C - La cellulose = polymère du glucose: 2,5% du poids du grain.

H - Hemicelluloses et pentosanes: enchaînements de pentoses, par imbibition d'eau à froid on obtient des gels. Ils interviennent dans la technologie des pâtes, ils représentent 6% du poids du grain.

II. VALEUR D'UTILISATION DES BLES: DEFINITION ET ETUDE.

L'obtention de pain à partir des grains de Blé peut être divisée en plusieurs étapes:



On sera amené à distinguer deux aspects de la valeur technologique des Blés:

la valeur meunière

la valeur boulangère = valeur en panification.

1) LA VALEUR MEUNIERE.

La valeur meunière d'un Blé représente son aptitude au rendement en farine. Ce rendement en farine se caractérise par le *taux d'extraction*.

$$\text{Taux d'extraction} = \frac{\text{poids de farine}}{\text{poids de grain moulu}} \times 100$$

Les éléments classiques de la valeur meunière sont:

— la teneur en eau: on recherchera une teneur assez faible pour éviter des accidents de conservation.

— le poids à l'hectolitre ou poids spécifique: caractéristique dont la signification est très discutée.

— le taux des diverses impuretés: il faut s'efforcer d'obtenir un taux qui soit le plus faible possible.

Depuis Octobre 1973, les types de farines sont définis par les taux de cendres.

La valeur meunière est une caractéristique difficile à prendre en compte dans un programme de sélection, aussi nous ne développerons pas cet aspect de la valeur technologique des Blés.

2) LA VALEUR BOULANGERE OU VALEUR EN PANIFICATION.

A - *La Panification* (voir schéma général).

Définition: (d'après CALVEL de l'Ecole Française de Meunerie) la valeur boulangère représente les aptitudes d'un Blé ou d'une farine à donner du beau et du bon pain.

Ces aptitudes dépendent de deux groupes de facteurs:

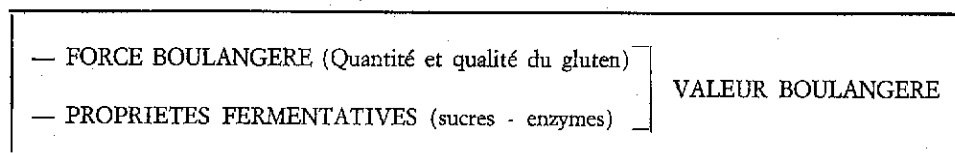
la force du Blé: cette force est caractérisée par les propriétés plastiques de la pâte, ces propriétés sont en relation étroite avec la quantité et la qualité du gluten;

l'activité fermentative de la pâte: cette activité fermentative est fonction de:

- la richesse en sucres de la farine
- l'équilibre enzymatique qui doit assurer la transformation:

amidon —————> dextrines —————> maltose

au cours de la 1ère et de la 2ème fermentation.



force boulangère et valeur boulangère représentent deux notions différentes.

B - *Le jugement de la valeur en panification des Blés.*

L'appréciation de la valeur en panification des Blés pourra se faire par des essais de panification. Cependant, ces essais longs et coûteux nécessitant en général des quantités de grains importantes ne seront pas toujours applicables pour le jugement de lots commerciaux ou de lignées en cours de sélection. On doit avoir recours à l'utilisation de tests indirects d'appréciation de la valeur en panification des Blés.

Ces tests s'appliqueront à apprécier soit l'activité fermentative des pâtes soit la force des farines.

Evaluation de l'activité fermentative:

— essai de gélification de l'amidon = pouvoir diastasique des Blés
METHODE HAGBERG = TEMPS DE CHUTE = FALL NUMBER.

Evaluation de la force:

- extraction et dosage du gluten
- dosage des matières azotées
- propriétés de gonflement des protéines en milieu acide = test de sédimentation de ZELENY
- essais mécaniques sur les pâtes:
- farines extraites après broyage et blutage (farinographe BRABENDER);
- farine entière = test PELSHEK (alvéographe CHOPIN).

Essais de panification.

La description des principaux tests est présentée dans:

MAUZE C., RICHARD M., SCOTTI G., 1972

Guide pratique du Contrôle de la Qualité des Blés.

Institut technique des Céréales et des Fourrages, Janvier 1972, 176 p.

Utilisation et interprétation des test:

Les tests d'appréciation de la valeur en panification sont utilisés pour le classement des Blés au moment de leur commercialisation.

CRITERES RETENUS POUR LE CLASSEMENT DES BLES EN FRANCE

Classes	Teneurs en protéines (N × 5,7/MS)	Indice de sédimentation (test de ZELENY)	Indice de chute de HAGBERG (secondes)
Blé sous label	Caractéristiques définies par l'arrêté du Ministère de l'Agriculture homologuant le label		
I	supérieur ou égal à 13 %	supérieur ou égal à 38	supérieur ou égal à 180
II	supérieur ou égal à 12 %	supérieur ou égal à 28	supérieur ou égal à 180
III	supérieur ou égal à 11 %	supérieur ou égal à 18	supérieur ou égal à 180
IV	supérieur ou égal à 10 %	supérieur ou égal à 13	supérieur ou égal à 180

(Classement ONIC - Automne 1975)

Le test de l'alvéographe CHOPIN peut être interprété de la manière suivante:

Type de Blé ou de farine	Valeur du W	Rapport P/L
Blé correcteur ou de force	300 aussi élevé que possible	P/L 0,50 - 1,20
Blé pour panification directe	W = 150 à 250	P/L 0,40 - 0,60
Blé biscuitier	W faible, gonflement élevé	

3) LA VALEUR ALIMENTAIRE DU BLE.

Nous avons considéré jusqu'à maintenant l'aptitude du Blé à fournir une farine de bonne valeur en panification. Si l'on s'intéresse à présent au Blé en tant qu'aliment pour l'homme ou l'animal il faut considérer sa valeur nutritionnelle.

Deux éléments interviennent lorsque l'on considère cette valeur nutritionnelle:

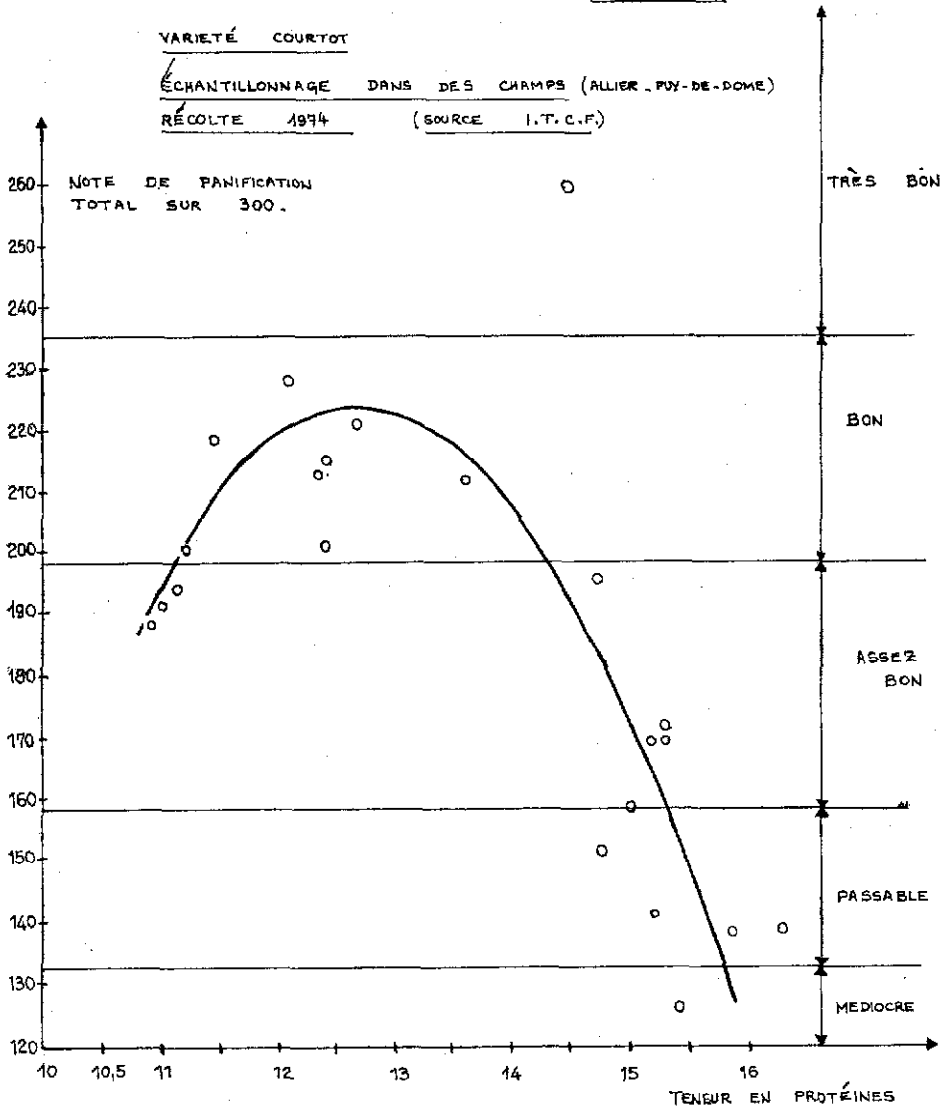
- les glucides (amidon) confèrent au Blé une grande valeur énergétique;
- les protéines: représentent la source de matières azotées.

