

L'IDENTIFICATION DES VARIÉTÉS DE BLÉ : ÉTABLISSEMENT D'UN TABLEAU GÉNÉRAL DE DÉTERMINATION FONDÉ SUR LE DIAGRAMME ÉLECTROPHORÉTIQUE DES GLIADINES DU GRAIN

J.-C. AUTRAN et A. BOURDET

avec la collaboration technique de Ginette GOBIN et de Monique TOURAILLE (1)

*Laboratoire de Recherches sur la Qualité des Blés, I. N. R. A.,
E. N. S. M. I. C., 16, rue Nicolas-Fortin,
75013 Paris*

RÉSUMÉ

L'hétérogénéité électrophorétique en gel d'amidon de la fraction gliadine du grain de blé présente une totale indépendance à l'égard des conditions culturales et constitue ainsi un caractère variétal. Une utilisation de conditions expérimentales améliorées et une analyse limitée aux seules différences significatives permettent une exploitation objective des données qualitatives et quantitatives des diagrammes obtenus.

On définit ainsi, d'une part, des indices de similarité dont l'intérêt est de quantifier l'analogie des électrophorogrammes variétaux et d'exprimer indirectement une forme de parenté génétique des blés. D'autre part, on fournit un tableau général d'identification variétale construit uniquement à partir de l'analyse des diagrammes électrophorétiques de gliadines. A l'exception de deux groupes de variétés génétiquement très proches, tous les blés actuellement inscrits au Catalogue français peuvent être ainsi différenciés rapidement et directement à partir de grains ou de farine.

Enfin, outre les possibilités nouvelles offertes en pratique pour confirmer la nature d'une variété présumée ou pour identifier un lot inconnu de semences, la méthode paraît constituer une voie d'approche biochimique originale pour différents problèmes de génétique et d'amélioration des plantes.

I. — INTRODUCTION

Pour être commercialisée en France, une variété de Blé doit nécessairement être inscrite au catalogue officiel et au catalogue communautaire lorsque ce dernier paraîtra. Dans ces conditions, il apparaît naturel de disposer d'un ou plusieurs tests

(1) Groupe d'Étude et de Contrôle des Variétés et des Semences, I. N. R. A., Domaine de La Minière, Guyancourt, 78000 Versailles.

permettant une identification correcte, simple et rapide de chacune des variétés inscrites.

En outre, compte tenu des modifications qui vont résulter d'une ouverture plus large des échanges commerciaux au niveau de la C. E. E., l'utilisation de méthodes éprouvées d'identification variétale devient indispensable.

Le problème de la reconnaissance des variétés de blé n'est évidemment pas nouveau et différentes tentatives pour le résoudre ont été rapportées depuis plusieurs dizaines d'années. On sait, par exemple, que la détermination est possible d'après des caractères botaniques tels que le port de la plante, la pilosité de certaines feuilles, l'aspect de l'épi, la couleur des anthères (JONARD, 1951). De même, après étude de la valeur systématique des caractères observables au niveau de la plantule (coloration du coléoptile, pilosité de la première feuille) et du grain (largeur du grain/longueur du grain, longueur du scutellum/longueur du grain, longueur de la brosse/longueur du grain, position de l'extrémité de la radicule), REBISCHUNG et KARSKA (1952) ont établi des clés de détermination permettant de classer jusqu'à 46 variétés. Dans le même but, d'autres auteurs ont enfin utilisé la réponse de la plante à des traitements par l'acide gibbérélique (DHESI, DESORMEAUX et PAUKSENS, 1971) ou par certains fongicides (FOUCHARD et CHESNEAUX, 1974).

Mais le blé est commercialisé essentiellement sous la forme de grains ou de produits de leur mouture. Une identification variétale rapide doit donc pouvoir être conduite directement à partir de ce matériel, ce qui exclut l'utilisation des caractères observables sur la plante ou sur la plantule. Restent donc, outre les critères de mensuration du grain étudiés par REBISCHUNG et KARSKA (1952), les quelques tests suivants :

— test à l'acide phénique, décrit par FRIEDBERG (1933), qui donne selon la variété, un résultat échelonné entre le noir et le très peu coloré, en passant par différentes nuances de brun ;

— couleur (roux ou blanc), texture (vitreux ou farineux) et dureté du grain ;

— poids de 1 000 grains ;

— type d'alvéogramme Chopin.

Si la plupart de ces tests répondent bien à un impératif de rapidité, ils présentent aussi plusieurs types d'inconvénients.

Tout d'abord, leur spécificité est faible car ils permettent de distinguer des classes et non des variétés uniques. Face à un problème de contrôle variétal, cela interdit évidemment de formuler des réponses positives.

Par ailleurs, contrairement aux anciennes variétés françaises qui donnaient des réponses assez diversifiées, de nombreuses variétés nouvelles se comportent de façon identique, notamment pour ce qui est de la couleur du grain et de l'essai à l'acide phénique.

On peut noter enfin une dépendance très forte à l'égard des facteurs externes (lieu de culture, année, fertilisation, ...). C'est le cas des mensurations du grain et du poids de 1 000 grains.

En conséquence, si la plupart de ces tests demeurent utiles, en raison de leur simplicité, pour effectuer un premier classement ou pour donner une idée de la pureté variétale (test à l'acide phénique), leur faible spécificité les rend actuellement insuffisants pour identifier avec précision un lot inconnu des semences. L'établissement d'un véritable tableau de détermination variétale à partir de la forme commerciale

du blé qu'est le grain doit donc faire intervenir de nouveaux critères, plus spécifiques et ne présentant pas les inconvénients rapportés ci-dessus.

Pour cela, il semble nécessaire de faire appel aux propriétés de certains constituants biochimiques du grain et tout particulièrement des protéines. Celles-ci apparaissent en effet étroitement associées au patrimoine héréditaire des blés et leur structure peut constituer, dans certains cas, un véritable marqueur génétique, exploitable dans des essais d'identification de genres, espèces ou variétés.

Les diagrammes de fractionnement de nombreuses protéines et enzymes étudiées chez le Blé présentent ainsi, à des degrés divers, une certaine spécificité génétique. On sait, par exemple, que l'hétérogénéité des albumines-globulines (PENCE, WEINSTEIN et MECHAM, 1954 ; FEILLET et BOURDET, 1967 ; SILANO, DE CILLIS et POCCHIARI, 1969 ; FEILLET et KOBREHEL, 1972) permet de différencier les blés tendres (*T. vulgare*) des blés durs (*T. durum*), mais non pas de reconnaître les variétés d'une même espèce. Selon le même principe, les β -amylases du grain (JOURRIER, 1974) et les peroxydases (KOBREHEL et GAUTIER, 1974) permettent de distinguer plusieurs types variétaux.

Cependant, la catégorie de protéines dont les diagrammes électrophorétiques présentent, chez le blé, le polymorphisme le plus élevé, demeure à l'heure actuelle celle des gliadines, que l'on définit classiquement à partir de leur solubilité dans les alcools dilués (OSBORNE, 1907).

On a constaté ainsi depuis plus de dix ans que l'hétérogénéité des gliadines constitue un caractère variétal (COULSON et SIM, 1961 ; ELTON et EWART, 1962 ; BOURDET, FEILLET et METTAVANT, 1963 ; LEE et WRIGLEY, 1963) et qu'en aucun cas elle n'apparaît influencée par les conditions culturales et plus généralement par les facteurs du milieu : lieu, année, climat, apport d'azote, de fongicide, ... (FEILLET et BOURDET, 1967 ; DOEKES, 1968 ; WRIGLEY et SHEPHERD, 1973 ; AUTRAN, 1974). Mais il faut reconnaître que, jusqu'à ce jour, nul n'a pleinement utilisé ces données fondamentales à des fins pratiques. Ainsi, les fractionnements obtenus notamment par KONAREV, GUBAREVA et GAVRILYUK (1970) en gel de polyacrylamide ou par DOEKES (1968), HUEBNER et ROTHFUS (1968), SOZINOV et POPERELLIA (1971), SOZINOV, POPERELLIA et STAKANOVA (1973), en gel d'amidon, n'ont pas été exploités à notre connaissance en vue de l'établissement d'un tableau d'identification variétale. Par ailleurs, si ELLIS (1971) parvient à classer une vingtaine de variétés, la résolution limitée des diagrammes contraint l'auteur à utiliser parallèlement 3 autres critères de reconnaissance (test phénol, coloration du coléoptile, dureté du grain). Il en est de même dans les laboratoires d'Australie (SIMMONDS *et al.*, 1973) où l'électrophorèse des gliadines semble utilisée conjointement au test phénol et à des observations visuelles du grain.

