

# CONSEQUENCES DU FRACTIONNEMENT DU BLE DUR SUR LA CLARTE DES SEMOULES ET DES PATES ALIMENTAIRES

T.M. LASSERRE, P. FEILLET, J. ABECASSIS, M. CHAURAND, J-C. AUTRAN

*Rapport Final*

Convention de Recherches  
ONIC-INRA B 2448

Mai 2002

## Résumé

La couleur des pâtes alimentaires résulte de la superposition d'une composante jaune, recherchée, et d'une composante brune, indésirable. Alors que l'origine de la couleur jaune (pigments caroténoïdes) et son caractère essentiellement variétal sont bien connus, les bases moléculaires du brunissement (ou de son paramètre inverse, la « clarté » ou « luminance ») des pâtes alimentaires restent controversées, de même qu'on explique encore mal comment cette clarté est respectivement influencée par la variété de blé et les procédés de transformation en semoules puis en pâtes alimentaires.

Le présent programme s'inscrit dans une *démarche d'approche globale d'amélioration de la qualité des blés durs* en cherchant à préciser les conséquences du procédé de mouture des blés durs sur la clarté des semoules et des pâtes alimentaires. Il a été notamment engagé pour étudier les différents points suivants : (1) caractérisation de la clarté des semoules et des pâtes alimentaires en analysant la luminance des produits de mouture sur des disques de produit sec compressé et sur pâton ; (2) vérification de l'origine enzymatique des phénomènes de brunissement ; (3) dosage d'activités enzymatiques dans les semoules et les autres produits de mouture ; (4) recherche des relations entre la clarté, le taux de cendres et la teneur en protéines des semoules.

De l'analyse biochimique et colorimétrique d'échantillons de l'ensemble des produits de mouture (semoules, farines et issues), ainsi que des pâtes, préparés dans l'atelier pilote de l'INRA de Montpellier à partir de 4 variétés de blés durs cultivées selon diverses modalités d'apport azoté et d'irrigation, on a pu dégager les résultats suivants :

1. *La clarté des pâtes alimentaires dépendrait de deux phénomènes complémentaires et indépendants* pouvant être mesurés par deux indices calculés à partir de la valeur cumulée de la luminance des semoules en fonction du taux d'extraction des semoules :
  - $L_0$ , déterminée par extrapolation à 0 des valeurs de la courbe cumulée de luminance. C'est la clarté intrinsèque de l'albumen, caractéristique essentiellement variétale ;
  - $\Delta L/\Delta R$ , qui est la valeur de la pente de la perte de luminance cumulée en fonction de l'accroissement du taux d'extraction. Cette variable exprime le brunissement lié au taux d'extraction, elle subit l'influence de la variété, des conditions de culture et des conditions de mouture, et elle apparaît plus particulièrement liée au taux de cendres ;
2. Les différences de brunissement observées entre produits de mouture de blé dur *ne semblent pas pouvoir être attribuées à des activités enzymatiques* de type peroxydase ou polyphénoloxydase, car la luminance des produits n'apparaît influencée ni par la température ni par la durée de stockage des disques de pâte.
3. La teneur en protéines, le taux de cendres et la luminance *n'ont pas pu être complètement découplés* dans le cadre de cette étude. Il ressort cependant que la luminance intrinsèque de l'albumen ( $L_0$ ) est davantage influencée par la teneur en protéines alors que le brunissement lié au taux d'extraction ( $\Delta L/\Delta R$ ) est davantage relié au taux de cendres.

# CONSEQUENCES DU FRACTIONNEMENT DU BLE DUR SUR LA CLARTE DES SEMOULES ET DES PATES ALIMENTAIRES.

T.M. LASSERRE, FEILLET P., J. ABECASSIS, M. CHAURAND, J-C. AUTRAN

Unité de Technologie des Céréales et des Agropolymères

INRA-ENSAM, 2 place P. Viala, 34060 Montpellier Cedex 01

## **Introduction**

La qualité d'utilisation des blés durs résulte d'un grand nombre de facteurs, souvent interdépendants. Elle peut être considérée comme la somme de caractéristiques dont dépendent d'une part la valeur semoulière (aptitude à donner un rendement élevé en semoule de pureté déterminée) et d'autre part la valeur pastière (aptitude à donner des pâtes alimentaires dont la coloration et la qualité culinaire satisfont les attentes des consommateurs).

Au cours de ces vingt dernières années, la *valeur pastière* a fait l'objet de nombreuses recherches. Les bases physico-chimiques de la qualité culinaire ont été étudiées. Des méthodes ont été mises au point pour permettre aux sélectionneurs d'évaluer et d'améliorer la qualité des protéines du blé dur. L'amélioration de la *qualité culinaire* passera vraisemblablement par un accroissement de la teneur en protéines des blés durs sans détérioration de la qualité de celles-ci. Plus récemment, des travaux ont été engagés pour étudier les bases physico-chimiques de la *valeur semoulière*<sup>1</sup> afin de tenter d'améliorer la fractionnabilité des blés durs ainsi que le rendement en semoule. Par ailleurs, des recherches portant sur la coloration et plus particulièrement sur la *clarté* des semoules et des pâtes alimentaires ont fait l'objet d'importantes études dans le cadre du GIE Blé Dur.