Les protéines du Blé sont à la fois insuffisantes en quantité et en qualité pour conférer aux aliments à base de farine une bonne valeur alimentaire (homme et monogastriques).

Quantité: la teneur du grain de Blé en protéines est en moyenne de l'ordre de 11 à 13% de la matière sèche pour les variétés les plus cultivées en France (valeur obtenue par N Kjeldahl % de la M.S. x 5,7). Cette valeur est insuffisante si l'on admet que l'alimentation des porcs nécessite des teneurs de l'ordre de 14 à 16-17%.

Qualité: les protéines du Blé, comme celles des autres céréales ont une teneur trop faible en acides aminés indispensables et en particulier en lysine. Les teneurs les plus courantes sont de l'ordre de 3 grammes de lysine pour 16 grammes d'azote qui correspondent à environ 100 g. de protéines. Les zootechniciens ont évalué à 5-6% (0,85% de lysine dans le poids de la ration totale) les besoins des porcs.

GRAPHIQUE 1



4) LA LIAISON VALEUR NUTRITIONNELLE/VALEUR EN PANIFICATION.

Il est bien évident que la séparation entre les deux aspects de la qualité du Blé est artificielle. En effet, une augmentation de la teneur en azote du grain ou une augmentation de la proportion des différents acides aminés sera liée à la proportion des quatre grandes fractions d'Osborne. Cette modification se répercutera sur la répartition en « protéines hydrosolubles » et « protéines

non hydrosolubles » ou gluten qui joue un rôle primordial dans la valeur boulangère d'une farine. Ce gluten lui-même verra sa qualité modifiée.

Un exemple de la liaison valeur en panification/teneur en protéines (voir Graphique 1) nous est donné par la qualité de la variété Courtot cultivée en Limagne.

Cette liaison valeur en panification/teneur en protéines peut encore être illustrée par la corrélation étroite qui existe entre la valeur de l'indice de sédimentation ZELENY et la teneur en protéines du grain.

Voir Graphique 2.

Analyses technologiques sur lignées de l'essai inter-station INRA 1973-1974

Liaison indice de sédimentation/teneur et protéines

<i>Lignées au variétés</i>	R 4.1.2	R. 1.5.2	<i>Lieux:</i> Clermont-Fd.
	R 8.3.11	C 8.2.4	Mons en Chaussée
	C 14.8.4	Champlein	Rennes
		Capitole	

Dans ce qui va suivre nous traiterons conjointement de la sélection pour l'amélioration de la valeur en panification et de la sélection pour l'accroissement de la teneur en protéines du grain. Nous verrons que les remarques faites sont bien souvent valables pour les deux aspects de la valeur d'utilisation.

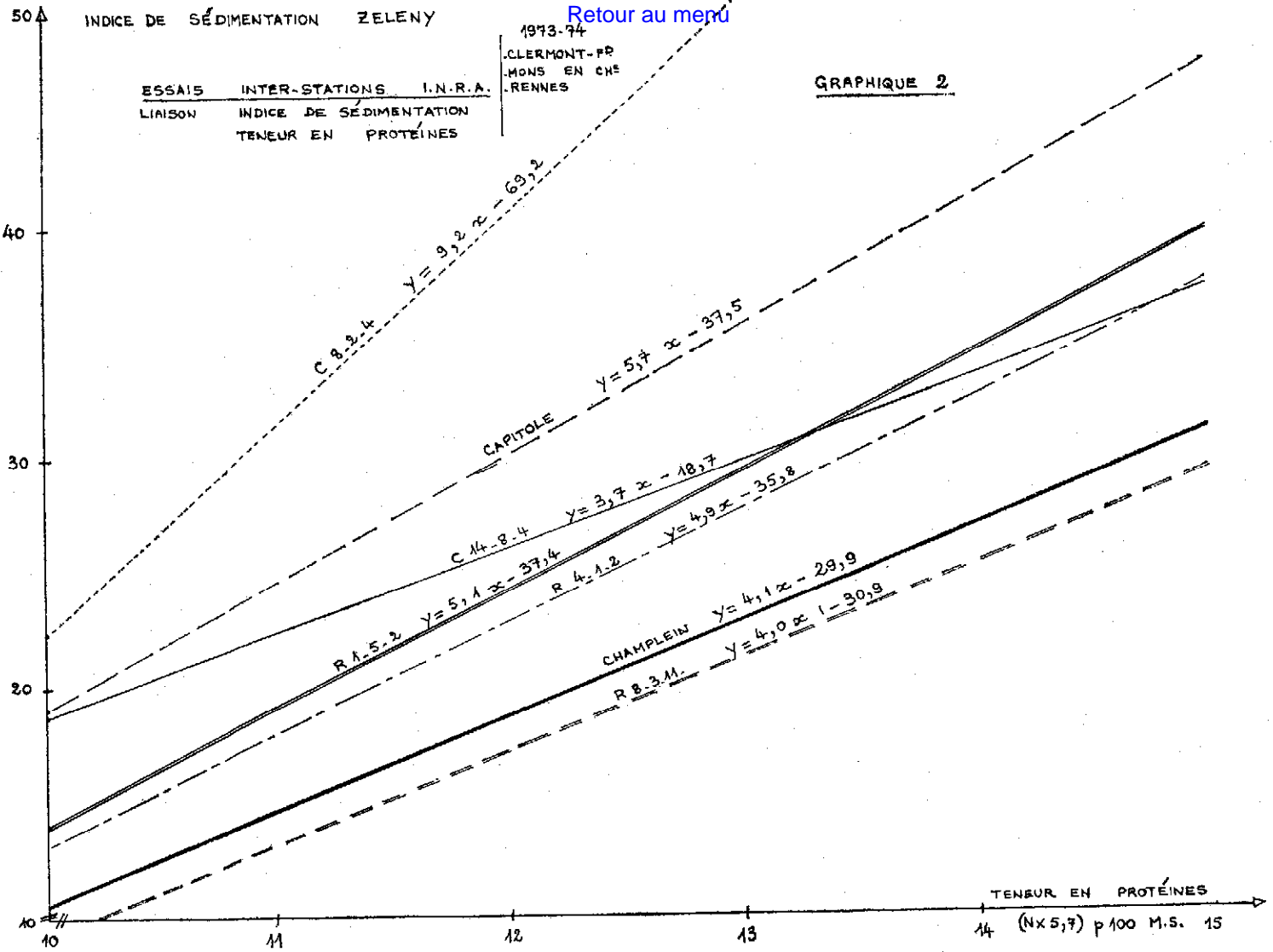
Lorsqu'une caractéristique (teneur en protéines) variera sous l'influence des facteurs du milieu (variation due à l'environnement) ou sous l'influence de la sélection (modification des géotypes) les autres caractéristiques (tests d'appréciation de la valeur en panification) seront elles-mêmes modifiées.

III. LA FLUCTUATION DE LA QUALITE EN FONCTION DES CONDITIONS DE MILIEU.

Au sein du végétal, il y a un lien étroit entre la protéosynthèse et la photosynthèse nette et donc avec le rendement en M.S.

La teneur en protéines du grain dépend du rapport: azote métabolisé
photosynthèse nette

Retour au menu



Divers facteurs agronomiques agissent sur le numérateur ou le dénominateur de ce rapport et ainsi modifieront la qualité des récoltes.

Nous donnerons dans ce qui suit quelques exemples de l'action des facteurs du milieu sur la qualité du grain récolté.

1) LA FUMURE AZOTÉE.

Nous tenterons dans ce paragraphe de schématiser l'évolution relative des glucides et des protéines dans le grain sous l'influence d'un accroissement de l'alimentation azotée de la plante.

— Si le niveau N du sol disponible tout au long de la végétation de la plante est faible, un apport d'azote minéral au cours de la végétation de la plante se traduira en général par:

un accroissement du rendement en grain (M.S.). Cet accroissement de la quantité de M.S. synthétisée et stockée dans le grain se fera essentiellement au profit de l'amidon. La teneur du grain en protéines sera en général diminuée bien que le rendement en protéines à l'ha soit augmenté.

— Si le niveau N du sol disponible tout au long de la végétation de la plante est élevé, un apport d'azote minéral au cours de la végétation de la plante se traduira en général par:

une stagnation du rendement en grain (M.S.) voire une diminution s'il apparaît un phénomène de toxicité, un accroissement des attaques parasitaires ou une verse physiologique.