Les recherches que nous rapportons ci-dessous ont au contraire pour objet l'établissement d'un *tableau d'identification de l'ensemble des variétés de blé tendre inscrites au catalogue français*. Elles font suite à des notes préliminaires (AUTRAN, 1973 ; AUTRAN et BOURDET, 1973) destinées à définir le principe de l'exploitation des diagrammes en se limitant à la région des ω -gliadines et à quelques variétés.

Dans le présent travail, l'identification variétale est obtenue en se fondant également sur la seule technique d'électrophorèse en gel d'amidon, mais elle utilise les données qualitatives et quantitatives de l'ensemble du diagramme électrophorétique des gliadines du grain.

II. — MATÉRIEL, ET MÉTHODES

A. — *Matériel d'étude*

Le tableau d'identification établi dans ce travail concerne l'ensemble des variétés de blé tendre actuellement inscrites au Catalogue français, à l'exclusion de celles se trouvant en cours de radiation :

— 60 variétés d'hiver : « Aquilon », « Asso », « Astral », « Atou », « Bizel », « Bocquiau », « Boulmiche », « Brennus », « Cadet », « Capest », « Capitole », « Cappelle », « Champlein », « Clédor », « Clément », « Comtal », « Courtot », « Dragon », « Ducat », « Élite », « Élysée », « Essor », « Étendard », « Étoile de Choisy », « Flinor », « Floress », « Fournil », « Gaillard », « Goya », « Hardi », « Heima », « Heurtebise », « Huquin », « Joss », « Magali », « Magdaléna », « Manella », « Maris Huntsman », « Markus », « Marly », « Marne », « Mistral », « Moisson », « Montjoie », « Nicam », « Noroit », « Ouest », « Panis », « Poncheau », « Prestige », « Prieur », « Primo », « Promesse », « Rémois », « Splendeur », « Talent », « Top », « Trio », « Vilmorin 53 », « Wattines ».

— 13 variétés de printemps : « Aronde », « Atyss », « Bicoop », « Capta », « César », « Charles-Péguy », « Chrismar », « Clairon », « Florence-Aurore », « Germinal », « Kolibri », « Rex », « Sirius ».

B. — *Méthodes expérimentales**Extraction de la fraction gliadine.*

La fraction gliadine du grain est solubilisée directement au moyen d'éthanol à 60 p. 100 ou encore de glycolmonochlorhydrine (GMC) à 25 p. 100. Pour cela, 1 gramme de grain broyé (ou de farine) est mis en suspension dans 3 ml de solvant, puis laissé au repos durant au moins 2 heures à température ordinaire. Le surnageant obtenu après centrifugation (centrifugeur Sorvall SS1; 10 mn à 14 000 tr/mn) est alors utilisé comme solution protéique de dépôt en électrophorèse.

Cette phase expérimentale peut encore être miniaturisée en opérant, à la limite, sur un seul grain, avec 150 microlitres de solvant et sans centrifugation.

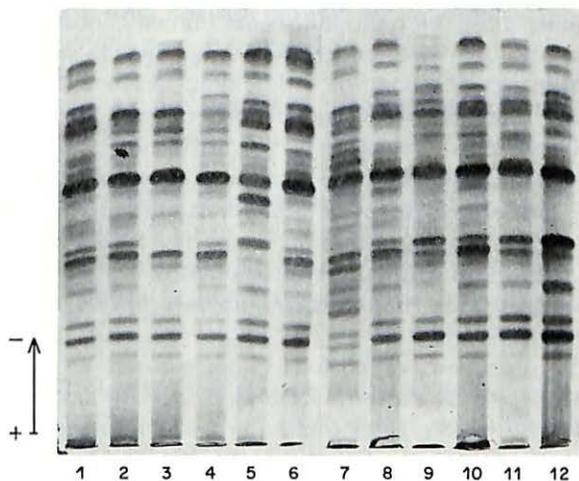


FIG. 1. — Diagrammes électrophorétiques en gel d'amidon (tampon lactate d'Al, pH 3,2) de 12 variétés françaises très cultivées

- | | | |
|-------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 : « Capitole » | 5 : « Étoile de Choisy » | 9 : « Rex » |
| 2 : « Hardi » | 6 : « Cappelle » | 10 : « Rémois » |
| 3 : « Champlein » | 7 : « Magali » | 11 : « Florence-Aurore » |
| 4 : « Joss » | 8 : « Moisson » | 12 : « Heima » |

Électrophorèse en gel d'amidon.

Les gliadines sont fractionnées par électrophorèse analytique en gel d'amidon, tampon lactate d'aluminium ($\mu = 0,0045$), urée 0,5 M, pH 3,20. Le gel est préparé à partir d'un amidon hydrolysé (Connaught medical Research Laboratories, Université de Toronto, Canada), à une concentration de 9 p. 100 et coulé dans une cuve Amidophor (Pleuger, France). Quelques modifications ont cependant été apportées à cette technique décrite initialement par FEILLET (1965). Ainsi, en vue d'améliorer la reproductibilité et la résolution des bandes, le gel est préparé par chauffage à $80^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ et la coloration des protéines par la nigrosine (une nuit) est précédée d'une fixation par l'acide trichloracétique (1 mn).

Les gliadines sont déposées dans le gel au moyen de papier Whatmann n° 3 imbibé de l'extrait éthanol ou GMC. La migration a lieu durant 4 h 45 à 8 volts/cm après un précurant de 2 h à 8 volts/cm également. La longueur du diagramme atteint alors 18 cm environ. Les protéines de type albumine et globuline solubilisées au cours de l'extraction directe des gliadines ne perturbent pas le fractionnement de ces dernières en raison de leur mobilité plus élevée.

Après décoloration, les plaques d'électrophorèse sont photographiées (fig. 1), puis soumises à une analyse densitométrique (densitomètre intégrateur Chromoscan, Joyce-Loebl, France) afin de déterminer la concentration relative approximative de chacun des composants séparés.

La durée totale des opérations est au minimum de 24 heures (8 heures pour l'ensemble des opérations d'électrophorèse et 1 nuit pour la coloration). Dans les meilleures conditions, le diagramme peut donc être lisible environ 24 heures après réception du grain.

III. — RÉSULTATS OBTENUS ET DISCUSSION

A. — Établissement du diagramme-type variétal

La figure 1 met en évidence de nettes différences, à la fois qualitatives et quantitatives entre les diagrammes gliadines de plusieurs variétés. On sait que ce type d'observation a été effectué maintes fois, mais jusqu'ici, les auteurs se sont limités à constater des différences sans véritablement les utiliser à des fins pratiques. Les tentatives d'exploitation des diagrammes se sont heurtées, en effet, à plusieurs difficultés.

D'une part, au plan expérimental, les conditions retenues dans les divers travaux ne semblent pas toujours assurer une bonne reproductibilité des fractionnements et conduisent rarement à de très bonnes résolutions. Il était donc nécessaire, avant toute analyse des diagrammes, de réexaminer systématiquement les facteurs expérimentaux pouvant intervenir sur la séparation des protéines et de modifier le protocole en conséquence, ce qui a été réalisé.

D'autre part, les diagrammes obtenus sont généralement très complexes car ils renferment, au minimum, une vingtaine de composants. Si, pour une variété donnée, il est aisé de repérer chaque bande au moyen de sa mobilité relative, le problème se complique lorsqu'il s'agit de répertorier toutes les bandes présentes dans un ensemble de variétés. En effet, la seule technique d'électrophorèse ne permet pas de démontrer que des composants de mobilités apparemment identiques ou très voisines correspondent à une même protéine. Une seule bande peut ainsi englober fortuitement plusieurs espèces moléculaires différentes (MOSSÉ, 1973 ; WRIGLEY, 1972) et inversement, une même protéine peut voir parfois sa mobilité légèrement modifiée en raison d'associations partielles avec des polyholosides ou des lipides (CHARBONNIER, 1973).

Dans ces conditions, un répertoire exhaustif des protéines révélées électropho-

rétiqnement au niveau d'un grand nombre de variétés devient impossible à établir et seules des études physico-chimiques et immunologiques plus fondamentales seraient susceptibles d'apporter des précisions sur ce sujet.