Aujourd'hui, *une approche globale d'amélioration de la qualité des blés durs* nécessite la recherche de modalités permettant d'accroître simultanément la valeur semoulière des blés durs et leur teneur en protéines mais sans pénaliser la clarté des semoules obtenues.

Le présent programme s'est inscrit dans cette démarche en cherchant à préciser les conséquences du procédé de mouture des blés durs sur la clarté des semoules et des pâtes alimentaires. Plus précisément, le programme a été engagé pour étudier les différents points suivants :

- Caractérisation de la clarté des semoules et des pâtes alimentaires en analysant la luminance des produits de mouture sur des disques de produit sec compressé et sur pâton.
- Vérification de l'origine enzymatique des phénomènes de brunissement : effets de la température et de la durée du traitement sur la coloration des produits de mouture. Dosage d'activités enzymatiques dans les semoules et les autres produits de mouture.

---

<sup>1</sup> Ces travaux font l'objet de la convention principale de recherches de la thèse de M. Stéphane Peyron.

- Recherche des relations entre la clarté, le taux de cendres et la teneur en protéines des semoules.

L'un des intérêts de cette étude a été de réaliser l'ensemble des déterminations analytiques sur des produits préparés dans la semoulerie expérimentale de l'INRA dans le cadre de la thèse de M. Stéphane Peyron<sup>2</sup> de manière à pouvoir interpréter les résultats obtenus au travers d'autres caractéristiques des grains et en particulier la friabilité de la couche à aleurone et sa séparabilité avec les autres couches histologiques.

### **Rappels bibliographiques sur la coloration des pâtes alimentaires**

Produits faciles à fabriquer, à transporter et à stocker, les pâtes alimentaires constituent l'un des aliments les plus consommés en Italie, en France et dans les autres pays européens en raison de leur valeur nutritionnelle et de leur qualité hygiénique. Le consommateur français est attiré par des pâtes présentant un aspect homogène, sans piqûre et de couleur jaune ambrée.

En effet, le problème de la coloration des pâtes alimentaires retient depuis longtemps l'attention des spécialistes et a été l'objet de nombreuses études. La couleur des pâtes alimentaires résulte de la superposition d'une composante jaune, recherchée, et d'une composante brune, indésirable. Le brunissement des pâtes pourrait être la somme du brunissement intrinsèque de l'albumen, des produits de réactions enzymatiques (activité des polyphénoloxydases) dont l'intensité dépend du degré de purification des semoules et du développement de réaction de Maillard pouvant se produire lorsque des températures élevées de séchage sont utilisées (Feillet *et al.*, 2000).

Les bases moléculaires du brunissement des pâtes alimentaires avaient déjà été étudiées par Matsuo et Irvine (1967). Selon ces auteurs, le brunissement serait dû à la présence dans l'albumen d'une protéine cuivrique dont la teneur pourrait être appréciée en mesurant l'absorption à 400 nm d'un extrait aqueux de semoule. Par contre, selon Kobrehel *et al.* (1972), la principale source de variation de l'indice de brun des variétés de blé dur est l'activité peroxydasique des semoules.

Alors que la couleur jaune des pâtes est indépendante du taux d'extraction des semoules, la couleur brune est d'autant plus marquée que la teneur en matières minérales des produits de mouture est élevée (Irvine et Anderson, 1952 ; Houliaropoulos *et al.*, 1981). Le degré de purification des semoules, apprécié par la teneur en matières minérales exerce un effet prononcé sur le brunissement : plus la semoule est contaminée par les parties périphériques du grain, plus les pâtes correspondantes sont brunes (Feillet et Dexter, 1996). La relation entre le brunissement et la teneur en matière minérale s'explique par le fait que les semoules provenant des régions externes de l'albumen comportent des débris des parties périphériques (semoule vêtue) constituées de son et, le plus souvent, d'assise protéique caractérisée par une teneur en matière minérale élevée. Un certain pourcentage de germes contamine également toutes les semoules (Matveef, 1963).

Les travaux réalisés à la fin des années 60 montrent toutefois que le brunissement reste une caractéristique variétale des blés durs mis en œuvre (Matsuo et Irvine, 1967) et que les

---

<sup>2</sup> S. PEYRON 2002 : Bases physico-chimiques et structurales de l'aptitude au fractionnement du grain de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de Doctorat en Sciences des Aliments, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier, 127 p.

variétés de type méditerranéen possèdent des indices de brun très supérieurs à ceux des variétés d'origine nord américaine telle que Lakota et Wells (Grignac, 1970). Pour des échantillons issus de la même variété, le brunissement est cependant d'autant plus important que la teneur en protéine du grain est élevée (Alause et Feillet, 1970 ; Grignac, 1970).