La teneur du grain en protéines sera en général augmentée. Le rendement en protéines à l'ha dépendra de l'évolution relative du rendement en matière sèche et de la teneur en protéines.

Exemples: essais variétaux avec différents niveaux de fumure azotée:

— Cas où la fumure azotée ne modifie pas de manière significative le rendement en grain (M.S.): enrichissement relatif du grain en protéines.

Exemple de l'essai de RONGERES (03) S.P.I.E.A. (1971-72) voir Tableau I Graphique 3.

— Cas où la fumure azotée modifie le rendement en grain: liaison inverse rendement en matière sèche/teneur en protéines.

Exemple de l'essai de BOIGNEVILLE (I.T.C.F.) 1971-72 - Voir Tableau II Graphique 4.

TABLEAU I - *Essai de Rongères (03) S.P.I.E.A. 1971-72 Rendements - Teneurs en protéines.*

Variétés	Fumure N	Humidité ~ 13 % Rendement qx/ha	(Nx 5,7) % Ms	Moyenne	Kg de protéines produites à l'ha.
Capitole	120	65,0	11,5		650
	180	65,4	12,8	12,7	729
	240	64,1	13,8		769
Talent	120	76,2	12,2		809
	180	74,6	13,7	13,5	889
	240	78,8	14,5		994
Moisson	120	66,6	12,5		724
	180	65,1	13,9	13,6	787
	240	56,1	14,3		698
	(Verse)				
C 2.6.11	120	71,1	12,7		786
	180	72,2	14,1	13,9	886
	240	72,0	14,9		934
Courtot	120	69,0	12,7		762
	180	75,5	14,0	13,9	920
	240	75,9	14,9		984
Choisy	120	67,1	13,0		759
	180	68,7	14,3	14,1	854
	240	62,5	15,1		821
	(Verse)				
Cadet	120	51,4	12,9		577
	180	51,1	14,6	14,4	649
	240	46,3	15,8		636
	(Verse)				

PPDS rendement au seuil 0,05 = 4 qx/ha
 PPDS tener en protéines = 0,3 points

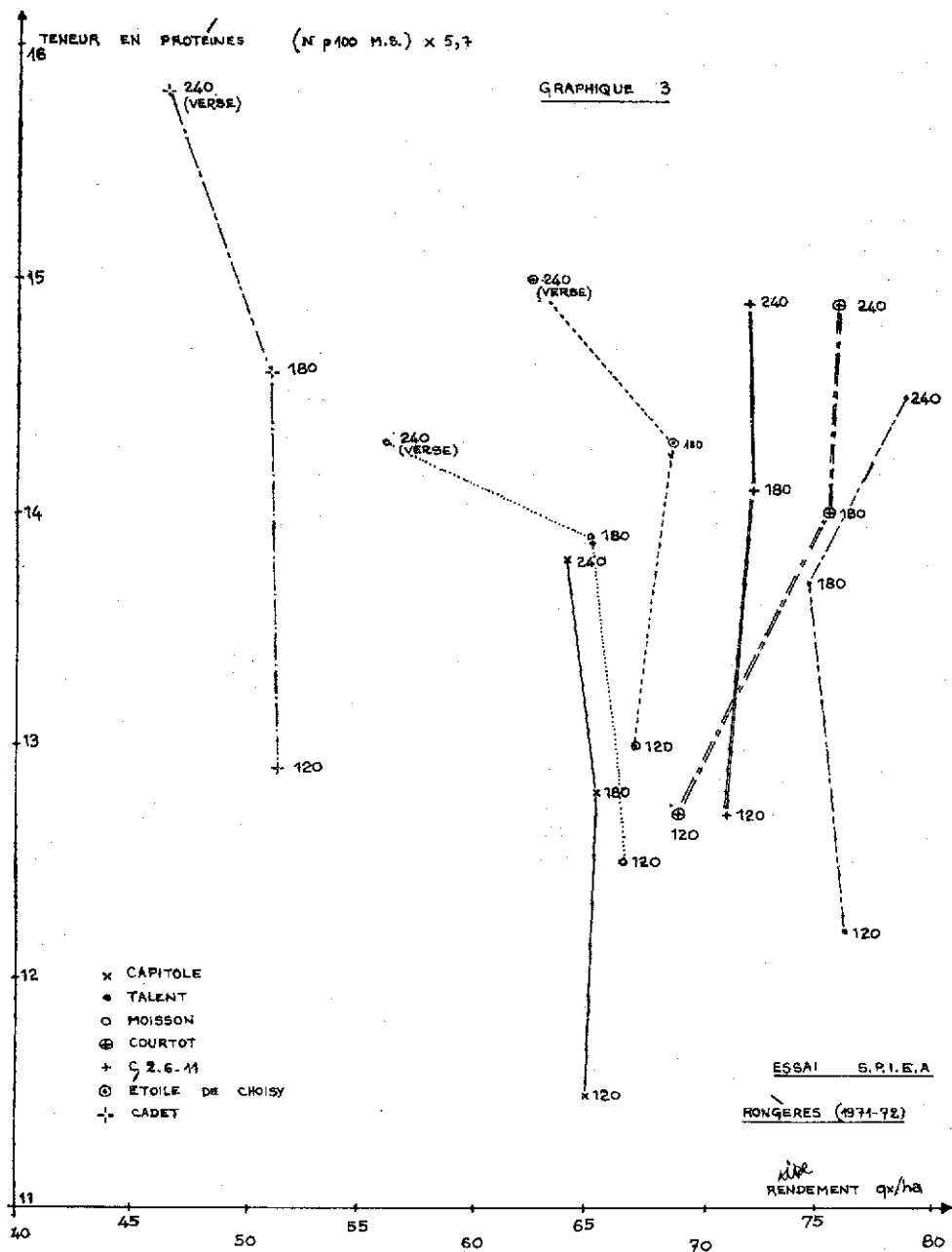


TABLEAU II - Essai de Boigneville (I.T.C.F.) 1971-72 Rendement - teneur en protéines - protéines produites à l'ha.

		Fumure azotée					
		120 N		180 N		240 N	
		NT	T	NT	T	NT	T
Champlein	(1)	54,2	56,5	50,7	56,9	50,5	65,4
	(2)	12,05	12,05	13,55	14,40	14,00	13,90
	(3)	568	592	598	713	615	791
Capitole	(1)	54,7	60,1	50,1	62,9	50,8	67,0
	(2)	11,80	12,15	13,25	13,10	13,50	13,10
	(3)	561	635	578	717	597	764
Maris Hunstman	(1)	60,5	60,9	56,7	59,2	58,2	64,3
	(2)	12,65	13,55	14,65	15,10	15,35	15,70
	(3)	666	718	723	778	777	879
Talent	(1)	55,6	58,9	55,1	65,0	57,4	64,1
	(2)	13,60	14,25	14,45	15,15	16,55	15,80
	(3)	658	730	693	857	826	881
Courtot	(1)	48,6	50,1	44,3	58,7	46,5	65,1
	(2)	15,25	15,05	16,35	15,75	16,95	16,70
	(3)	645	656	630	805	686	946

(1) Rendement en qx/ha (13 % humidité)

(2) (N x 5,7) % M.S.