Dans l'état actuel des recherches, il faut reconnaître que nous ignorons le nombre exact d'espèces moléculaires de chacune de nos variétés. *A fortiori*, nous ne connaissons encore, ni la structure physico-chimique complète, ni la signification physiologique, ni l'importance technologique des composants pris individuellement. Mais nous ne pensons pas que cela doive constituer un obstacle dans la recherche d'une interprétation à caractère purement appliqué. Même limitées, les données actuelles de l'électrophorèse peuvent en effet suffire pour contribuer à résoudre notamment le problème de la caractérisation biochimique des variétés de blé.

Une étude de cette nature présente cependant deux exigences opposées. D'une part, il y a intérêt à tenir compte du plus grand nombre possible de composants électrophorétiques afin d'intégrer un maximum de différences variétales. Inversement, la présence de bandes de mobilités trop voisines peut conduire à des difficultés ou à des erreurs d'interprétation. Dans l'impossibilité d'établir un répertoire exhaustif, nous nous sommes donc limités à un répertoire « optimal » fondé, non pas sur des espèces moléculaires protéiques, mais seulement sur le maximum de bandes électrophorétiques repérables sans ambiguïté. Cela revient pratiquement à considérer comme identiques des composants dont les mobilités ne sont pas significativement différentes. La marge de sécurité nécessaire à la reconnaissance des composants entraîne donc une simplification du diagramme, rendant ainsi exploitables des données initialement complexes.

Les diagrammes étudiés jusqu'ici renferment, selon la variété, de 17 à 25 bandes électrophorétiques décelables, mais, au niveau des 73 variétés françaises dont nous faisons état, 43 composants significativement différenciables ont été retenus. Nous insistons sur le fait qu'il en existe certainement davantage mais que, compte tenu de la précision (de l'ordre de 1,5 mm) avec laquelle les bandes peuvent être localisées sur les gels, il serait illusoire d'en rechercher une liste plus complète.

Les mobilités relatives de ces 43 composants sont calculées à l'aide d'une bande témoin commune à tous les blés analysés jusqu'ici. Il s'agit d'un composant majeur du groupe des γ -gliadines, auquel on a convenu d'attribuer la mobilité 65. L'ensemble des composants se situe alors dans une zone de mobilité relative comprise entre les valeurs 21 et 100.

Si l'on se rapporte à la nomenclature de WOYCHICK, BOUNDY et DIMLER (1961), on observe la répartition suivante :

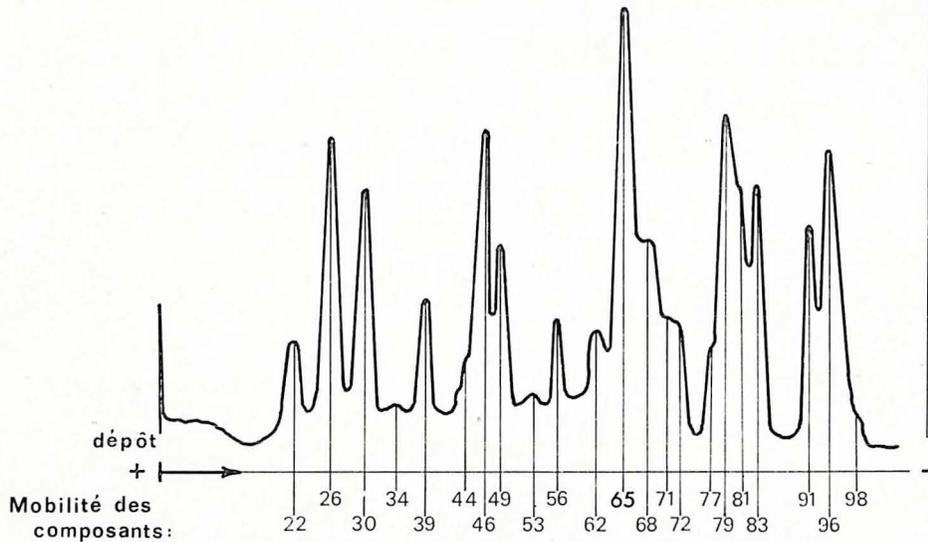
$$43 \left\{ \begin{array}{ll} 7 \text{ composants } \alpha\text{-gliadines} & : \text{ mobilités } 100 \text{ à } 88 \\ 6 \text{ — } \beta\text{-} & : \text{ — } 85 \text{ à } 75 \\ 7 \text{ — } \gamma\text{-} & : \text{ — } 74 \text{ à } 60 \\ 23 \text{ — } \omega\text{-} & : \text{ — } 59 \text{ à } 21 \end{array} \right.$$

Sur un plan qualitatif, le diagramme simplifié de chaque variété apparaît donc caractérisé par un ensemble limité et clairement défini de composants appartenant au répertoire précédent.

Nous avons fait intervenir, en outre, certaines données quantitatives. Ainsi, l'analyse des diagrammes au moyen d'un densitomètre intégrateur a permis de déter-

Régions du diagramme

←----- ω -----|----- γ -----|----- β -----|----- α ----->



Mobilités des composants	Concentrations		Schéma
	lectures	%	
22	18	2.60	+
26	43	6.15	++
30	23	3.25	+
34	8	1.10	tr.
39	19	2.75	+
44	12	1.70	+
46	44	6.25	++
49	19	2.75	+
53	15	2.20	+
56	17	2.50	+
62	31	4.40	++
65	102	14.55	+++
68	39	5.60	++
71	19	2.75	+
72	17	2.45	+
77	23	3.25	+
79	55	7.85	+++
81	39	5.60	++
83	43	6.15	++
91	40	5.80	++
96	66	9.45	+++
98	10	1.40	tr.

FIG. 2. — Densitométrie de l'électrophorégramme gliadine et schématisation du diagramme-type
Variété : « Capitole »

miner les concentrations relatives approximatives de chacun des composants (fig. 2). En effectuant alors, pour chaque variété la moyenne de plusieurs répétitions (3 à 10 selon la variété), on a établi un *diagramme-type variétal* rendant compte à la fois de la mobilité et de la concentration relative des bandes. On a étudié parallèlement la répétabilité de ces résultats en calculant, pour une même variété, l'écart-type et le coefficient de variation des concentrations relatives trouvées au niveau de chaque composant. Comme le montrent les quelques exemples rapportés sur le tableau 1, on observe que les coefficients de variation par rapport à la moyenne restent le plus

TABLEAU 1

Répétabilité des concentrations relatives trouvées au niveau d'un même composant par densitométrie de différents électrophorogrammes

Variétés étudiées	Mobilité du composant	Concentrations relatives trouvées par densitométrie de différents électrophorogrammes	Moyenne	Écart-type	Coefficient de variations (%)
« Atou »	74	5,55-6,10-5,75-5,65	5,75	± 0,24	± 4,2
« Atys »	62	4,00-3,75-4,25-3,40-4,55	4,00	± 0,44	± 11,0
« Capitoie »	68	6,30-5,90-4,70-6,00-5,05	5,60	± 0,68	± 12,0
« Cappelie »	56	2,60-4,00-3,15-2,85-2,35	3,05	± 0,67	± 21,8
« Champlein »	90	10,30-7,35-7,20-7,40-6,40	7,75	± 1,49	± 19,3
« Courtot »	81	5,90-5,50-4,75	5,40	± 0,58	± 10,8
« Essor »	85	6,55-4,90-5,50-7,10	6,00	± 0,99	± 16,5
« Étoile de Choisy »	34	1,10-1,85-1,05-0,65-1,05	1,15	± 0,43	± 37,4
« Florence-Aurore »	49	7,65-5,50-5,60-5,40	6,05	± 1,07	± 17,7
« Gaillard »	83	4,40-5,70-5,10	5,05	± 0,65	± 12,8
« Hardi »	30	4,95-4,40-4,25-3,95	4,40	± 0,41	± 9,5
« Heima »	39	3,95-4,75-4,10-4,00	4,20	± 0,37	± 8,8
« Joss »	46	9,60-7,00-7,30-8,00-7,20	7,80	± 0,98	± 12,6
« Kolibri »	65	19,30-19,75-21,00-20,10-21,45	20,30	± 0,88	± 4,3
« Moisson »	26	5,30-5,20-6,10-5,25-6,50	5,65	± 0,59	± 10,4
« Rex »	77	3,60-4,30-2,70-4,90-4,35-4,80	4,10	± 0,82	± 20,0

TABLEAU 2

Échelle des classes de concentrations relatives définies pour chaque composant de l'électrophorogramme gliadine

Absorption du composant, en p. 100 de l'absorption totale du diagramme	Échelle adoptée
0	0
0 à 1,5 %	tr.
1,5 à 4,0 %	+
4,0 à 6,5 %	++
supérieur à 6,5 %	+++

souvent de l'ordre de ± 10 à 20 p. 100. Parallèlement, les écarts-types sont généralement inférieurs à ± 1 point de concentration relative, ce qui paraît acceptable si l'on considère l'imprécision habituelle de toute densitométrie sur gel d'amidon. Les quelques rares cas où le coefficient de variation dépasse ± 20 ou 30 p. 100 concernent d'ailleurs toujours des composants présents en faible proportion ou à l'état de traces.