Il est montré, d'autre part, que l'intensité du « brunissement enzymatique » des pâtes de farine de blé tendre peut être en partie liée à l'activité en polyphénoloxydase (PPO) des produits de mouture (Kim *et al.*, 1991), phénomène que l'on peut expliquer par l'effet « brunissant » des PPO, bien connu chez divers végétaux tels que la pomme ou la banane, et également rapporté chez le blé tendre (Abrol et Uprety, 1970).

Des travaux portant sur l'influence des conditions de fabrication des pâtes alimentaires ont également montré que le niveau d'hydratation et la température de séchage étaient favorables au développement d'activités polyphénoloxydasiques. Feillet *et al.* (1974) montrent l'existence d'une corrélation hautement significative entre l'indice de brun potentiel d'une semoule et le logarithme de son activité peroxydasique ou polyphénoloxydasique (cette dernière étant proportionnelle à la première), confirmant l'hypothèse de Abrol et Uprety (1970), sur le rôle important de ces enzymes dans le brunissement des pâtes alimentaires.

Cette analyse de la littérature montre donc que la clarté des pâtes alimentaires pourrait être la résultante de deux phénomènes : d'une part, de la luminance propre de l'albumen des grains et d'autre part de l'oxydation de composés phénoliques par des enzymes au cours de la pastification. C'est cette hypothèse que nous avons plus particulièrement étudiée au cours de ce travail en cherchant à préciser la valeur de la luminance des produits de mouture de blé dur et à déterminer si les différences observées entre les produits pouvaient s'expliquer par des différences d'activités enzymatiques.

## **Résultats**

### **Évolution comparée de la luminance des produits de mouture**

La luminance des produits de mouture a été mesurée soit sur disques de pâtes (hydratation, malaxage, laminage et compression) soit sur produits secs après avoir simplement comprimé à sec les produits avant analyse. Les résultats analytiques concernant 4 variétés de la récolte 2000 sont regroupés dans le tableau 1.

On observe que les valeurs de luminance des disques de pâte sont toujours inférieures à celle des disques de produits comprimés. En outre, il n'apparaît pas de corrélation significative entre ces deux séries de valeurs, que l'on considère l'ensemble des données ou que l'on analyse les valeurs au sein d'une même variété.

En ce qui concerne les disques de pâte, on observe que la valeur L des semoules est d'une manière générale supérieure à celle des farines, en particulier lorsqu'on compare des produits de même origine histologique comme, par exemple, les semoules S4 avec les farines correspondantes de broyage (FB3) et de désagrèage (FD3).

Par ailleurs, il existe des différences importantes de luminance entre les mêmes produits issus de variétés différentes. L'écart entre les valeurs extrêmes de luminance des semoules totales

(ST) atteint 6.4 : la luminance d'Ardente, semoule foncée, est égale à 59.2 ; celle de Lloyd, semoule très claire, est égale à 65.6.

On observe des écarts de Luminance de plus de 10 points entre les fractions de mouture. Hormis les sons et remoulages, les farines extraites en tête de broyage (FB2) présentent la Luminance la moins élevée parmi les produits de mouture. A même degré d'extraction, les farines de broyage sont en règle générale plus sombres que les farines de désagrégage, elles-mêmes plus sombres que les semoules correspondantes. Hormis la valeur atypique des farines issues des premiers passages de broyage, on observe que la luminance dépend du degré de purification des semoules : plus la semoule est contaminée par les parties périphériques du grain, plus la luminance des pâtes correspondantes est faible : par exemple, la luminance de S3 (semoule de grande pureté) est supérieure à celle de la semoule S5 dont on sait qu'elle est contaminée par les parties périphériques du grain.

Par ailleurs, l'additivité du caractère « luminance des disques de pâte » est vérifiée. Lorsque des mélanges sont réalisés avec les produits de passage, il est possible de déterminer par le calcul la luminance de mélanges. Il a ainsi été possible de prédire à partir des valeurs individuelles des semoules de passage, la valeur de la semoule totale. Pour les 4 variétés considérées, les valeurs calculées de la luminance de la semoule totale sont comparables à celles mesurées directement sur cette semoule comme le montre le tableau ci-dessous :

#### **Luminance de la Semoule Totale (Disques de Pâte)**

	Ardente	Primadur	Duriac	Lloyd
Valeur mesurée	59.2	62.0	61.0	65.6
Valeur calculée	60.3	61.7	60.5	65.5

Les résultats obtenus à partir des produits secs compressés ne sont pas aussi bien structurés. En effet, les différences entre semoules et farines sont moins marquées et souvent les valeurs de luminance obtenues par les farines sont supérieures à celles mesurées sur les semoules de même origine histologique. Néanmoins, on observe toujours des différences variétales et le même classement entre les semoules totales que celui obtenu en analysant les disques de pâte. Toutefois, l'additivité des valeurs de luminance des produits secs n'apparaît pas aussi bien respectée puisque des écarts supérieurs à 2 points peuvent être observés entre la somme pondérée des valeurs des semoules de passage et la valeur mesurée sur la semoule totale.