(3) Protéines produites en kg/ha

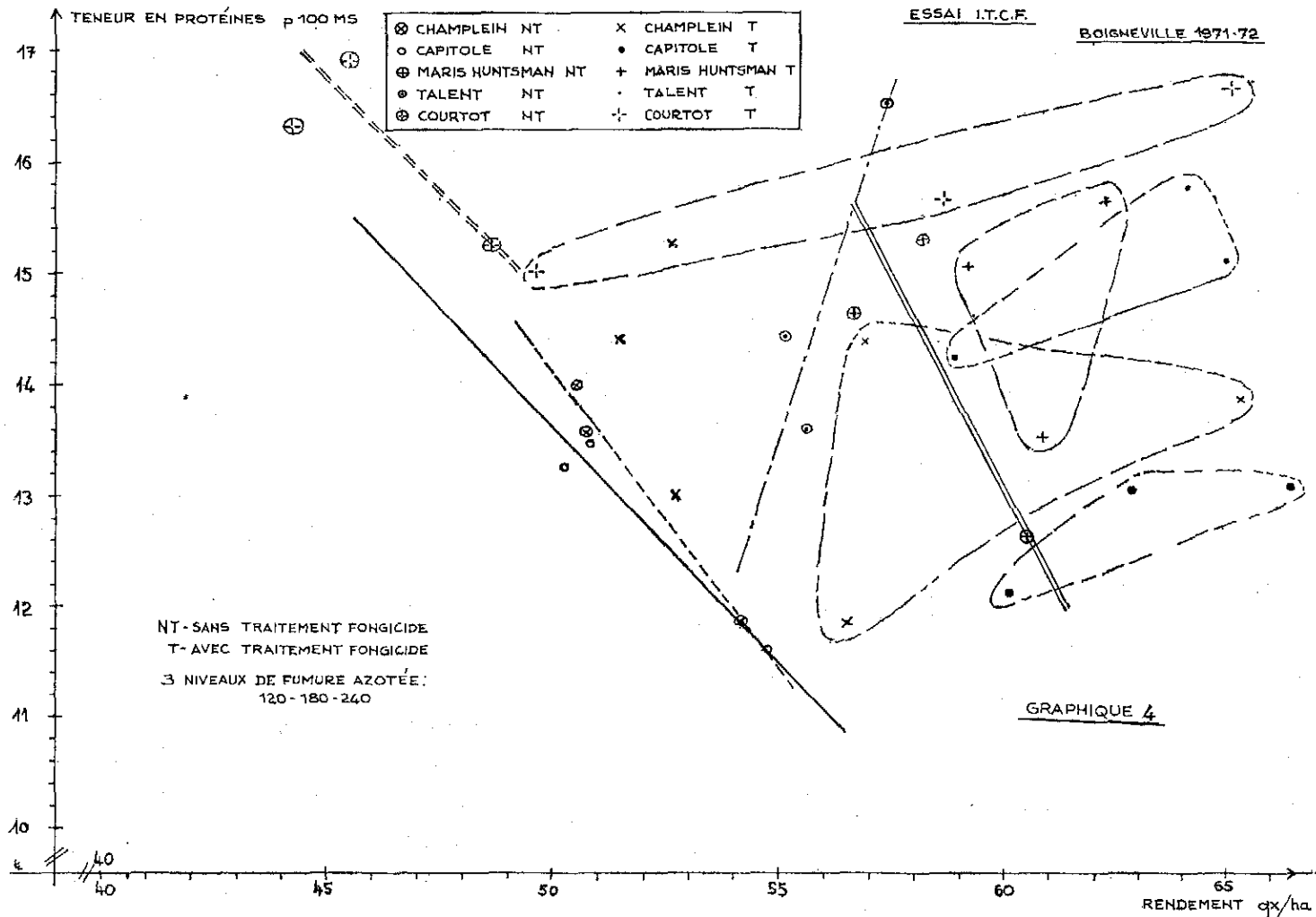
Traitement fongicide

T = traité

NT = non traité.

Moyennes intervariétales:

	120 N		180 N		240 N	
	NT	T	NT	T	NT	T
Rendement	54,7	57,3	51,4	60,5	52,7	65,2
(N x 5,7) % M.S.	13,0	13,4	14,4	14,7	15,3	15,0
Protéines kg/ha	620	666	644	774	700	852



2) LES FACTEURS QUI CAUSENT UN ECHAUDAGE DU GRAIN.

L'échaudage entraîne une diminution de la proportion de l'albumen pauvre en protéines par rapport à l'ensemble du grain donc une augmentation relative des matières protéiques par rapport aux matières non protéiques.

L'échaudage peut être d'origines climatique (coups de chaleur, verse non parasitaire...) ou parasitaire (Piétins, Rouilles, Septoria...).

Des expériences réalisées par PAQUET mettent en évidence le rôle que peuvent jouer les coups de chaleur sur l'échaudage et les conséquences possibles au niveau de la teneur en matières protéiques du grain:

— L'évolution des teneurs en matière sèche, en matières protéiques et en eau dans le grain en fonction des sommes des températures journalières à partir de la floraison permettent de distinguer 6 phases entre le début de la floraison déterminé par la sortie de la première anthère et la maturité du grain. Voir graphique 5 et tableau III.

Les principaux résultats des expériences sur l'échaudage causé par des coups de chaleur pendant la période de maturation du grain sont rapportés dans le tableau IV.

— L'échaudage a pour conséquences:

— une baisse du poids de 1000 Grains secs baisse du rendement en grain

— une baisse du poids de matières protéiques dans 1000 grains

— une augmentation de la teneur en protéines du grain sauf dans les cas de « coups de chaleur » tardifs.

(fin phase IV et phase V)

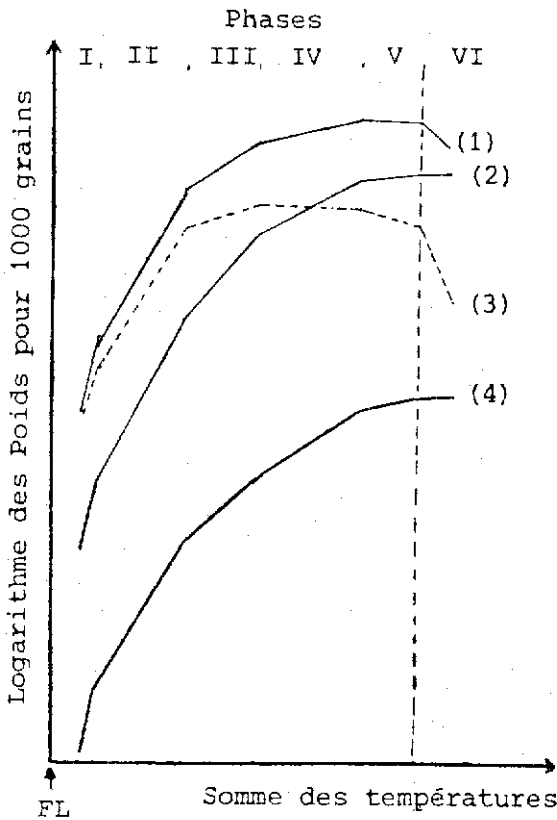
3) LES FACTEURS QUI CAUSENT UNE STERILITE MALE PARTIELLE.

Au cours de la campagne 1971-72 quelques variétés lignées pures ont montré une stérilité mâle partielle (au sommet de l'épi) et les analyses Kjeldahl ont révélé pour certaines d'entre elles une teneur accrue en protéines. Voir tableau V.

Il n'a pas été possible de connaître avec certitude l'origine de cette stérilité mais on sait que les gels tardifs, par exemple, créent de tels accidents.

Parmi les variétés qui ont présenté un certain taux de stérilité, les seuls qui aient révélé un accroissement de la teneur en azote du grain ont pour particularité d'être d'origine mexicaine.

GRAPHIQUES 5 - Evolution des poids de matière fraîche, de matière sèche, d'eau et de matières protéiques du grain au cours de la maturation (*).



1 = matière fraîche
2 = matière sèche
3 = eau
4 = matières protéiques.

Les ruptures dans la pente des droites d'évolution de chacun des constituants étudiés permettent de distinguer 6 phases.

(d'après PAQUET)

TABLEAU III -

	Eau	Matière sèche	Matières protéiques	
Phase I	++++++	++++++	+++++	Floraison
Phase II	+++++	+++++	++++	
Phase III	ϵ^+	++++	+++	
Phase IV	0 (palier)	+++	++	
Phase V	ϵ^-	+	+	seule la fraction protéique de la M.S. s'accroît
Phase VI	---	0	0	

Les + et - tentent de donner une image de l'évolution pondérale de chaque constituant du grain étudié.

(*) Echantillonnage: 1er et 2ème grains des 4 épillets médians de l'épi.

TABLEAU IV - Conséquences de l'échaudage causé par des coups de chaleur au cours de la maturation du grain.

Phases d'évolution ayant subi la période d'échaudage artificiel	Variétés	Valeurs exprimées en % du témoin				
		Poids de 1000 grains secs	Teneur en matières protéiques	Poids de n.p. dans 1000 grains	Poids de matières n.p. dans 1000 grains	Note d'aspect d'échau- dage
Fin 1 - 1ère moitié II	Cappelle	80	115	93	78	109
II	Etoile de Choisy	84	(1)	(1)	(1)	114
Fin II début III	Etoile de Choisy	73	110	80	72	151
III	Cappelle	76	107	81	75	145
III	Etoile de Choisy	75	107	80	75	160
Début IV	Cappelle	87	102	89	87	140
Milieu IV	Cappelle	83	98	82	83	136
Fin IV	Cappelle	85	82	70	87	117
Valeurs du témoin	Etoile de Choisy	46,6	14,7	6,9	39,7	4,3
100	Cappelle	49,3	15,1	7,4	41,9	5,3

(1) Résultats manquants.

(d'après PAQUET)

TABLEAU V - Influence d'une stérilité partielle de l'épi sur la teneur du grain de Blé en protéines.