Sur la base de ces valeurs et afin de faciliter un éventuel traitement informatique des données, on a schématisé les diagrammes-types en exprimant simplement les concentrations relatives au moyen d'une échelle : 0, tr., +, ++, +++ , dont le tableau 2 fournit l'explication. Pour tenir compte des variations expérimentales on a alors convenu de considérer qu'une différence entre 2 diagrammes n'est significative que si l'écart dans l'échelle des concentrations d'un composant donné est d'au moins deux unités, par exemple : 0 et + (différence qualitative), tr. et ++ ou + et +++ (différences quantitatives). Une telle marge de sécurité apparaît suffisante si l'on considère les écarts-types fournis dans le tableau 1 et cela démontre que dans ces conditions, les fluctuations expérimentales demeurent toujours inférieures aux différences variétales reconnues comme significatives.

Ces schémas de diagrammes-types ont été établis pour les 73 variétés du catalogue français et le tableau 3 en fournit un exemple limité à 12 d'entre elles. Un tel ensemble de résultats peut alors être exploité selon 2 voies distinctes :

— l'estimation concrète du degré de différence (ou d'analogie) entre les diagrammes variétaux pris deux à deux, conduisant au calcul d'indices de dissimilarité (ou de similarité) ;

— l'établissement d'un tableau chimiotauxonomique de détermination des variétés.

B. — Indices de dissimilarité des diagrammes variétaux

La présentation des résultats figurée dans le tableau 3 permet d'apprécier rapidement et objectivement l'importance des différences variétales. Une simple comparaison de deux colonnes du tableau suffit pour déceler des dissemblances (significatives ou non significatives, selon la règle retenue) et pour noter le nombre et la mobilité des composants responsables.

Il devient alors possible de quantifier la dissemblance (ou inversement l'analogie) en calculant un *indice de dissimilarité (ou de similarité) des diagrammes*, inspiré de celui que DEDIO, KALTSIKES et LARTER (1969) ont utilisé dans le cas des composés phénoliques du Seigle. Il suffit pour cela de considérer deux à deux les schémas de diagrammes et de compter soit 1 point d'indice chaque fois qu'un composant est à l'origine d'une différence significative, soit 0 point si la différence n'est pas significative. Le total des points attribués au niveau de chaque composant présent constitue l'indice absolu de dissimilarité (IAD) des deux diagrammes, lequel correspond en fait au nombre de différences significatives décelées entre eux.

On peut également calculer un indice relatif de dissimilarité (IRD) en rapportant l'IAD au nombre total (N) des composants présents dans l'un au moins des diagrammes des 2 variétés comparées.

$$\text{IRD} = \frac{\text{IAD}}{\text{N}}$$

TABLEAU 3

Schémas des diagrammes types gliadines de 12 variétés françaises de blé

Mobilités relatives des composants	« Capitole »	« Hardi »	« Champlein »	« Joss »	« Étoile de Choisy »	« Cappelle »	« Magali »	« Moisson »	« Rex »	« Rémois »	« Florence-Aurore »	« Heima »
21							+					
22	+	+	+	+	+	+		+	+	+		+
25							+					
26	++	+++	+++	+++	++	++		++	+++	+++	+++	+++
28							+					
30	+	++	++	++	+	+		+	++	++	++	+
33												
34	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	++	tr.		tr.		tr.
37							+					
39	+	+		+	+	+	+	+		+	+	++
41							tr.					
43					tr.							+
44	+	+	++	+		+	+	+	++	+	tr.	
45												++
46	++	+++	+++	+++		+++	++	++	tr.	+++	+	++
49	+	+	tr.	+		+	tr.	+	+++	+	++	+++
50					++							
52												
53	+	tr.	tr.	+	+	+	tr.	+		tr.	+	
55												
56	+	+	+	+		+	+	+		+		
57					++				tr.			
59												
60					+++							
62	++	+	++	++		++	+	++	tr.	+	+	+
65	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++
68	++	+		+	+	++	+++	++	+	+	tr.	+
71	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	tr.	+
72	+								tr.	tr.	++	
74		+	++	++	+++	++	+		++	++	++	
75												++
77	+	++	+++	+++	+	+	++	+	++	tr.	+	
79	+++	+	tr.	tr.	+++	+++	+	+++	+++	++	+++	++
81	++	+++	+++	+++	++	tr.	+++	++	++	++	+++	++
83	++	tr.			++	++		+++	++	++	+++	+++
85			tr.	++	tr.				+++	++	++	
88												
90		++	+++	+++	++	++	+++		++	++	+++	+++
91												
93	++							++				
96	+++	+++	+++	+++	+++	+++	+++	++	+		+	
98	tr.	+	tr.	tr.		++	+	tr.	+	+++	+++	+++
100									+			+

TABLEAU 4

Indices relatifs de dissimilarité entre les diagrammes gliadines de 12 variétés françaises de blé

« Capitole »	« Hardi »	« Champlein »	« Joss »	« Étoile de Choisy »	« Cappelle »	« Magali »	« Moisson »	« Rex »	« Rémois »	« Florence-Aurore »	« Heïma »	
0	25	36	32	43	25	48	0	46	20	31	46	« Capitole »
	0	9	4	48	14	30	25	37	12	32	44	« Hardi »
		0	14	48	30	37	36	42	22	50	50	« Champlein »
			0	48	22	33	32	41	9	29	50	« Joss »
				0	39	64	43	43	39	43	38	« Étoile de Choisy »
					0	37	25	41	17	36	44	« Cappelle »
						0	48	59	39	50	67	« Magali »
							0	43	20	31	46	« Moisson »
								0	37	36	39	« Rex »
									0	22	41	« Rémois »
										0	48	« Florence-Aurore »
											0	« Heïma »

Cet IRD, qui peut théoriquement varier de 0 à 100, donne une idée du pourcentage des composants responsables de différences par rapport à l'ensemble des composants du couple de diagrammes considérés.

Au niveau d'un ensemble de variétés, on peut calculer les indices entre tous les diagrammes pris deux à deux et rassembler les valeurs sur une même table. Le tableau 4 fournit, à titre d'exemple, les IRD des 12 variétés déjà mentionnées.

On observe ici que l'indice varie de 0 à 67. Des valeurs élevées signifient que les diagrammes présentent de nombreuses dissemblances et que, par suite, la différenciation des variétés considérées est aisée. C'est le cas de « Capitole » — « Étoile de Choisy » (43 p. 100 de dissimilarité), « Heïma » — « Magali » (67 p. 100), « Champlein » — « Florence-Aurore » (50 p. 100). Inversement, lorsque les valeurs de l'indice sont faibles, les diagrammes apparaissent très voisins et, en pratique, les variétés sont plus difficilement reconnaissables. C'est le cas de « Joss » — « Hardi » (4 p. 100), « Champlein » — « Hardi » (9 p. 100), « Joss » — « Rémois » (9 p. 100). Ces variétés restent cependant différenciables puisqu'il existe au moins une différence significative. En revanche, l'indice de dissimilarité étant nul entre « Capitole » et « Moisson », la méthode décrite ne permet pas de distinguer ces deux variétés avec certitude.

A quoi attribuer cette plus ou moins grande similarité des diagrammes ?

Nous pensons qu'il existe une relation entre la constitution électrophorétique des gliadines et l'origine génétique des blés. Les variétés dont les diagrammes sont très proches ont, en effet, souvent des origines voisines. Ainsi, « Capitole » et « Moisson » sont issues du même croisement : « Cappelle » × (80-3 × « Étoile de Choisy »). De même, « Joss », « Rémois », et « Hardi » descendent toutes trois de « Cappelle » et présentent donc des parentés élevées. Au contraire, les variétés dont les diagrammes sont très différents ont généralement des origines génétiques éloignées. Ainsi, le fait que « Étoile de Choisy », « Rex » ou « Magali » aient des géniteurs déjà plus originaux, peut expliquer les IRD plus élevés trouvés entre ces blés.