#### **Luminance de la Semoule Totale (Produits Compressés)**

	Ardente	Primadur	Duriac	Lloyd
Valeur mesurée	83.8	84.9	84.7	86.3
Valeur calculée	81.5	83.7	82.3	84.1

En fait, il semble que l'analyse de la luminance sur produits secs compressés (et *a fortiori* sur les produits tel quels) ne doive être réservée qu'à des produits de granulométrie comparable. Même après compression des produits, les différences granulométriques subsistent et viennent fortement influencer les valeurs mesurées. La figure 1 présente une comparaison entre les valeurs de luminance des semoules totales obtenues sur disques de pâtes et sur produits secs. En dépit d'une relation globale très générale, le coefficient de détermination reste faible. En outre, compte tenu de l'influence probable de nombreux facteurs, il est difficile de vouloir

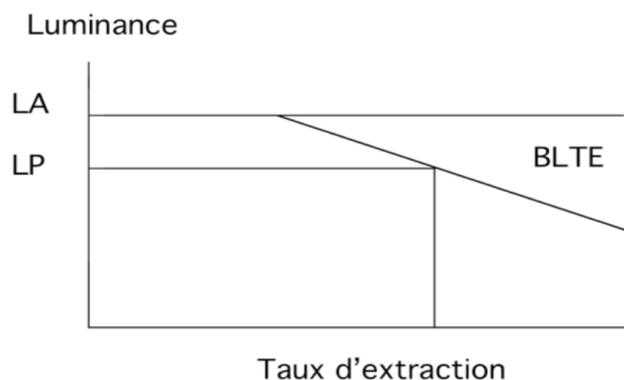
affirmer que la couleur des produits secs ne relèverait que d'un brunissement intrinsèque de l'albumen alors que l'introduction d'eau impliquerait une activité enzymatique.

### Analyse et interprétation des courbes de Luminance

Une analyse plus fine des résultats obtenus sur les produits de passage a été entreprise pour tenter de faire la part entre le brunissement intrinsèque de l'albumen et le brunissement lié à l'accroissement du taux d'extraction.

Le schéma ci-dessous illustre l'hypothèse avancée dans ce travail : la Luminance des pâtes alimentaires (LP) résulterait de deux phénomènes complémentaires et indépendants :

- La Luminance intrinsèque de l'albumen (LA) qui serait essentiellement une caractéristique variétale mais également influencée par les conditions de développement de la plante ;
- La Luminance liée au taux d'extraction des semoules (LBTE) qui résulterait de l'oxydation de composés phénoliques par des enzymes endogènes du blé se produisant au cours de la fabrication des pâtes alimentaires.



LP : Luminance de la Pâte = LA + LBTE  
 LA : Luminance de l'Albumen  
 (pigments endogènes)  
 BLTE : Brunissement Lié au Taux d'Extraction  
 (activités enzymatiques + friabilité)

La clarté intrinsèque de l'albumen interviendrait presque exclusivement lorsque les pâtes sont fabriquées à partir de semoules issues des couches les plus internes du grain. Alors que l'impact du deuxième phénomène surviendrait avec d'autant plus d'importance que les semoules sont contaminées par les parties périphériques du grain. Le brunissement enzymatique provoqué par la contamination des semoules par les parties périphériques des grains pourrait alors être plus ou moins sévère suivant l'importance des activités enzymatiques des blés durs et de la friabilité des enveloppes.

En raison de la très bonne additivité des valeurs de luminance mesurées sur disques de pâte des produits de mouture, il est possible d'établir une courbe cumulée des valeurs de Luminance des semoules en fonction du taux d'extraction. Une telle courbe est représentée sur la figure 2. A partir des valeurs des courbes cumulées de Luminance, il est possible d'extraire plusieurs grandeurs significatives :

- **R** : Correspond à la valeur du rendement cumulé à partir duquel on observe une rupture brutale de la pente rendant compte de l'évolution de L en fonction du rendement. Dans nos conditions expérimentales, cette valeur correspond au rendement en semoule totale.
- **L<sub>0</sub>** : est la valeur de la Luminance correspondant à un rendement théorique égal à 0 (extrapolation à 0 des valeurs de la courbe cumulée de Luminance en fonction du taux d'extraction). Par définition cette valeur correspond à la Luminance intrinsèque de l'albumen (LA).
- **$\Delta L/\Delta R$**  : est la valeur de la pente de la perte de Luminance cumulée en fonction de l'accroissement du taux d'extraction. Cette grandeur est calculée à partir des valeurs de Luminance pour un rendement égale à 0 et à R. Cette valeur exprime le brunissement lié au taux d'extraction (BLTE).