Variétés	Teneur en protéines			(1)	Stérilité 1972 (2)
	(N × 5,7) % M.S.				
	1970	1971	1972		
Pembina	16,5	18,0	15,6	91	3
Martonvasari 301	13,2	17,5	16,5	107	1
Blé du Mesnil	14,8	14,9	14,5	98	1
Cappelle	14,1	14,9	14,0	97	1
Hybride de Bersée	14,0	15,0	14,0	97	1
Florance Aurore	16,0	17,8	16,7	99	4
Magdalena	16,0	13,9	14,5	97	1
Rex	16,1	15,7	14,4	91	3
(15-2 × Mart. 301) 18.23.1	15,7	16,3	14,3	89	3
<i>Sharbati Sonora</i>	15,3	16,5	20,3	128	5
Pan W 166/5027-1	15,3	15,4	16,3	106	3
Pan W 238/8516-182	16,6	15,5	17,7	110	5
Norin 67	12,9	15,5	14,9	105	3
<i>Azteca</i>		17,6	21,8	124	7
<i>Bajio</i>		16,0	19,1	119	7
<i>Mayo 64</i>		14,0	14,7	105	3
<i>Mexique 50</i>	16,5	15,3	19,6	123	5
<i>Mexique 51</i>	16,9	16,1	20,9	127	5
Atlas 66	19,2	17,4	16,3	89	3
Fronoso	18,7	19,0	17,4	92	3
Besostaia I	15,0	15,0	14,1	94	1
Purcari Hostianum	14,5	15,5	15,9	106	1

$$(1) \text{ Teneur en protéines } \frac{\text{teneur 1972} \times 100}{\frac{1}{2}(\text{teneur 1970} + \text{teneur 1971})} \text{ ou } \frac{\text{teneur 1972}}{\text{teneur 1971}} \times 100.$$

(2) Indice de stérilité:

- 1 = fertilité normale
 3 = faiblement stérile = 10 % de l'épi
 4 = = 20 %
 5 = assez stérile = 30 %
 6 = = 40 %
 7 = très stérile = 50 %

Les variétés soulignées sont d'origine mexicaine.

VI. LA SELECTION POUR LA VALEUR D'UTILISATION.

La réalisation d'un programme de recherche pour améliorer la valeur d'utilisation du grain suppose que l'on s'intéresse à différents aspects du problème:

- La définition des objectifs.
- Le jugement des génotypes: les critères d'appréciation de la valeur d'utilisation, les échantillons d'étude.
- La recherche des géniteurs.
- Le déterminisme génétique des caractères sur lesquels doit porter la sélection, l'héritabilité.
- Le choix des schémas de sélection.

1) LA DEFINITION DES OBJECTIFS.

— *Amélioration de la valeur en panification:*

Une diversification des qualités des Blé est à rechercher: nous avons vu que les besoins de la panification, de la biscotterie et de la biscuiterie étaient très différents. Un programme de sélection devra s'efforcer de rechercher:

- des Blés convenant à la panification directe c'est-à-dire donnant une farine panifiable sans avoir recours à des mélanges.
- des Blés « correcteurs » (en boulangerie) ou « de force ».
- des Blés de bonne valeur biscuitière.

— *Amélioration de la valeur fourragère:*

Les besoins de l'alimentation animale (monogastriques) ont été définis précédemment.

La sélection pour la valeur fourragère devra tenter de rechercher des Blés à teneur en protéines accrue de 2 à 3 points par rapport aux teneurs courantes tout en conservant un rendement en M.S. comparable à celui des meilleures variétés du moment. Le rendement en protéines (kg/ha) sera un critère de sélection à considérer.

Dans la mesure du possible, il serait souhaitable par ailleurs d'améliorer la qualité des protéines obtenues: notamment accroissement de la proportion de lysine dans les protéines totales.

2) LE JUGEMENT DE LA VALEUR D'UTILISATION DES GENOTYPES.

— La quantité de grain très faible disponible pour chaque génotype dans les premières générations de sélection après hybridation, implique, si l'on veut intervenir très tôt que l'on puisse apprécier la valeur d'utilisation:

- Sur un grand nombre de génotypes (1)
- sur de très faibles quantités de grain.

Il faut par ailleurs s'assurer de la représentativité des résultats obtenus.

— *Jugement de la valeur nutritionnelle*: le sélectionneur a recours à une analyse de la teneur en protéines totales par des méthodes chimiques (Kjeldahl) ou des méthodes physiques (réflexion d'un rayonnement infra-rouge sur une mouture: infra-analyseur ou Grain Quality Analyser) qui peut se réaliser sur des échantillons de taille réduite: quelques grammes ne général.

— *Jugement de la valeur en panification*: très peu de test d'appréciation de la valeur en panification répondent aux exigences (1).

Par ailleurs, l'usage de ces tests en sélection ne peut être efficace que dans la mesure où leurs résultats reflètent les caractéristiques:

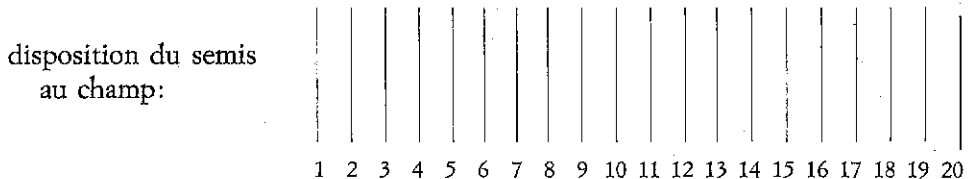
- aptitudes fermentatives
- propriétés plastiques de la pâte recherchées par les industries utilisatrices.

— *L'échantillonnage*: l'échantillon servant à l'étude de la valeur d'utilisation nous donne l'image d'un phénotype. Le sélectionneur doit s'assurer que la valeur phénotypique enregistrée soit le reflet le plus fidèle possible de la valeur génotypique.

La question se pose de savoir comment prélever un échantillon?

Un exemple va nous permettre de répondre en partie à cette question:

Considérons l'étude de la teneur en protéines du grain de la variété Courtot récoltée en 1974. Nous avons à faire à une « lignée pure » génétiquement homogène.



Un prélèvement plante à plante a été effectué dans les lignées 9, 11, 13 et 18; 15 plantes de chaque lignée ont été analysées (Kjeldhal).

Teneur en protéines des plantes étudiées

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	\bar{x}	σ	
1,9	9,5	11,1	10,7	12,8	10,3	9,8	11,1	10,3	11,3	11,3	9,9	11,1	9,6	10,8	10,8	10,7	0,85
1,11	10,3	13,0	11,6	9,5	10,9	15,1	11,1	15,1	10,7	13,7	11,9	10,6	10,7	10,0	10,7	11,7	1,77
1,13	10,2	12,5	9,5	10,2	10,7	11,3	10,5	9,8	10,5	10,3	9,8	11,5	11,2	10,2	10,4	10,6	0,77
1,18	13,6	14,3	13,7	12,0	13,5	14,3	14,8	14,1	14,6	14,2	14,5	14,9	15,1	13,6	14,9	14,1	0,79

Les analyses plante à plante donnent un écart-type « intra-lignée » qui atteint 1,77 pour la lignée 11:

En ce qui concerne le jugement d'un génotype dans une pépinière, ces résultats nous conduisent à préconiser le prélèvement d'un échantillon sur un mélange de plantes récoltées sur la ligne plutôt que sur une plante prise isolément.

Par ailleurs les moyennes par ligne varient de 10,6 à 14,1, cette fluctuation importante doit être la conséquence d'hétérogénéités du milieu de culture (terrain) puisque nous avons à faire à un génotype homogène. Le contrôle des hétérogénéités de terrain nécessitera d'avoir recours à l'implantation de témoins « lignées pures » suivant une répartition régulière dans la pépinière.

3) LA RECHERCHE DE GENITEURS.

Le choix d'un géniteur doit se faire sur sa valeur génotypique pour le caractère qui nous intéresse (valeur d'utilisation) sans négliger ses caractéristiques agronomiques propres.

On doit avoir recours à des méthodes permettant d'évaluer la part génotypique et la part due au milieu dans l'expression phénotypique du caractère. Dans la mesure du possible il est souhaitable de juger le potentiel de rendement de la variété.

Quelques travaux ont été réalisés chez le Blé à Clermont pour choisir des géniteurs de « bonne valeur d'utilisation » (valeur en panification, teneur en protéines).

Des variétés sont étudiées depuis plusieurs années dans le cadre d'une « collection qualité ».

La répétition pluriannuelle de leur culture en pépinière à Clermont-Fd dans des conditions de milieu homogène et l'analyse systématique de leurs qualités technologiques (Alvéographe CHOPIN, test de PELSHEKKE et teneur en protéines) ont permis de repérer un certain nombre de géniteurs (voir tableau VI).

Remarque sur la liaison inverse rendement/teneur en protéines: une expérimentation rendement/teneur en protéines a été réalisée à Clermont en 1970-71 sur quelques variétés de la « collection qualité » cultivées à différents niveaux de fumure azotée.

Les résultats de cette expérimentation sont rapportés dans le tableau VII.

