



Mise au point d'une méthode simple de mesure de dureté du blé

Approche de classification de variétés anciennes et modernes

Avant Propos

Cette étude proposée par l'association Triptolème, membre du Réseau Semences Paysannes), a été réalisée en 2016 par les étudiants de l'école d'ingénieurs « Polytech Paris-UPMC », Lola Boulanger, Alexandre Fernandes, Sabine Milan et Manon Ravaux, encadrés par Philippe Roussel (Triptolème), Mathilde Courel et Jérôme Lamoine (enseignants Polytech). Elle s'inscrit dans une démarche de l'association de caractérisation des variétés dites paysannes (anciennes et/ou non inscrites au catalogue officiel des variétés) et des variétés de population, mises en culture par les « paysans-boulangers » dans une approche de maintien de la biodiversité.

Sommaire

1. Introduction

2. Matériels et méthodes

2.1. Méthodes de caractérisation de la dureté du blé

- **Méthode PSI (Particular Size Index)**
- **Méthode de la pince à dureté**
- **Méthode Schleuniger**

2.2. Matériels et méthodes de l'étude

- **Broyage**
- **Tamisage**
- **La mouture au moulin Chopin-Dubois**
- **Caractérisation granulométrique au granulomètre Laser « Mastersizer 2000 »**

2.3. Caractérisation des variétés de blé retenues pour l'étude

3. Détermination d'une méthode simple de mesure de dureté

- 3.1. Influence du type de broyeur
- 3.2. Influence de l'humidification
- 3.3. Proposition d'une méthode simple de mesure de dureté

4. Approche de classification de variétés anciennes et modernes

- **Détermination d'une échelle de classification de la dureté**

5. Conclusion

Bibliographie

1. Introduction

La dureté est un indicateur de résistance du blé lors des opérations de mouture pour la production de farine. On définira la mouture comme une réduction dimensionnelle sous l'effet de forces de cisaillement et de compression. Il a été montré (Triptolème, 2016) que les blés « soft » (albumen tendre) par rapport aux blés hard (albumen dur ou résistant) présentent, en granulométrie laser, une répartition des particules de type bimodale à savoir une population de très fines particules distincte d'une population plus grosse (figure 7). Les blés « hard » présentant un profil monomodal avec une répartition d'apparence de courbe de Gauss autour d'une dimension moyenne en lien avec l'écartement moyen des meules ou des cylindres utilisés en mouture. La dureté de l'albumen du grain de blé s'explique principalement par les liaisons entre les grains d'amidon assurés par les protéines, celle-ci augmente avec la teneur en protéines et la spécificité de certaines protéines plus cohésives (Figure 1). Si la dureté est un facteur prédictif de la grosseur moyenne des particules, les sollicitations mécaniques impactent aussi la manière dont le grain va se fragmenter.