Les indices  $L_0$  et  $\Delta L/\Delta R$  ont été calculés à partir des valeurs obtenues sur les semoules de passage de différents lots de blé dur examinés au cours de cette étude. Les résultats sont regroupés dans le Tableau 2. L'analyse de ces résultats fait ressortir une large variabilité des indices de Luminance :  $L_0$  qui mesure la luminance intrinsèque de l'albumen varie entre 64.1 (Duriac) et 68.6 (Primadur) alors que  $\Delta L/\Delta R$  qui mesure la perte de luminance liée au taux d'extraction varie de - 3.5 (Auroc) à - 6.7 (Ardente). Ces deux indices apparaissent totalement indépendants l'un de l'autre indiquant probablement une origine indépendante pour ces deux phénomènes. Même si des différences significatives apparaissent en fonction de l'origine variétale, le nombre de lots examinés ne permet pas de conclure sur cet effet compte tenu de la variabilité liée aux lieux et aux conditions de culture. En revanche, il a été possible en regroupant les variétés de mettre en évidence des effets liés aux conditions de culture. La [Figure 3](#) montre l'influence l'apport azoté sur la valeur de l'indice  $L_0$ . Les 6 variétés cultivées sur un même lieu de culture, avec deux apports azotés différents (X et Y UA) font apparaître une diminution sensible de la valeur de  $L_0$  avec l'augmentation de l'apport azoté. Cette diminution est en moyenne égale à 3.3 points de Luminance entre les deux apports azoté. Ces résultats apparaissent en accord avec les données de la bibliographie indiquant un accroissement de l'indice de brun avec l'augmentation de la teneur en protéines des blés durs (Alause et Feillet, 1970 ; Grignac, 1970). La [Figure 4](#) montre l'effet de l'irrigation sur l'indice  $\Delta L/\Delta R$ . pour 4 variétés placées dans les mêmes conditions de culture. Trois variétés (Acalou, Duriac et Nefer) montrent un accroissement de la valeur de cet indice (+ 1.5 en moyenne) alors que dans le cas d'Excalibur on n'observe pas de différence significative. L'effet négatif de l'irrigation apparaît surprenant. En effet, l'irrigation permet d'éviter les risques d'échaudage du grain et devrait donc entraîner une diminution de la présence de piqûres dans les semoules. L'analyse des caractéristiques des grains montre en fait que les lots d'Acalou et de Duriac sont faiblement affectés par les conditions agronomiques en « sec » (Masse à l'hectolitre > 81 ; Masse de 1000 grains > 40 g m.s.). En revanche, Excalibur et surtout Nefer sont davantage sensibles à l'échaudage. Le comportement des deux variétés est sensiblement différent puisque si l'indice  $\Delta L/\Delta R$  reste égal entre les deux modalités agronomiques dans le cas d'Excalibur (compensation des effets), en revanche, dans le cas de Nefer, malgré une nette amélioration de la masse à l'hectolitre (de 76.5 à 83.7) et de la masse de 1000 grains (de 31.6 à 45.7), on observe un accroissement du brunissement en fonction du taux d'extraction en passant de la modalité « sec » à « irrigué ».

## Relations entre la luminance des disques de pâte et l'activité peroxydasique des produits de mouture du blé dur

Depuis les travaux de Kobrehel *et al.*, (1972) l'hypothèse la plus couramment admise concernant le brunissement des pâtes alimentaires est que ce phénomène serait principalement dû à l'activité des peroxydases (POD) et des polyphénoloxydases (PPO) présentes dans les couches périphériques des grains. L'activité peroxydasique des produits de mouture a été étudiée sur la variété Ardente, considérée comme l'une des variétés les plus brunissantes. Les résultats d'activité enzymatique obtenus à partir des extraits aqueux des passages de mouture sont présentés dans le Tableau 3 (Kerhaili, 1999).

L'activité peroxydasique des produits de mouture varie dans de larges limites et apparaît fortement influencée par l'origine histologique de la fraction considérée. Les semoules et les farines centrales possèdent des activités POD plus faibles que celles obtenues avec les fractions périphériques. Cependant, il n'apparaît pas de différences significatives entre les valeurs mesurées sur semoule et sur farine alors qu'il existe d'importantes différences entre les valeurs de luminance entre ces deux types de produit de mouture. Dans ces conditions, on observe une absence de corrélation ( $R = -0.13$ ) au sein des produits de mouture entre l'activité POD et la luminance des disques de pâtes.