L'hétérogénéité des gliadines pourrait donc être considérée comme une sorte de marqueur génétique et les indices de similarité entre les diagrammes sembleraient constituer indirectement un mode d'expression de la parenté génétique.

C. — Établissement d'un tableau d'identification des variétés

L'analyse des diagrammes électrophorétiques et le calcul des indices de dissimilarité mettent en évidence des différences variétales dont on est désormais assuré — là est le fait nouveau — qu'elles sont réellement significatives dans les conditions expérimentales décrites. On peut donc se fonder sur elles, en vue de l'exploitation pratique des données et notamment de la caractérisation biochimique des variétés.

Compte tenu des seules différences significatives révélées par les schémas de diagrammes, on peut en effet concevoir un système de détermination du nom de la variété à partir des données du diagramme. Un tel tableau chimiotaxonomique, construit à l'image d'une flore, doit comporter des clés de détermination fondées sur certains caractères qualitatifs (absence ou présence d'un composant) ou quantitatifs (présence +, ++ ou +++).

Un grand nombre de modèles de tableaux apparaissent possibles selon les composants discriminants retenus et l'ordre dans lequel on les utilise. Le modèle que nous avons choisi et qui est reproduit *en annexe* nous paraît le plus simple

possible car il réduit au minimum les difficultés de repérage des composants grâce à l'analyse préférentielle des zones de résolution élevée du diagramme.

Nous avons, en effet, utilisé au maximum la région des ω -gliadines. Celle-ci, en raison du poids moléculaire élevé de ses composants (CHARBONNIER, 1971) renferme des bandes diffusant peu dans le gel et dont la séparation apparaît excellente. L'hétérogénéité de ces ω -gliadines et notamment des moins mobiles d'entre elles (zone : 21 à 30) est d'ailleurs suffisante pour permettre un premier classement très net en groupes de variétés, comme l'indique le tableau 5.

TABLEAU 5

Classement en types variétaux à partir de la constitution des oméga-gliadines lentes

Dénomination du groupe	Variété type	Constitution des oméga-gliadines lentes
A ₁	« Cappelle »	22-26-30
A ₂	« Prestige »	22-25-26-30
A ₃	« Florence-Aurore »	26-30
A ₄	« Heurtebise »	25-26-30
A ₅	« Dragon »	21-25-26-28-30
B ₁	« Magali »	21-25-28
B ₂	non représenté chez les variétés françaises	21-25-28-30

Dans un second temps seulement, afin d'obtenir une différenciation plus poussée, on a fait appel aux composants α , β et γ du diagramme.

L'examen du tableau général révèle que sur les 73 variétés françaises mentionnées, 66 peuvent être reconnues sans ambiguïté, au moyen d'une ou plusieurs différences significatives. En revanche 7 variétés ne peuvent être reconnues séparément et figurent sous forme de 2 groupes de 3 et 4 variétés respectivement, au sein desquels les indices de dissimilarité sont nuls. C'est le cas du groupe : « Cappelle » — « Ouest » — « Trio », d'une part et : « Capitole » — « Ducat » — « Moisson » — « Splendeur » d'autre part. On atteint donc ici, pour cet assortiment variétal, la limite des possibilités de différenciation offertes actuellement par la seule technique d'électrophorèse des gliadines.

Il faut cependant souligner que, contrairement à ce qu'on observe avec les variétés d'origine étrangère, la détermination des blés d'hiver français pose un problème délicat en raison de la relative homogénéité des diagrammes. Il existe en particulier un ensemble de 19 variétés d'hiver d'origine typiquement française (soit 26 p. 100 des blés du Catalogue), dont les ω -gliadines sont absolument identiques.

Ces considérations biochimiques rejoignent celles formulées par l'agronome russe FLAKSBERGER (1935) uniquement sur la base de critères agronomiques et notamment l'existence d'un écotpe « gallicum » au sein de l'espèce *T. aestivum*. JONARD (1951) soulignait d'ailleurs que cette convergence ne pouvait être due à une action sélective du milieu, mais provenait essentiellement de l'emploi répété des mêmes

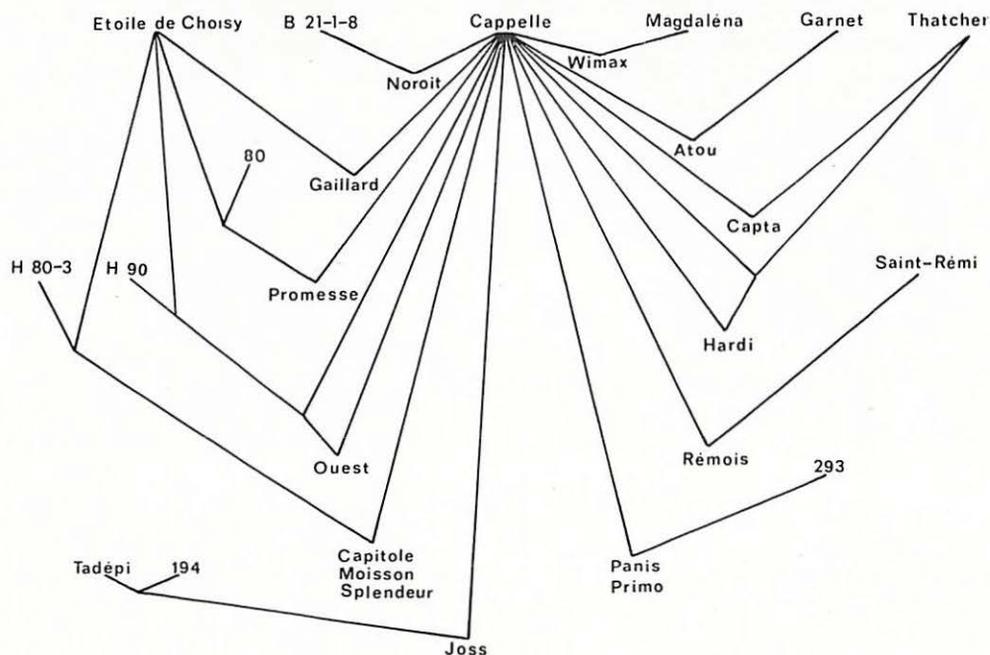


FIG. 3. — Filiation de quelques variétés françaises issues de « Cappelle »

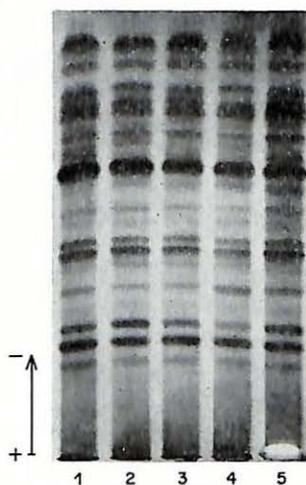


FIG. 4. — Exemple de grande similitude dans les diagrammes électrophorétiques de quelques variétés françaises de parenté génétique élevée

- | | |
|------------------|---------------------|
| 1 : « Promesse » | 4 : « Vilmorin 53 » |
| 2 : « Rémois » | 5 : « Noroit » |
| 3 : « Top » | |

généiteurs par les sélectionneurs français. Ainsi, l'examen des croisements ayant donné naissance aux 80 variétés les plus connues à l'époque révélait qu'en tout, 8 variétés seulement avaient été employées comme généiteurs et figuraient dans leur origine.

Cette remarque demeure valable pour un certain nombre de blés actuels et, à titre d'exemple, la figure 3 fournit la filiation de quelques variétés descendant de « Cappelle ». Cela montre à quel point la parenté génétique de nombreux blés, même de création récente, reste élevée (JODRIER, 1972), ce qui se traduit par une grande similitude des diagrammes (fig. 4) et explique les difficultés rencontrées lors de certains essais d'identification.

Inversement, comme cela ressort du tableau de détermination et du calcul des indices de dissimilarité, lorsque la sélection française a fait appel à des généiteurs nouveaux, notamment lors de la création des blés de printemps (« Florence-Aurore », « César », « Clairon », « Kolibri », « Chrismar », ...) on observe une beaucoup plus grande différenciation électrophorétique, de sorte que ces variétés peuvent être reconnues très rapidement (fig. 5).