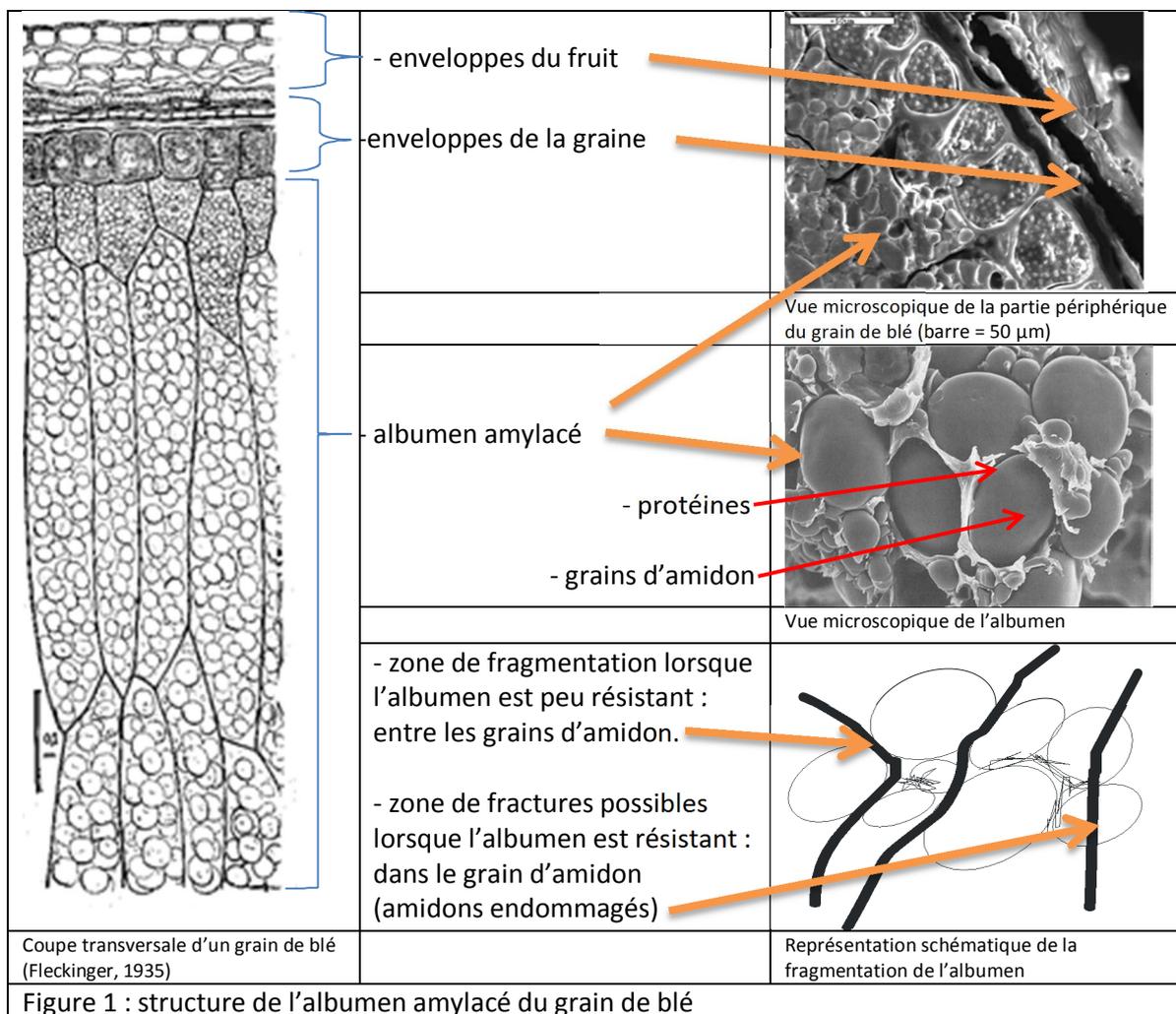
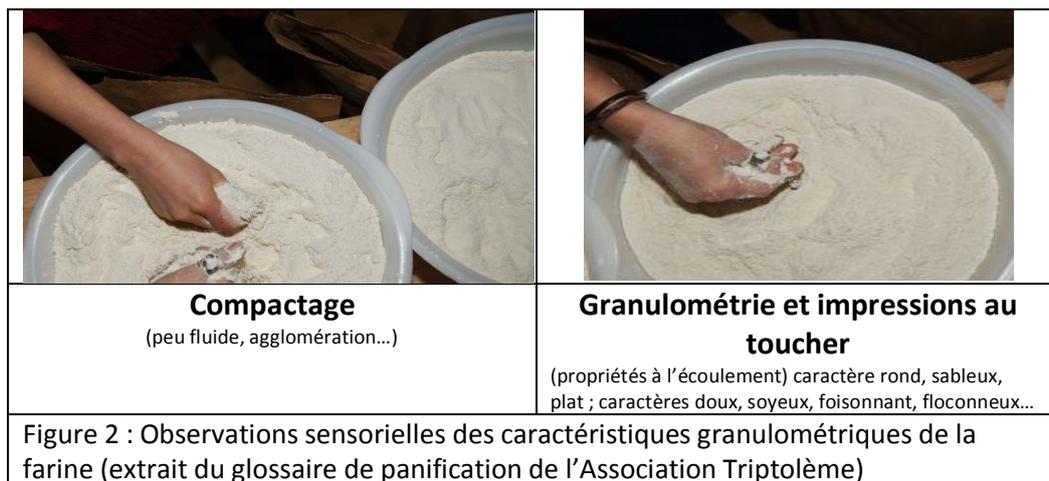