Afin de préciser l'éventuelle origine enzymatique du brunissement des produits de passage, on a considéré l'hypothèse que si le brunissement se développait sous l'effet d'activités enzymatiques, celui-ci serait d'autant plus important que la température et la durée de repos augmenteraient. On a donc étudié l'influence de la durée (20 à 120 min) et de la température (20 à 60° C) sur l'évolution de la luminance de 3 produits de passage : La semoule S3 issue du cœur de l'albumen et à faible activité enzymatique et deux farines (FD3 et FB3) en provenance de l'albumen intermédiaire, à activité POD suffisamment élevée pour mesurer une cinétique de brunissement liée à des activités enzymatiques. Ces essais ont été réalisés sur 4 variétés de blé dur : Ardente, Primadur, Duriau et Lloyd. Les résultats sont présentés dans le Tableau 4.

On observe que les conditions de repos des disques sont sans influence sur les valeurs de la luminance aussi bien pour les produits issus du cœur de l'albumen (S3) que des farines plus périphériques entrant dans la composition du Gruau D. On note en particulier une corrélation égale à 0.98 entre la luminance mesurée immédiatement sur les disques avant repos et la moyenne des luminances des produits stockés dans les différentes conditions décrites précédemment. Ces résultats sont en bon accord avec ceux obtenus précédemment par Alause et Feillet (1970), et Laignelet et Redon (1977).

Une série d'expériences complémentaires a été effectuée pour chercher à préciser une influence d'origine enzymatique du brunissement des semoules. On sait que l'activité polyphénoloxydasique provoque la catalyse oxydative des mono- et des di-phénols en *ortho*-quinones et que celles-ci, dans une deuxième étape, se polymérisent en des constituants colorés en brun, les mélanines. Or, l'acide ascorbique et la cystéine sont capables de bloquer la transformation des *ortho*-quinones en mélanine et donc d'empêcher la formation de produits colorés en brun d'origine enzymatique.

On a donc utilisé une solution de cystéine (3 g/100 ml) et d'acide ascorbique pour hydrater les produits de passage (S3, FB3 et FD3) avant pétrissage et formation des disques de pâte. Ces essais ont été faits pour chacune des 4 variétés de blé dur Lloyd, Primadur, Ardente et Duriau.

Les résultats des effets de la cystéine sur la luminance des disques de pâte sont présentés dans la Figure 5.

On observe que les valeurs de Luminance varient dans de larges limites en fonction de l'origine histologique des passages de mouture et de l'origine génétique des variétés considérées. Toutefois, l'ajout de cystéine (comme d'acide ascorbique) n'entraîne qu'une légère diminution des valeurs de l. Cette baisse apparaît uniforme (- 2.5 points) quel que soit le type de produit de mouture considéré. Il en résulte que les luminances des disques de pâtes fabriqués avec ou sans cystéine (ou acide ascorbique) sont fortement corrélées ( $R = 0,98$ ).

Considérant l'ensemble des résultats obtenus, on est alors amené à penser que les différences de brunissement observées entre sur les produits de mouture ne sont pas d'origine enzymatique et que ni l'activité peroxydasique, ni l'activité polyphénoloxydasique n'intervient dans ce mécanisme.

### **Relations entre la luminance des pâtes et la teneur en matières minérales des produits**

Même si le taux de cendres des semoules dépend pour une large part de la minéralisation des blés mis en œuvre (Feillet et Abecassis, 1976), on considère que le degré de purification des semoules peut être apprécié par leur teneur en matières minérales. L'analyse de la teneur en matières minérales des produits de mouture, conjointement aux mesures de leur luminance, montrent l'existence de corrélations significatives entre ces deux paramètres, quelle que soit la variété considérée. La Figure 6 montre la relation entre la luminance et le taux de cendres des semoules de passage. Si le coefficient de détermination pour l'ensemble des semoules, quelle que soit leur origine, n'est que moyen ( $R^2 = 0.55$ ), les valeurs de ce coefficient augmentent significativement dès lors que l'on considère les fractions de mouture issues d'un même blé ( $R^2$  moyen = 0.71).

Par ailleurs, on observe une progression parallèle de la luminance et du taux de cendres avec l'avancement de la mouture : les semoules S1 et S3, issues des parties les plus internes de l'albumen, possèdent la clarté la plus élevée et sont moins minéralisées que les semoules S2 et S4, elles-mêmes moins minéralisées que les semoules périphériques S5 et S6 qui présentent la luminance la moins élevée. Ces résultats sont en bon accord avec ceux obtenus par de nombreux auteurs : Irvine et Anderson (1952), Feillet et Dexter (1996) ou encore Feillet *et al.* (2000). Laignelet *et al.* (1972) avaient eux aussi montré que le taux d'extraction a une influence directe sur la coloration des semoules et que celles-ci sont d'autant plus belles que le taux d'extraction est faible. En outre, comme pour la luminance, la teneur en matières minérales des semoules est sensiblement différente de celle mesurée sur les farines de broyage et de désagrègation. Ces résultats sont en bon accord avec ceux obtenus par Houliaropoulos *et al.* (1981) qui concluaient que la luminance mesurée sur disques de pâte était fortement influencée par l'origine histologique des produits et corrélée à la teneur en matières minérales et pouvait donc, de ce fait, être considérée comme un bon marqueur du taux d'extraction.