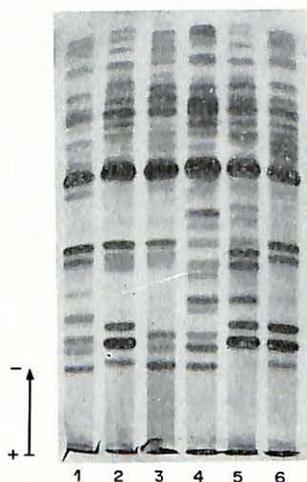


FIG. 5. — Exemple de grande différenciation électrophorétique chez quelques blés de printemps

1 : « Capta »	4 : « César »
2 : « Rex »	5 : « Sirius »
3 : « Kolibri »	6 : « Chrismar »

D. — Applications

Au plan appliqué, les résultats dont nous venons de faire état peuvent contribuer, dès à présent, à résoudre différents problèmes rencontrés par les sélectionneurs, les producteurs ou les industriels.

Ainsi, il apparaît possible de vérifier l'identité d'une variété présumée, c'est-à-dire de répondre à la question : « Ce lot de blé est-il bien (par exemple) de la variété « Rex » ? Il suffit pour cela de procéder à une électrophorèse des gliadines de ce blé parallèlement à un témoin « Rex » de collection. Si aucune différence ne peut être décelée entre les deux diagrammes, on fournira une réponse positive : « Ce blé, possède effectivement le diagramme de « Rex ». Dans les deux cas signalés où plusieurs variétés

possèdent des diagrammes pratiquement identiques, il y aura évidemment lieu de faire certaines réserves. Par exemple : « Ce blé possède le diagramme « Capitole », mais il pourrait s'agir de « Moisson », « Splendeur » ou « Ducat » car notre méthode ne permet pas de les différencier avec certitude. »

Par ailleurs, l'utilisation du tableau de détermination chimiotaxonomique doit permettre de *retrouver le nom d'une variété française inconnue à partir de son diagramme électrophorétique*. La principale difficulté rencontrée ici se situe au niveau du repérage de la mobilité des composants. Pour faciliter ce travail, il est recommandé de déposer l'extrait de gliadines dans le gel, à côté d'un témoin pour lequel les mobilités des composants sont déjà bien connues. Enfin, les données quantitatives schématisées peuvent être établies soit à partir d'un densitogramme intégré du gel, soit par simple observation des diagrammes, solution rapide et d'une approximation généralement suffisante.

Le tableau de détermination a été limité ici aux 73 variétés de blé tendre inscrites au catalogue français. On peut évidemment le mettre régulièrement à jour en y incorporant les nouveaux blés au fur et à mesure de leur inscription. Il est également possible de l'étendre à d'autres échantillons tels que les blés communautaires. C'est d'ailleurs ce que nous étudions actuellement. On peut, en outre, envisager de construire des tableaux semblables, pour d'autres céréales ou d'autres végétaux pour lesquels se pose le problème de l'identification variétale. Dans ces derniers cas, il est vraisemblable qu'une remise au point de la méthode s'imposera car rien ne prouve qu'on trouvera d'emblée dans tous les cas des fractions spécifiques de type prolamine dont l'extraction et le fractionnement seront aussi simples que pour la gliadine du Blé.

D'autres problèmes restent cependant posés. Ainsi, on a travaillé jusqu'ici sur des lots de variétés pures et il serait donc intéressant d'étudier les diagrammes obtenus dans le cas de mélanges. C'est une question que nous étudions par ailleurs mais qui s'annonce beaucoup plus complexe, surtout dans le cas de mélanges de variétés génétiquement voisines.

On peut également s'interroger sur la question des relations éventuelles entre les données du diagramme gliadine et les propriétés (force boulangère, rendement, résistance aux maladies, ...) des variétés et lignées sélectionnées, d'autant que certaines équipes ont déjà progressé dans ce domaine (DOEKES, 1972 ; SOZINOV, 1974). Il est cependant à prévoir que l'utilisation de la constitution des gliadines en tant que test de sélection soit subordonnée à des connaissances plus fondamentales, notamment celle du déterminisme génétique des composants du diagramme.

Si l'on étudie la transmission de ces composants lors du croisement de 2 variétés, on observe d'ailleurs que les lignées descendantes héritent souvent en partie du parent mâle et en partie du parent femelle. Ainsi, à titre d'exemple (fig. 6), le diagramme de la variété « Marly » (issue du croisement « Élite » × « Marne ») renferme des composants provenant typiquement d'« Élite » (bandes 44, 55, 85) et de « Marne » (bandes 22, 75, 93). Certains composants caractéristiques d'une variété peuvent donc être transmis à certaines lignées descendantes tandis que d'autres ne sont pas transmis. Ainsi, en analysant les diagrammes de différents blés issus d'« Étoile de Choisy » (variété caractérisée par la bande 60), on remarque que certains d'entre eux (« Brennus », « Gaillard », « Régulus ») ont hérité pleinement de ce composant alors que d'autres (« Capitole », « Ducat », « Ouest », ...) ne le possèdent pas. Bien qu'on ne puisse pas encore conclure quant aux relations qui unissent éventuellement tel

composant à telle propriété de la lignée sélectionnée, cela tend à confirmer que l'hétérogénéité des gliadines constitue un certain marqueur génétique. On peut donc penser que l'étude entreprise et notamment le calcul d'indices de similarité facilitera une approche biochimique de ces différents problèmes de génétique et d'amélioration des plantes.

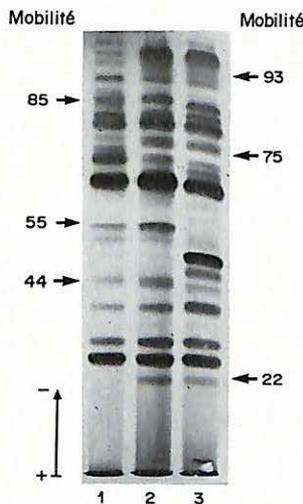


FIG. 6. — Exemple de transmission des composants du diagramme gliadine lors du croisement de 2 variétés :

1 : « Élite » ; 2 : « Marly » = « Élite » × « Marne » ; 3 : « Marne »

CONCLUSION

La méthode d'électrophorèse des gliadines en gel d'amidon, présente, par rapport aux autres critères d'identification variétale, d'importants avantages :

- spécificité très élevée,
- totale indépendance à l'égard des conditions culturales,
- possibilités de miniaturisation (travail sur 1 seul grain) pouvant être par ailleurs précieuses lors des études de lignées au cours des premières générations,
- travail sur grain broyé, farine ou issues, indifféremment,
- relative rapidité : résultat lisible 24 à 36 heures après réception de l'échantillon.

Au plan appliqué, cette méthode semble donc constituer un test simple, rapide et précis de contrôle de l'identité d'une variété présumée, d'une part, d'identification d'une variété inconnue, d'autre part.

A l'exception de deux groupes de blés génétiquement très voisins toutes les variétés actuellement inscrites au catalogue français peuvent être différenciées. La méthode décrite offre donc des possibilités nettement supérieures à tout ce qui existait jusqu'ici en matière de critères d'identification variétale. Dans l'avenir, elle pourrait donc être retenue par la législation en matière de contrôle variétal et les

diagrammes gliadines pourraient constituer un critère supplémentaire dans les fiches descriptives des blés.

Nous ne préconisons pas pour autant l'emploi exclusif de l'électrophorèse des gliadines car, si les résultats rapportés ici avaient pour objectif d'examiner les possibilités de la méthode jusqu'à leur limite extrême, on peut concevoir d'appliquer celle-ci en conjugaison avec d'autres tests. Ainsi, notamment dans les cas où les diagrammes forment un groupe non différenciable, on pourrait utiliser en second lieu, soit des tests classiques, soit encore une électrophorèse d'autres protéines ou enzymes spécifiques. Rappelons à cet égard qu'au sein du groupe de variétés déjà cité : « Capitoile » — « Moisson » — « Splendeur », « Capitoile » se distingue des deux autres par son zymogramme phosphatase, « Moisson » par sa peroxydase (KOBREHEL et FEILLET, 1974), « Splendeur » par sa β -amylase (JOURDRIER, 1974). Rien n'interdit donc dans l'avenir d'associer à la méthode actuellement décrite, de nouveaux tests dont certains, comme ceux fondés sur des réactions immunospécifiques, pourraient être extrêmement rapides.