Figure 1 : structure de l'albumen amylicé du grain de blé

Pour un agriculteur ou un meunier, l'approche de la dureté est importante à la fois pour appréhender, la puissance nécessaire lors des opérations d'écrasement, la vitesse à laquelle le blé se fragmente mais aussi le comportement à l'agglomération (compactage) des produits de mouture (Figure 2) qui impacte la vitesse de passage entre les meules et la vitesse de tamisage. Une farine avec une proportion de fines particules étant plus difficile à tamiser qu'une farine ronde dont les particules plus grosses ne se compactent pas.



On peut résumer le compactage à une association homogène, sous l'effet d'une compression de petites particules qui s'intercalent entre des particules plus grosses. Les grosses particules de dimensions voisines, dont la forme s'apparente à une sphère, ne peuvent s'enchevêtrer.

En panification, si les farines fines absorbent plus rapidement l'eau, le niveau d'hydratation reste en général inférieur à des farines issues de blés « hard ». En effet, la résistance du grain au passage entre des cylindres ou des meules engendre des forces de compression et de cisaillement plus importantes qui vont générer des modifications physiques de l'état de grains d'amidon que l'on qualifie d'amidons blessés ou endommagés (Figure 1). Le taux d'amidons endommagés conduit à une capacité d'absorption d'eau plus importante en panification. Pour les agriculteurs du Réseau Semences Paysannes, la mise à disposition d'une méthode simple à utiliser permettra de caractériser la dureté de variétés qui ne sont pas ou plus inscrites au catalogue de commercialisation et pour lesquelles, il n'existe pas de classification.

La dureté peut s'appréhender par la mesure d'une force de résistance à la rupture (exemples : méthode de la pince à dureté, méthode Schleuniger...) ou par l'état de fragmentation du grain par la caractérisation des farines (méthode officielle de mesure de dureté PSI).

L'objectif de cette étude est de rechercher, en plus d'un procédé de réduction des grains, une méthode qui permette d'établir la meilleure valeur prédictive du comportement en mouture et des caractéristiques sensorielles de la farine, notamment en procédé sur meule, le plus utilisé par les agriculteurs du Réseau Semences Paysannes. Le profil granulométrique de la farine, qui permet une meilleure visualisation de la répartition en grosseur, sera donc analysé lors de cette étude.

L'approche a été de sélectionner deux types de moulins facilement accessibles, par les paysans, du point de vue financier et pratique d'utilisation (un moulin à café manuel et un moulin à café électrique) et de les comparer avec des broyeurs utilisés en laboratoires pour la caractérisation des blés et farines (broyeur KT pour la mesure de dureté PSI et le moulin Chopin-Dubois qui simule le travail d'une mouture sur cylindres). La recherche d'une méthode de tamisage simple s'inscrit dans la même approche d'accessibilité pour un paysan. La mouture sur meule ne sera pas mise en œuvre, car non adaptée pour des petits échantillons. Néanmoins, Il a été démontré (Triptolème, 2016) que les profils granulométriques obtenus en mouture sur meule Astrié et en mouture sur cylindres Chopin-Dubois étaient semblables pour des blés de dureté différente. Une approche prédictive du comportement en mouture est donc possible. La méthode simple de la mesure de la dureté, composée d'un broyage et d'un tamisage, qui pourra être proposée, se devra bien entendu être discriminante, répétable et reproductible.

2. Matériels et méthodes

2.1. Méthodes de caractérisation de la dureté du blé

- **Méthode PSI (Particular Size Index)**

Cette méthode est la méthode de référence de la détermination de la dureté par la mesure du taux de particules fines. Elle se base sur l'étude de blés qui ont été broyés et tamisés de façon standard selon la norme AACC 55-30. Le mode opératoire se résume ainsi :

- Broyer 22-23 g (m) de grain dans le broyeur normalisé (KT 3303) à disques cannelés (Figure 3);
- Récupérer le broyat ;
- Tamiser 10 minutes dans des conditions précises sur tamis à mailles de 74 microns (U.S. n° 200) avec un tamiseur à secousse ;
- Peser l'extraction (m_1).