Enfin, il est intéressant de noter que de manière systématique, pour toutes les variétés examinées, la première fraction de farine (FB2) présente une luminance légèrement plus faible que celle que pourrait laisser prévoir sa teneur en matières minérales. Cette faible valeur de luminance peut s'expliquer par le fait qu'il s'agit de produits qui peuvent être

contaminés par les poussières présentes dans le sillon du grain et qui n'ont pu être enlevées au cours des opérations de nettoyage.

Une analyse des données complémentaire a été engagée afin de chercher à mettre en évidence les relations entre le brunissement et le taux de cendres des semoules. La teneur en matières minérales des semoules du cœur de l'albumen (S3) n'apparaît pas reliée à l'apport azoté. En revanche, elle semble dépendre des conditions hydriques en culture ainsi que de l'origine variétale. Le passage de conditions de culture en milieu « sec » à des conditions avec irrigation permet d'abaisser la teneur en matières minérales des semoules centrales de 0.70 à 0.63 % m.s. Par ailleurs, on note une variabilité importante de la répartition des matières minérales dans les produits de mouture en fonction du génotype (ou de l'interaction génotype-milieu). Dans les conditions expérimentales retenues, des variétés comme Acalou et Auroc présentent une faible teneur en matières minérales des semoules provenant du cœur de l'albumen (0.61% m.s.), alors qu'une variété comme Nefer apparaît davantage minéralisée (0.75% m.s.). De même, l'accroissement du taux de cendres des semoules en fonction du taux d'extraction varie de manière sensible suivant les variétés. Certaines comme Auroc et Excalibur présentent un plus faible accroissement du taux de cendres avec l'augmentation du taux d'extraction.

Les indices de luminance  $L_0$  et  $\Delta L/\Delta R$  n'apparaissent pas fortement corrélés aux variations du taux de cendres. Néanmoins, on observe quelques corrélations significatives ( $r = 0.50$ ) entre la perte de Luminance en fonction du taux d'extraction ( $\Delta L/\Delta R$ ) et le taux de cendres des semoules ainsi qu'entre la perte de luminance et la vitesse d'accroissement du taux de cendres des semoules avec la mouture. En fait, ces corrélations indiquent que la perte de luminance ( $\Delta L/\Delta R$ ) est d'autant plus élevée que l'accroissement du taux de cendres en fonction du taux d'extraction des semoules est lui-même plus élevé. Toutefois, il n'est pas possible de conclure si le brunissement dépend d'un gradient de répartition ou plutôt d'une plus ou moins grande friabilité des enveloppes du grain.

## **Conclusions**

Cette étude a été entreprise en vue de préciser les conséquences du fractionnement du blé dur sur la clarté des semoules et des pâtes alimentaires. Plusieurs conclusions se dégagent à l'issue de ce travail :

1. La clarté des pâtes alimentaires dépendrait de deux phénomènes complémentaires et indépendants pouvant être mesurés par deux indices calculés à partir de la valeur cumulée de la Luminance des semoules en fonction du taux d'extraction des semoules :
  - $L_0$  : déterminée par extrapolation à 0 des valeurs de la courbe cumulée de luminance. Cette valeur qui correspond à la clarté intrinsèque de l'albumen est une caractéristique variétale, mais elle est également influencée par les conditions de développement de la plante et plus particulièrement par l'apport azoté qui a pour effet de diminuer cette valeur ;
  - $\Delta L/\Delta R$  : représente la valeur de la pente de la perte de luminance cumulée en fonction de l'accroissement du taux d'extraction. Cette valeur exprime le brunissement lié au taux d'extraction. La variation de cette grandeur est polyfactorielle (variété, conditions de culture, conditions de mouture) et apparaît liée au taux de cendres ;

2. Les différences de brunissement observées entre produits de mouture de blé dur ne semblent pas pouvoir être attribuées à des activités enzymatiques de type peroxydase ou polyphénoloxydase. En effet, les valeurs de luminance mesurées sur les semoules se distinguent nettement de celles déterminées sur les farines correspondantes alors que ces produits présentent des activités peroxydasiques équivalentes. De plus, la luminance des produits n'apparaît influencée ni par la température ni par la durée de stockage des disques de pâte. De même, l'utilisation d'agents bloquants les réactions de brunissement enzymatique (cystéine et acide ascorbique) ne modifient pas la luminance des produits finis.
3. La teneur en protéines, le taux de cendres et la luminance n'ont pas pu être complètement découplés dans le cadre de cette étude. Toutefois, il ressort que la luminance intrinsèque de l'albumen ( $L_0$ ) est davantage influencée par la teneur en protéines alors que le brunissement lié au taux d'extraction ( $\Delta L/\Delta R$ ) est davantage relié au taux de cendres.