On peut également reprocher à la technique d'électrophorèse des gliadines d'exiger la préparation quotidienne de gels d'amidon, dans des conditions que seuls des laboratoires de recherches peuvent actuellement offrir. Il serait donc intéressant d'y substituer une technique utilisant des supports d'électrophorèse plus maniables tels que le polyacrylamide ou l'acrylamide-agarose, plus compatibles avec les possibilités d'un laboratoire de contrôle. Malheureusement, les essais effectués dans le sens d'une telle vulgarisation de la technique n'ont pas permis, à ce jour, d'obtenir de façon reproductible, des résolutions aussi élevées qu'en gel d'amidon.

Sur un plan plus fondamental, on peut enfin s'interroger sur cette originalité de constitution observée chez les protéines de type gliadine. On sait, d'une part, qu'elles appartiennent à la catégorie des protéines de réserve du grain dont le rôle n'est, en principe, que de servir de nourriture à la plantule lors de la germination. Mais, d'autre part, on constate paradoxalement que leur hétérogénéité électrophorétique présente à la fois une grande complexité, une exceptionnelle variabilité au niveau variétal et une totale indépendance vis-à-vis des facteurs externes. Comment expliquer l'existence de telles propriétés chez une protéine synthétisée dans le grain à des fins de réserve ?

Selon les travaux les plus récents (MOSSÉ, 1973), il semblerait que ce soit précisément en raison de leur absence de rôle fonctionnel dans la plante que les composants de la gliadine apparaissent aussi diversifiés. En effet, contrairement à ce qui a lieu avec les protéines fonctionnelles de type enzyme ou histone, ou protéine ribosomale, la constitution des gliadines, synthétisées par la plante en quelque sorte en bout de chaîne, a certainement pu supporter un grand nombre de mutations non létales ce qui expliquerait la grande diversité observée pour les composants gliadines des blés actuels.

Parallèlement, en raison de cette relative absence de fonction vitale pour la plante, peut-être est-il permis de penser que la synthèse des gliadines n'est pas soumise à des contrôles aussi rigoureux que celle des protéines de type enzymatique. Contrairement à ces dernières, pour lesquelles la régulation des différentes voies de synthèse possibles peut parfois être influencée par les conditions de milieu, les gliadines présenteraient alors naturellement une remarquable stabilité de constitution.

SUMMARY

THE IDENTIFICATION OF WHEAT VARIETIES :
 THE DRAWING UP OF A GENERAL TABLE OF DETERMINATION BASED
 ON THE ELECTROPHORETIC DIAGRAM OF GRAIN GLIADINS

The electrophoretic heterogeneity of the gliadin fraction of wheat grain, in starch gel, shows a total independence of growing conditions and thus constitutes a varietal factor. The use of improved experimental conditions and an analysis limited to the significant differences alone permits the objective utilization of the qualitative and quantitative data of the diagrams obtained.

Thus, on the one hand, similarity indices are defined, the advantage of which is to quantify the analogy of varietal electrophoregrams and to show indirectly a form of genetic relationship between wheats. On the other hand, a general table of varietal identification is supplied, built up solely from the analysis of the electrophoretic diagrams of gliadins; With the exception of two groups of varieties that are genetically very close, all the wheats at present listed in the French Catalogue can thus be quickly and directly differentiated from grain or flour.

Finally, in addition to the new possibilities offered, in practice, to confirm the nature of a presumed variety or to identify an unknown batch of seeds, the method appears to constitute an original biochemical way of approaching various problems of genetics and plant breeding.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AUTRAN J.-C., 1973. L'identification des variétés de blés. *Bull. Anc. Élèves, École fr. Meunerie*, **256**, 163-169.
- AUTRAN J.-C., 1974. (Résultats non publiés).
- AUTRAN J.-C., BOURDET A., 1973. Nouvelles données permettant l'exploitation de l'hétérogénéité électrophorétique des gliadines du grain de Blé en vue d'une identification variétale. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **277**, Sér. D, 2081-2084.
- BOURDET A., FEILLET P., METTAVANT F., 1963. Sur le comportement électrophorétique des prolamines du Blé en gel d'amidon. *C. R. Acad. Sci., Paris*, **256**, Sér. D, 4517-4520.
- CHARBONNIER L., 1971. Fractionnement de l'oméga-gliadine sur sulfoéthylcellulose. *C. R. Acad. Sci., Paris*, **272**, Sér. C, 709-712.
- CHARBONNIER L., 1973. Étude des protéines alcool-solubles de la farine de Blé. *Biochimie*, **55**, 1217-1225.
- COULSON C. B., SIM A. K., 1961. Starch gel electrophoresis of isolated wheat gluten. *Biochem. J.*, **80**, 46-47.
- DEDIO W., KALTSIKES P. J., LARTER E. N., 1969. Numerical chemotaxonomy in the genus *Secale*. *Can. J. Bot.*, **47**, 1175-1180.
- DHESI N. S., DESORMEAUX R. W., PAUKSENS J., 1971. Laboratory techniques for distinguishing winter wheat cultivars. *Proc. Assoc. Off. Seed Anal.*, **61**, 91-98.
- DOEKES G. J., 1968. Comparison of wheat varieties by starch gel electrophoresis of their grain proteins. *J. Sci. Food. Agric.*, **19**, 169-176.
- DOEKES G. J., 1972. (Communication personnelle).
- ELLIS R. P., 1971. The identification of wheat varieties by the electrophoresis of grain proteins. *J. nat. Inst. agric. Bot.*, **12**, 223-235.
- ELTON G. A. M., EWART J. A. D., 1962. Starch gel electrophoresis of cereal proteins. *J. Sci. Food. Agric.*, **13**, 62-72.
- FEILLET P., 1965. Contribution à l'étude des protéines du Blé. Influence des facteurs génétiques, agronomiques et technologiques. *Ann. Technol. agric.*, **14**, HS 1, 1-94.
- FEILLET P., BOURDET A., 1967. Composition protéique et caractéristiques génétiques des Blés. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, **49**, 10, 1273-1283.
- FEILLET P., KOBREHEL H., 1972. Recherche et dosage des produits de Blé tendre dans les pâtes alimentaires par électrophorèse des protéines solubles. *Ann. Technol. agric.*, **21**, 1, 17-24.
- FLAKSBERGER, 1935. *Les blés. Monographie* (en russe) Moscou-Léningrad.
- FOUCHARD M., CHESNEAUX M. T., 1974. Identification des variétés de Blé au stade plantule à l'aide du fongicide Tridemorph. *C. R. Acad. Agric.*, **60**, 437-442.

- FRIEDBERG L., 1933. Essai de classification des blés d'après leur réaction à l'acide phénique. *Annales agron.*, **5**, 697-736.
- HUEBNER F. R., ROTHFUS J. A., 1968. Gliadin proteins from different varieties of wheats. *Cereal Chem.*, **45** (3), 242-253.
- JONARD P., 1951. *Les blés tendres cultivés en France*. I. N. R. A., Paris, 459 p.
- JOUDRIER P., 1972. Contribution à l'étude génétique de la β -amylase du grain de Blé. Thèse Univ., Paris XI, 106 p.
- JOUDRIER P., 1974. Spécificité génétique de la β -amylase chez *Triticum aestivum* : existence de cinq types variétaux de zymogrammes. *C. R. Acad. Sci.*, Paris, **278**, Sér. D, 1777-1780.
- JOUDRIER P., 1974. (Résultats non publiés).
- KOBREHEL K., FEILLET P., 1974. (Résultats non publiés).
- KOBREHEL K., GAUTIER M. F., 1974. Genetic variability in peroxidases composition in wheat. *Can. J. of Plant Sci.* (sous presse).
- KONAREV V. G., GUBAREVA N. K., GAVRILYUK I. P., 1970. Marqueurs protéiques des génomes de Blé et d'espèces sauvages apparentées. II. Analyse comparative des gliadines (en russe). *Vestn. Sel'skokhoz. Nauki* (Moscou), **15** (8), 109-114.
- LEE J. W., WRIGLEY C. W., 1963. The protein composition of gluten extracted from different wheats. *Aust. J. exp. Agric. Animal Husbandry*, **3** (9), 85-88.
- MOSSÉ J., 1973. (Communication personnelle).
- MOSSÉ J., 1974. Hétérogénéité et polymorphisme des protéines et isoenzymes végétales : Aspects moléculaires et évolutifs. *Physiol. vég.*, **11** (2), 361-384.
- OSBORNE T. B., 1907. *The proteins of wheat kernel*. Carnegie Institution of Washington. Pub. n° 84.
- PENCE J. W., WEINSTEIN N. E., MECHAM D. K., 1954. Differences in the distribution of components in albumen preparations from durum and common wheat flours. *Cereal Chem.*, **31**, 396-406.
- REBISCHUNG J., KARSKA K., 1952. Étude de la valeur systématique de quelques caractères observables sur le grain et les plantules de Blé tendre. *Ann. Amélior. Plantes*, **1**, 1-30.
- SILANO V., DE CILLIS U., POCCHIARI F., 1969. Varietal differences in albumin and globulin fractions of *Triticum aestivum* and *Triticum durum*. *J. Sci. Food. Agric.*, **20** (5), 260-261.
- SIMMONDS D. H., BOND E. E., GRAHAM D., LEE J. W., WRIGLEY C. W., McRITCHIE F., 1973. *Annual report of wheat Research Unit, C. S. I. R. O.*, 26 p.
- SOZINOV A. A., 1974. (Communication personnelle).
- SOZINOV A. A., POPERELLIA F. A., 1971. Emploi de l'électrophorèse verticale en gel d'amidon des protéines alcool-solubles de l'albumen, comme méthode d'étude des caractéristiques génétiques du Blé (en russe). *Dokl. Vses. Akad. Sel'skokhoz. Nauk.*, **2**, 9-11.
- SOZINOV A. A., POPERELLIA F. A., STAKANOVA A. I., 1973. Polymorphisme intervariétal des gliadines de quelques variétés de Blé (en russe). *Dokl. Vses. Akad. Sel'skokhoz. Nauk.*, **6**, 8-11.
- WOYCHICK J. H., BOUNDY J. A., DIMLER R. J., 1961. Starch gel electrophoresis of wheat gluten proteins with concentrated urea. *Arch. Biochem. Biophys.*, **94**, 477-482.
- WRIGLEY C. W., 1972. The biochemistry of the wheat protein complex and its genetic control. *Cereal Sci. To-day*, **12**, 370-375.
- WRIGLEY C. W., SHEPHERD K. W., 1973. Electrofocusing of grain proteins from wheat genotypes. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **209**, 154-162.