Le calcul des coefficients de corrélation rendement/teneur en protéine (voir graphique VI) à chacun des niveaux de fumure azotée pour l'ensemble des variétés a révélé l'existence d'une liaison inverse rendement en MS/ha - teneur en protéines du grain:

	r	pente droite	ordonnée à l'origine
$N_1 = 40$ unités	- 0,57	- 0,12	+ 19,3
$N_2 = 170$ unités	- 0,64	- 0,14	+ 23,6
$N_3 = 300$ unités	- 0,51	- 0,08	+ 21,3

De tels résultats nous conduisent à nous poser la question:

Sera-t-il possible de sélectionner des génotypes à teneur en protéines accrue et à productivité en matière sèche équivalente à celle des meilleures variétés commerciales du moment?

TABLEAU VI - Qualités technologiques de 50 variétés ou lignées de la collection « qualités ». Récapitulatif du 24 décembre 1974.

Lignée ou variété	Pays origine	Alvéogramme				N. bre obs.	Azote N x 5,7% M. s.	N. bre obs.	Pelshenke en mn	N. bre obs.
		W	P	G	P/L					
Magnif 27 MG	Argentine	161	64	22,6	0,60	1	17,3	1	58	1
1195-94	Bulgarie	301	90	22,4	0,90	1	16,4	1	250	1
1195-114	Bulgarie	231	63	26,8	0,45	1	16,8	1	158	1
Pembina	Canada	415	79	27,2	0,51	7	16,2	9	184	9
Martonvasari 301	Hongrie	353	83	26,3	0,58	10	15,5	10	120	9
Blé du Mesnil	France	148	44	27,8	0,26	4	14,8	4	40	4
Cappelle	France	130	39	26,5	0,25	15	14,1	14	40	14
Clédon	France	303	90	24,0	0,80	9	15,1	8	141	5
Dragon	France	328	100	23,7	0,92	10	14,9	7	229	7
Fournil	France	321	77	23,6	0,68	3	14,1	3	168	5
Hybride de Bersée	France	79	28	27,7	0,17	5	14,5	6	26	6
Hybride de la Noue	France	162	41	28,1	0,23	4	14,4	5	56	5
Florence Aurore	France	368	78	26,4	0,55	8	16,0	9	163	8
Florence Aurore Mut M 5	France	459	97	25,6	0,70	2	16,7	5	229	2
Goya	France	251	71	20,9	0,83	3	14,8	1	185	3
Magdalena	France	304	80	24,3	0,72	11	15,1	12	162	12
Paris	France	294	87	23,2	0,83	3	14,3	3	187	3
Poncheau	France	285	90	22,4	0,93	6	15,1	8	125	8
Rex	France	298	65	27,1	0,43	7	15,2	8	121	7
Vilmorin 23	France	53	25	23,1	0,25	5	12,5	6	19	5
Wimax	France	335	82	24,5	0,70	10	13,6	10	151	8
(Mex50xB21)2-6-10-3-6-4	INRA	215	63	26,1	0,45	4	14,2	4	129	5
(Mex50xB21)426-3-6	INRA	248	61	26,4	0,42	6	14,3	5	149	8
(2-7 x Cappelle) D 48	INRA	325	89	22,8	0,88	3	15,0	3	198	4
bc[(14-5xB21 ³)xV81-12]268-4-2-2-8	INRA	241	55	28,0	0,33	4	15,5	4	141	5
(B17xV81-4)4-3-1-10-1-5	INRA	216	78	22,1	0,86	4	14,9	4	159	5
(B17xV81-4)4-3-2-8-1-2	INRA	215	80	21,5	0,93	3	14,8	4	172	5
[B17x(Saunders x Choisy)25]1-2	INRA	255	54	27,7	0,33	4	15,2	4	161	4
(VPM ¹)1-1-3-5	INRA	145	46	27,7	0,30	3	16,3	3	77	4
Sharbati Sonora	Indes	242	48	28,5	0,26	4	16,9	4	196	4
Pan W 166/5027-1	Israël	310	79	25,1	0,63	4	15,7	4	148	4
Pan W 238/6843-132	Israël	218	56	27,2	0,35	4	13,6	3	168	4
Pan W 238/8516-182	Israël	265	62	26,9	0,41	4	16,6	4	173	4
Norin 67	Japon	199	65	23,8	0,63	5	14,1	5	120	7
Azteca	Mexique	296	64	29,0	0,35	3	19,3	3	191	4
Bajio 67	Mexique	282	55	30,0	0,25	3	17,0	3	212	4
Ciano 67	Mexique	320	68	29,1	0,35	2	18,1	2	193	4
Mayo 64	Mexique	235	53	27,5	0,32	4	14,4	4	172	3
Mexique 50	Mexique	273	61	28,7	0,30	11	16,2	8	132	10
Mexique 51	Mexique	279	64	28,8	0,36	9	17,4	8	129	11
Siète Cerros	Mexique	183	57	24,3	0,48	3	13,0	4	110	5
F 342/62	Roumanie	276	60	27,5	0,38	10	15,3	9	147	9
Purcari Hostianum	Roumanie	323	86	20,8	1,02	10	15,6	10	194	10
Atlas 66	U.S.A.	154	50	26,1	0,35	6	18,0	7	47	7
Fronoso	U.S.A.	161	52	26,3	0,36	5	18,3	6	49	6
US (59)88	U.S.A.	284	66	30,0	0,30	1	18,4	7	178	1
Besostaia 1	U.R.S.S.	332	83	24,2	0,72	9	14,6	8	151	9
Kavkaz R 1-2	U.R.S.S.	242	75	23,0	0,70	1	16,9	1	178	1
Rannie 12	U.R.S.S.	236	67	25,1	0,53	4	14,5	3	145	4
NS 335	Yougoslavie	280	72	25,2	0,55	6	15,6	7	132	8

Alvéogramme: fait par E.F.M. Paris, Laboratoire de M. Godon.

Azote : E.F.M. ou Laboratoire de Lucé et de Clermont-Fd (Agronomie).

Pelshenke : Laboratoire Blé de Clermont-Fd.

TABLEAU VII - *Quelques variétés de la Collection « Qualité » expérimentées en 1970-71 à Clermont-Ferrand.*

Rendement en grain et teneur en protéines du grain à différents niveaux de fumure azotée								
Fumure azotée	N 1 = 40		N 2 = 170		N 3 = 300		Moyennes	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
Cappelle	41,5	13,2	51,3	14,6	53,0	16,0	48,6	14,6
Vilmorin 23	48,5	12,1	51,1	13,5	46,2	14,7	48,6	13,4
Martonyasari 301	41,8	14,3	42,2	18,3	45,2	18,6	43,1	17,1
Mexique 51	39,7	14,9	46,0	17,4	50,0	17,7	45,2	16,7
Atlas 66	39,7	14,9	46,7	18,0	41,9	19,1	42,8	17,3
Fronroso	36,7	15,6	38,1	18,2	32,6	19,3	35,8	17,7
Purcari Hostianum	40,2	12,3	56,1	15,3	64,7	17,0	53,7	14,9
F 342/62	47,9	13,1	50,9	16,6	53,0	16,8	50,6	15,5
Pembina	35,4	15,7	43,6	17,1	39,9	17,9	39,6	16,9
(C 1-5-2 x Mart.)C 18-23-1	50,0	13,6	48,9	16,9	48,5	16,5	49,1	15,7
(Mex 50 x B21)C 2-6-10-3-6-4	58,9	13,0	63,7	15,8	54,4	17,1	59,0	15,3
Mutant de F.A 5.3.4	42,8	16,2	46,2	17,3	45,9	17,1	45,0	16,9

(1) Rendement en grain en qx/ha

(2) Teneur en protéines (N % de la M.S.) $\times 5,7$.

LA QUESTION FONDAMENTALE POSEE EST LA SUIVANTE.

La variabilité observée pour les teneurs en protéines chez les géniteurs étudiés n'est-elle que le reflet de la variabilité du caractère productivité en matière sèche du grain ou bien existe-t-il encore une variabilité pour la teneur en protéines à un niveau de productivité donné?

4) DETERMINISME GENETIQUES DES CARACTERES.

L'importance de la fluctuation de la valeur d'utilisation d'un génotype en fonction des conditions de milieu laisse supposer que le déterminisme génétique des caractères qui nous intéressent est du type polygénique.

Une première approche à l'étude de ce déterminisme génétique peut consister à observer le comportement des caractères chez les hybrides F_1 comparés à leurs parents.

A - La valeur d'utilisation en F_1 (voir tableau VIII).

D'après les études de C. GOUJON et J. PAQUET les indices de l'alvéographe CHOPIN W. et G. et l'indice PELSSENKE des F_1 sont en général intermédiaires entre ceux des deux parents.

Par contre, pour la teneur en protéines du grain il semble que le caractère « haute teneur » se comporte comme un caractère récessif.