L'expression du résultat est en pourcentage : $PSI \% = [(m - m_1) \times 100] / m$



Tableau I : Echelle de dureté PSI

PSI en %	Classification	
< 7	Super dur	Extra hard
8 à 11	Très dur	Very hard
12-15	Dur	hard
16-19	Moyennement dur	Medium hard
20-25	Moyennement tendre	Medium soft
26-30	Tendre	Soft
31-35	Très tendre	Very soft
> 35	Super soft	Extra soft

- **Méthode de la pince à dureté**

L'appareil portable d'utilisation manuelle, requiert le placement d'un grain dans un interstice de la pince et le vissage jusqu'à éclatement du grain. Il faut ensuite lire sur l'échelle de lecture, en kilogramme, la pression exercée sur le grain. Cette opération est répétée 12 fois pour chaque variété.



Figure 4 : pince à dureté

- Méthode Schleuniger

Cet appareil permet de mesurer la dureté des grains. La méthode est entièrement automatisée, il suffit de déposer un grain dans l'enceinte composée de deux plaques verticales. L'une d'elle est mobile et composée de capteurs. Elle va comprimer le grain en écrasement jusqu'à sa rupture. La force mise en jeu est ensuite analysée et affichée en Newton. L'étude se fait avec une cinquantaine de grains afin d'avoir une précision de 5% sur la dureté moyenne de l'échantillon.

2.2. Matériels et méthodes de l'étude

- Broyage

Quatre moulins, dont trois manuels de type moulins à café de marque Peugeot (B1, B2, B3) et un électrique (BE) de type « Mini-hachoir »

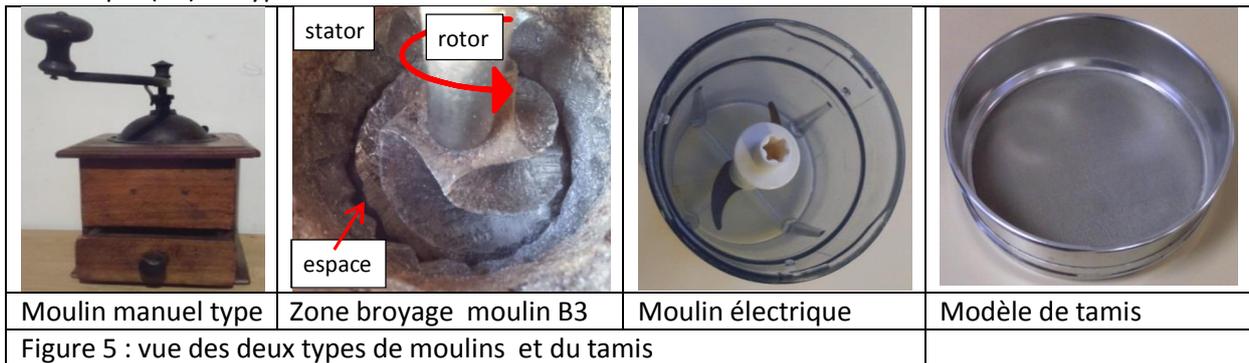


Figure 5 : vue des deux types de moulins et du tamis

La différence entre les 3 moulins manuels s'est faite sur une différence d'écartement entre la partie rotor et stator du système de broyage mesurée de manière imparfaite par un jeu de cales. Il a été possible d'obtenir une valeur moyenne de l'espace entre rotor et stator, de 10-15 µm pour les moulins B1 et B2 et 28 µm pour le moulin B3.

- Tamisage

Le tamisage a été effectué avec des tamis circulaires dans un cadre métallique de 180 µm et de 80 µm ; il a été réalisé soit avec un tamiseur électrique, « Analysette 3 SPARAN » de la marque Fritsch pendant 10 min) dont le dégommage se fait par vibration (amplitude faible), soit manuellement avec un dégommage par tapotage à la main sur le cadre du tamis et pendant un temps variable fonction de l'obtention d'un tamisage complet.