ANNEXE

CLÉ DE DÉTERMINATION DES VARIÉTÉS DE BLÉ TENDRE D'HIVER ET DE PRINTEMPS (P) DU CATALOGUE FRANÇAIS 1974
AU MOYEN DU DIAGRAMME ÉLECTROPHORÉTIQUE DES GLIADINES

■ *Présence (++) ou (+++) du composant 26 : Groupe A*

◆ *Présence (+) de 22 et absence de 21*

● *Présence du groupe caractéristique 22-26-30 : Type A 1*

Présence (+++) de 60 (accompagné du groupe 43-45-50)

Présence (++) ou (+++) de 74

Présence (++) de 98 « Gaillard »

Absence ou tr. de 98 « Étoile de Choisy »

Absence de 74 « Brennus »

Absence de 60

Présence de 37

Présence de 34 et 39 « Aronde » (P)

Absence de 34 et 39

Présence (+++) de 49 « Courtot »

Présence (+) de 49

Présence (+++) de 53 « Clément »

Traces de 53 « Manella »

Absence de 37

Présence de 41

Présence (++) de 93 et 98 « Markus »

Absence de 93 et 98

Présence (++) de 74 et absence de 34 « Asso »

Absence de 74 et tr. de 34 « Prieur »

Absence de 41	
Présence de 39	
Présence simultanée de 53 (tr. ou +) et de 56 (+ ou ++)	
(groupe des 20 variétés françaises à ω -gliadines identiques)	
Présence de 74	
Présence (++) ou (+++) de 81	
Présence (++) ou (+++) de 77	
Présence (++) de 85	« Joss »
Absence de 85	
Présence de 79	« Hardi »
Absence de 79	« Nicam »
Traces de 77	
Présence de 83	
Présence de 85	
Présence de 96	« Bicoop » (P)
Absence de 96	« Boulmiche »
Absence ou faibles tr. de 85	
Présence de 71	« Promesse »
Absence ou tr. de 71	
Présence (++) de 68 et absence de 85	« Noroit »
Présence (+ ou tr. de 68) et tr. de 85	« Top »
Absence de 83 et présence de 85	
Présence de 93	« Essor »
Absence de 93	« Rémois »
Absence ou tr. de 81	
Présence de 85 et absence de 83	« Vilmorin 53 »
Absence de 85 et présence de 83	
Présence (++) de 98	{ « Cappelle »
	{ « Ouest »
	{ « Trio »
Absence ou tr. de 98	« Wattines »

Absence de 74 (avec toujours présence de 91)	{ « Capitoile » « Ducat » « Moisson » « Splendeur »
Caractères différents (absence de l'un au moins des composants 53 et 56)	
Présence de 75	
Présence (+++) de 49	
Présence de 93	« Marne »
Absence de 93	« Heima »
Absence de 49	« Marly »
Absence de 75	
Présence (++) ou (+++) de 49	
Présence (+++) de 39	« Clédor »
Présence (+) ou tr. de 39	
Présence (++) de 43 et 83	« Bocquiau »
Absence ou tr. de 43 et 83	« Montjoie »
Absence ou tr. de 49	« Bizel »
Absence de 39	
Présence (+++) de 49	
Présence de 93	« Rex » (P)
Absence de 93	« Chrismar » (P)
Absence ou faible présence de 49	
Présence de 74	
Présence (++) de 85	« Maris Huntsman »
Absence ou tr. de 85	
Présence (+) de 93	« Atou »
Absence de 93	
Présence (+++) de 77 et (+ ou ++) de 79	« Flinor »
Présence (++) de 77 et (tr. ou +) de 79	
Présence (++) de 62	« Champlein »
Traces de 62	« Poncheau »

Absence de 74

Présence de 85 « Charles Péguy » (P)

Absence de 85 « Talent »

● *Présence du groupe 22-25-26-30 : Type A 2*

Présence (+++) de 68 et absence de 46 « Prestige »

Absence de 68 et présence (+) de 46 « Floress »

◆ *Absence de 22 et de 21*● *Présence du groupe 26-30 : Type A 3*

Présence de 33 « Atys » (P)

Absence de 33

Présence de 37

Présence de 46 « Sirius » (P)

Absence de 46 « Clairon » (P)

Absence de 37

Présence complète du groupe caractéristique 44 (+ ou tr.) — 46 (++) ou (+++) — 49 (+ ou tr.)

Présence (++) de 93 « Aquilon »

Absence ou tr. de 93

Présence (+++) de 71 « Élysée »

Absence de 71

Présence de 39 « Astral »

Absence de 39 « Comtal »

Absence totale ou partielle des composants du groupe 44-46-49

Présence (++) ou (+++) de 49

Présence (++) ou (+++) de 39

Présence (+++) de 96 « Magdaléna »

Présence (+) de 96 « Goya »

Absence ou tr. de 39 « Florence-Aurore » (P)

Absence ou tr. de 49 « Élite »

- *Présence du groupe 25-26-30 : Type A 4* « Heurtebise »
- ◆ *Présence de 21 et absence de 22 : Présence du groupe 21-25-26-28-30 : Type A 5* « Dragon »
- *Absence du composant 26. Présence du doublet 25-28 : Groupe B*
 - ◆ *Présence du groupe caractéristique 21-25-28 : Type B 1*
 - Présence (++) ou (+++) de 46
 - Présence (++) ou (+++) de 83
 - Présence (++) de 81
 - Présence de 39
 - Présence de 74 et 90 « Cadet »
 - Absence de 74 et 90 (présence de 72 et 91) « Panis »
 - Absence de 39 « Fournil »
 - Traces de 81
 - Présence de 53 et 56 « Primo »
 - Absence de 53 et 56 « Capta » (P)
 - Absence de 83 « Magali »
 - Absence ou tr. de 46
 - Présence (++) ou (+++) de 56 et (+) de 57
 - Présence de 39 « Huquin »
 - Absence de 39 « Capest »
 - Absence ou tr. de 56 et 57
 - Présence (++) ou (+++) de 34
 - Présence (++) de 45 « Mistral »
 - Absence ou tr. de 45
 - Présence (++) de 39 « Germinal » (P)
 - Absence de 39 « Étendard »
 - Traces de 34
 - Présence de 55 et absence de 93 « César » (P)
 - Absence de 55 et présence de 93 « Kolibri » (P)
 - ◆ *Présence du groupe 21-25-28-30 : Type B 2* (pour mémoire) : non représenté chez les blés français.