Des travaux complémentaires devront être entrepris dans plusieurs directions pour tenter d'expliquer l'origine des différences de luminance observées. Il n'est pas impossible que les différences de clarté intrinsèque des semoules soient à rechercher au cours de la formation du grain, de son remplissage et de sa dessiccation. Par ailleurs, l'absence de relation entre activité enzymatique et brunissement relance l'intérêt pour des études d'identification et de localisation du ou des constituants impliqués dans le brunissement des produits de mouture du blé dur. Enfin, si l'on considère que la luminance des semoules relève pour une large part de leur contamination par les parties périphériques du grain au cours de la mouture, la poursuite des travaux relatifs à la friabilité des enveloppes dont il vient d'être mis en évidence la variabilité génotypique<sup>3</sup>, devrait permettre à terme de limiter le brunissement des semoules et d'améliorer la valeur semoulière des blés durs.

---

<sup>3</sup> PEYRON S. 2002. Bases physico-chimiques et structurales de l'aptitude au fractionnement du grain de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de Doctorat en Sciences des Aliments, Agro Montpellier, 30 Janvier, 127 p.

## BIBLIOGRAPHIE

- ABROL Y.P., UPRETY D.C. 1970. Studies on darkening of whole wheat dough. *Current Science*, **40**, 421-422.
- ALAUSE J. e FEILLET P. 1970. Metodo semplice ed obiettivo per la previsione del colore delle paste alimentari. *Tecnica Molitoria*, **21**, 511-517.
- FEILLET P. et ABECASSIS J. 1976. La valeur d'utilisation des blés durs. *Semaine internationale de Céréaliculture de Gembloux*, Septembre, pp. 551-560.
- FEILLET P. and DEXTER J.E. 1996. Quality requirements of durum wheat for semolina milling and pasta production. In: *Monograph on Pasta and Noodle Technology* (J.E. Kruger, R.R. Matsuo and J.W. Dick, eds.), A.A.C.C., St Paul, MN, USA, pp. 95-131.
- FEILLET P., ICARD-VERNIERE C. and AUTRAN J.-C. 2000. Critical review. Pasta brownness: an assessment. *J. Cereal Sci.*, **32** (3), 215-233.
- FEILLET P., JEANJEAN M.F., KOBREHEL K. et LAIGNELET B. 1974. Le brunissement des pâtes alimentaires. *Bulletin E.F.M.*, **262**, 190-194.
- GRIGNAC P. 1970. Improvement in the quality of durum wheat varieties. *Ann. Amélior. Plantes*, **20** (2), 159-188.
- HOULIAROPOULOS E., ABECASSIS J. et AUTRAN J.C. 1981. Produits de mouture du blé dur : coloration et caractéristiques culinaires. *Industries des Céréales*, **12**, 3-13.
- KERHAILI Y. 2000. Étude comparée des produits de mouture du blé dur : Effets sur la luminance des pâtes alimentaires. *Rapport de stage de DEA de Sciences des Aliments*, Université de Montpellier 2, 25p.
- KIM W., SEIB P.A. and CHUNG O.K. 1991. Origin of color in vital wheat gluten. *Cereal Foods World*, **36** (11), 954-959.
- KOBREHEL K., LAIGNELET B. and FEILLET P. 1972. Relations entre les activités peroxydasiques et polyphénoloxydasiques et le brunissement des pâtes alimentaires. *C. R. Acad. Agric.*, 1099-1106.
- LAIGNELET B., KOBREHEL K. et FEILLET P. 1972. Le problème de la coloration des pâtes alimentaires. *Ind. Alim. Agric.*, **89**, 413-427.
- LAIGNELET B. et REDON C. 1977. Obtention de produits nouveaux à partir des produits de mouture du blé dur. Emploi de technologies nouvelles et d'ajouts protéiques. *C.R. fin contrat. Action concertée : Technologies Alimentaires et Agricole*. Décembre, Avenant au Contrat 74.7.909 - 74.7.910 D.G.R.S.T.
- MATSUO R.R. and IRVINE G.N. 1967. Macaroni brownness. *Cereal Chem.*, **44**, 78.
- MATVEEF M., Recherche sur les blés durs germés du point de vue de leur utilisation dans l'industrie. *Bulletin E.F.M.*, **198**, 307-311.