TABLEAU VIII - Etude technologique des hybrides F_1 et de leurs parents (valeurs exprimées en p. cent de celle du parent ayant le meilleur rendement qx/ha moyen).

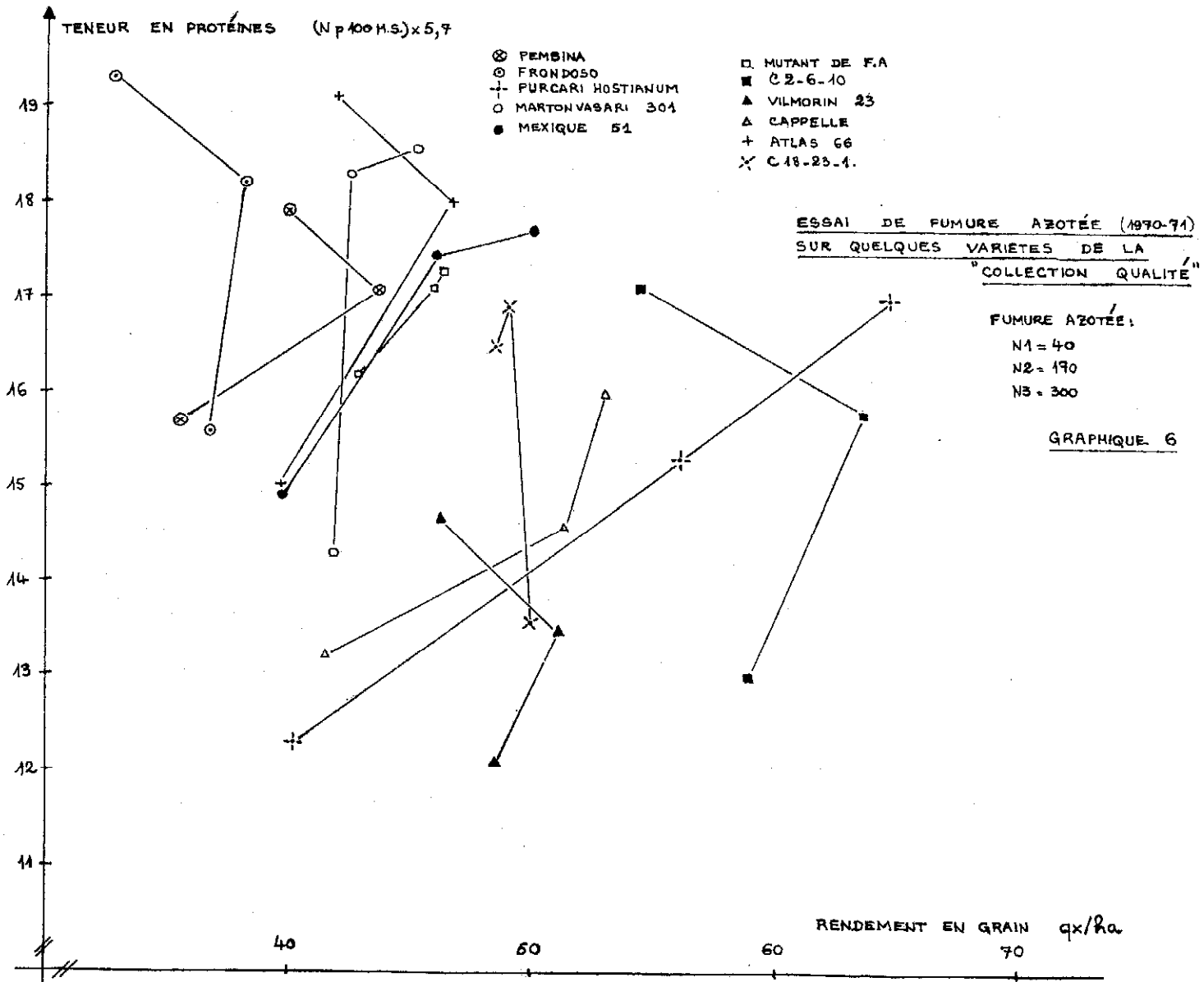
(d'après C. GOUJON et J. PAQUET)

Variétés ou hybrides F_1	Alvéographe CHOPIN		Indice PELSSENKE	Teneur en protéines en N % M.S. x 5,7
	W	G		
Moisson	100	100	100	100
F_1 (Moisson x Gaines)	101	105	84	91
Gaines	98	104	54	88
Moisson	100	100	100	100
F_1 (Moisson x Bezostaia 1)	134	100	122	101
Bezostaia 1	223	95	204	103
Novi Sad 60	171	79	78	107
F_1 (Novi Sad 60 x Et. de Choisy)	138	94	87	101
Etoile de Choisy	100	100	100	100

REMARQUE: en général les hybrides atteignent un niveau de rendement en M.S. supérieur à ceux des parents (hétérosis). Cet accroissement de rendement en M.S. qui doit porter essentiellement sur les glucides (amidon) a pour conséquence une diminution relative de la teneur en protéines d'où le comportement de type « récessif » du caractère haute teneur en protéines.

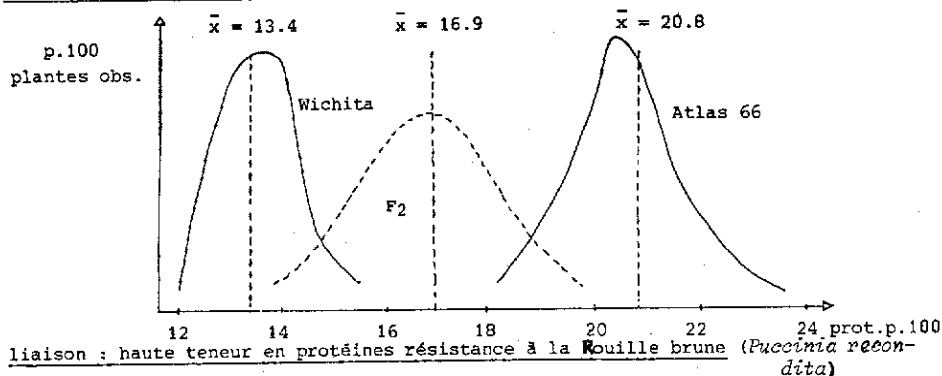
B - Le comportement de la valeur d'utilisation dans les générations en disjonction.

Nous disposons de peu d'études rigoureuses sur le comportement des caractères de qualité du Blé au cours des générations en disjonction et sous l'influence de la sélection.



Cependant, rappelons les résultats d'une expérience déjà assez ancienne réalisée par MIDDLETON et coll. en 1954 (Université de Nebraska). Ces auteurs ont réalisé un croisement entre Atlas 66 (Soft winter wheat) et Wichita (hard red winter wheat) dont ils ont étudié la descendance.

Teneur en protéines des individus F₂ et des parents



— Atlas 66 est résistante à la Rouille brune (race du Centre des Etats-Unis).

— Wichita est sensible.

L'étude du comportement des lignées F₆ vis à vis de ce parasite a donné les résultats suivants:

lignées F ₆ sensibles	teneur en protéines moyenne 13,5%
lignées F ₆ résistantes	teneur en protéines moyenne 17,0%

Les auteurs ont conclu à une liaison génétique étroite entre haute teneur en protéines et résistance au parasite *Puccinia recondita*. Enfin, il est apparu une corrélation inverse entre rendement en grain et teneur en protéines (liaison déjà signalée).

5) SCHEMAS APPLICABLES A LA SELECTION DU BLE POUR LA VALEUR D'UTILISATION.

Nous décrivons ici les méthodes employées au laboratoire du Blé de la Station d'Amélioration des plantes de Clermont-Ferrand pour la sélection en vue de l'amélioration de la valeur d'utilisation des Blés.

Voir schéma de sélection pour l'amélioration de la valeur d'utilisation des Blés tendres (fig. 1).

SCHEMA DE SELECTION POUR L'AMELIORATION DE LA VALEUR D'UTILISATION DES BLES TENDRES

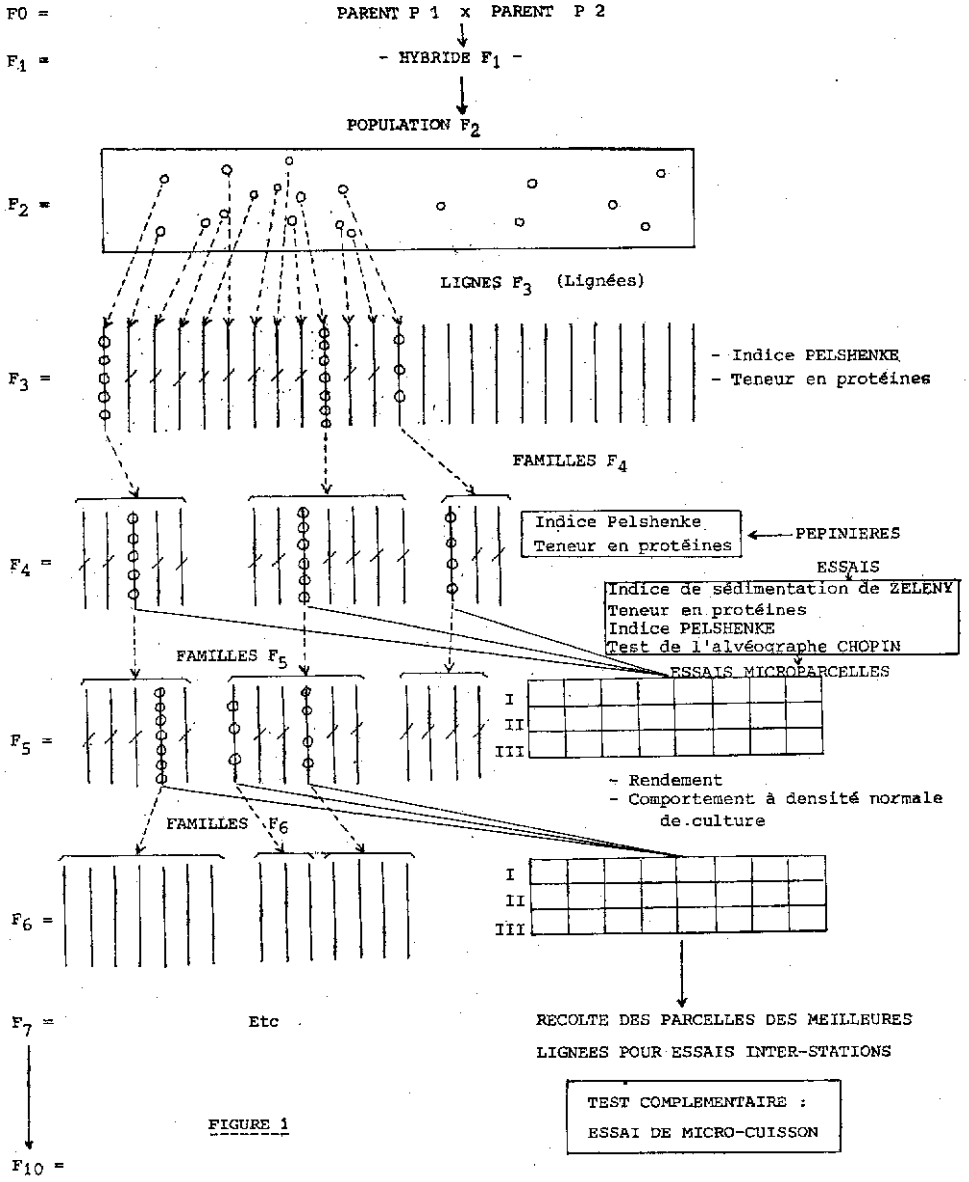


FIGURE 1

Parent P 1 → bonne valeur agronomique
bonne adaptation au milieu

Parent P 2 → valeur d'utilisation que l'on cherche à transférer à un génotype de bonne valeur agronomique

Population F 2 → pas de sélection pour la valeur d'utilisation

sélection: - soit directe plante à plante pour certains caractères facilement observables (maladies, hauteur, précocité)
- soit après une sélection par la méthode « bulk » dans un milieu contaminé pour les maladies (pendant 3 ans).

F₃ et générations suivantes: le jugement de la valeur d'utilisation des génotypes se fait par prélèvement d'un échantillon moyen dans la lignée semée en pépinière.

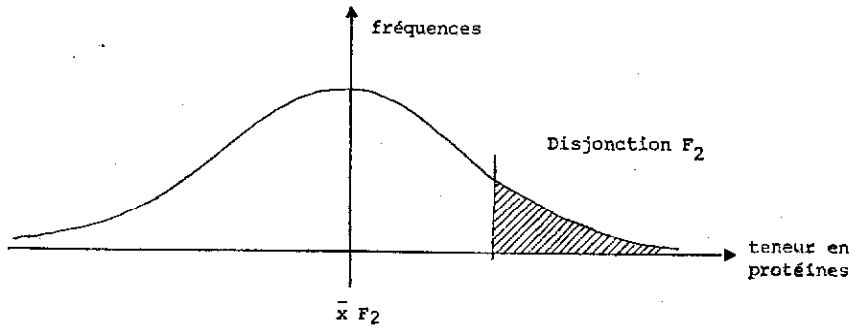
A partir de la génération F₃ le jugement de la valeur d'utilisation se fait à la fois en pépinière et en essai.

Schématiquement nous réalisons le jugement de la valeur d'utilisation de la manière suivante:

Pépinière = ligne (à partir de F ₃)	Essai = micro parcelle (à partir de F ₃)	
1 échantillon par ligne sélectionnée pour les caractères agronomiques et physiologique:	1 échantillon par parcelle élémentaire	Indice de sédimentation ZELENY Teneur en protéines Rendement en protéines en kg/ha
— Indice PELSHEKKE — Teneur en protéines	1 échantillon moyen par variété	Indice PELSHEKKE Alvéographe CHOPIN Essai de micro-panification (pour les essais interstations)

A la génération F₂ une sélection pour la haute teneur en protéines a peu de chances d'être efficace du fait d'une influence marquée du milieu sur le caractère (héritabilité faible).

Par ailleurs, une sélection trop sévère qui ne retiendrait que les plantes à haute teneur en protéines risquerait de maintenir dans la descendance les liaisons défavorables qui pouvaient exister à l'origine chez le géniteur haute teneur en protéines (faible rendement, mauvaise adaptation au milieu, sensibilité aux maladies).

Remarques sur la sélection pour un accroissement de la teneur en protéines du grain

En résumé il paraît souhaitable de différer à une génération ultérieure la sélection pour le caractère « haute teneur ».

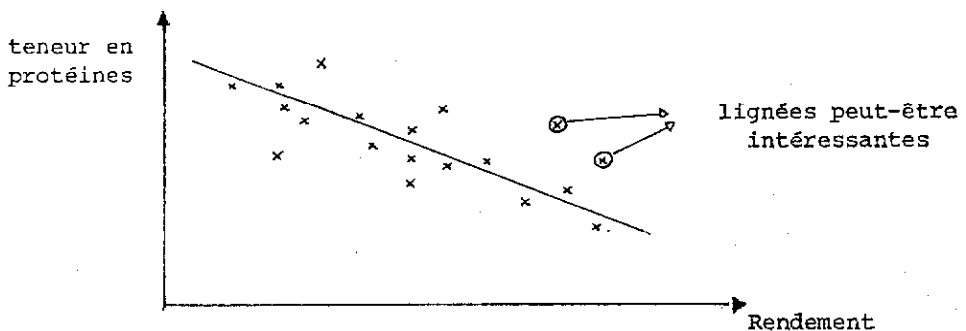
Sur les lignées F_3 ou F_4 il est possible de débiter une première sélection pour la teneur en protéines mais le crible ne doit pas être trop sévère, les caractères d'adaptation au milieu, le type de plante... doivent être considérés en priorité.

Lorsque débutent les essais de rendement à densité normale de culture il est possible d'évaluer, pour une même lignée son rendement, sa teneur en protéines et la production de protéines/ha qui en résulte.

Les lignées issues d'un croisement peuvent être caractérisées par la droite de régression qu'il est possible de tracer entre rendement (qx/ha) et teneur en protéines (p. 100 de la M.S.).

Les lignées les plus intéressantes sont celles qui sont repérées par des cercles sur le graphique. A un stade de la sélection plus avancé les caractères doivent être appréciés dans un réseau d'expérimentation inter-stations.

La valeur d'utilisation des lignées sélectionnées doit être confirmée par des essais de nutrition (poulet de chair, poule pondeuse, porc...).



La sélection pour la valeur d'utilisation des Blés tendres se caractérise donc par:

— la difficulté du jugement des génotypes (fluctuation en fonction des conditions de milieu, manque de représentativité des tests indirects d'appréciation de la valeur technologique...).

— la liaison inverse: rendement en grain - teneur en protéines.

— la variabilité intraspécifique pour la teneur en protéines apparemment forte lorsque l'on analyse les génotypes récoltés en pépinière mais en réalité faible si l'on s'intéresse aux génotypes à productivité élevée.

En conséquence, le sélectionneur devra opérer d'une manière très méthodique en interprétant les résultats des tests réalisés sur les échantillons avec beaucoup de prudence. En collaboration avec les physiologistes et les biochimistes il est possible d'emprunter de nouvelles voies de recherche qui donneront peut-être des outils nouveaux pour juger les génotypes: l'étude de l'activité nitrate-réductase, l'électrophorèse des gliadines en sont des exemples.