- La mouture au moulin Chopin-Dubois

Le moulin présente deux parties (Figure 5), une partie Broyage composée de 3 cylindres cannelés permettant un broyage sur deux passages, suivi d'un tamisage dans une bluterie et une partie convertissage composée de 2 cylindres lisses permettant un convertissage sur 1 passage des semoules. Elle se pratique à une teneur en eau du blé de 16 %, après une humidification qui est fonction de la teneur en eau initiale du blé et un temps de repos de 24 h. La farine obtenue est

blanche de type 55 en général et permet de produire une farine dont les caractéristiques sont voisines de celles d'un moulin industriel, avec un taux d'extraction de 63-67 %.



- Caractérisation granulométrique au granulomètre Laser « Mastersizer 2000 »



Figure 7 : vue du granulométrie Laser

La granulométrie laser (Figure 6) permet d'obtenir le volume moyen de chaque particule exprimé par la mesure de son diamètre. L'appareil donne des valeurs pour des dimensions très petites de l'ordre du micromètre ce qui n'est possible avec un tamis.

Le principe repose sur la dispersion d'un petit échantillon de farine (volume d'une cuillère à café) déposé sur un plateau mis en vibration qui va être aspiré de façon à bien séparer les particules les unes des autres et éviter la formation d'agrégats. Chaque particule va ensuite traverser un faisceau laser et en fonction de sa forme, les rayons lasers seront plus ou moins diffractés. Ces rayons diffractés vont ensuite atteindre une cible de lecture qui transformera les rayons reçus en un ensemble de données typiques de la particule qui permettra d'obtenir une courbe de distribution granulométrique en volume des particules.

Il est possible d'extraire trois valeurs importantes, de cette distribution, dont les principes sont développés dans l'article de MELCION (2000) :

Le **d 10** suit précisément la variation de la population de fines particules. Il correspond au diamètre en dessous duquel, on trouve 10% en volume des particules de l'échantillon ;

Le **d 50** est le diamètre le plus couramment suivi. C'est le diamètre en-dessous et au-dessus duquel se situe 50% du volume des particules. Le d 50 sépare la distribution en 2 parties égales. On peut également assimiler cette valeur à la médiane ;

Dans une distribution en volume le d 50 apporte à la fois une information sur les fines particules mais aussi sur les particules les plus grosses.

Le **d 90** est le diamètre au-dessus duquel il ne reste que 10% du volume des plus grosses particules. Il est utile, par exemple, pour régler un broyeur.

2.3. Caractérisation des variétés de blé retenues pour l'étude

L'objectif était de caractériser l'effet du type de broyage et de l'humidification du blé sur 3 variétés de référence de duretés différentes, Arkeos (Soft), Renan (Medium Hard), Mara (Hard). Les caractéristiques physiques et chimiques (Tableau II) permettent de confirmer le classement en fonction de la dureté de ces 3 variétés. En granulométrie laser sur un broyage au broyeur KT associé à un tamisage de 180 µm (Figure 3), la variété Arkéos présente bien le profil bimodal et les variétés Renan et Mara, un profil monomodal (Figure 7), mais il apparaît pour ces deux variétés des profils très semblables. Si l'on peut conclure au lien entre le niveau de dureté et la grosseur des particules notamment entre deux familles distinctes entre les blés à caractère Soft et Hard. Au sein du groupe à caractère Hard, la fragmentation ne semble pas différente entre les deux variétés Renan et Mara.

Tableau II : Caractéristiques de résistance du blé

Variété	Teneur en eau (%)	Teneur en protéines * (%)	Dureté PSI**	Dureté à la pince manuelle *** (en kg)	Ecart type	Dureté **** Schleuniger (en Newton)	Ecart type
Arkéos	11,7	10,6	Soft	6,4	5,3	73	19,2
Renan	13	9,6	Medium Hard	10,4	3,4	115	35
Mara	12,4	14,6	Hard	14	4,6	135	23,9

*teneur en protéines (N × 5,7)

** le tamisage a été effectué avec un tamis de 80 µm au lieu de 74 µm

*** moyenne sur 12 mesures

**** moyenne effectuée sur 30 mesures

Il est à noter la forte dispersion des mesures de dureté des 3 variétés, se traduisant par des écarts types élevés dont l'origine, peut-être à la fois liée aux écarts de dureté des grains de l'échantillon, mais aussi à la méthodologie elle-même ; les protocoles de ces deux méthodes intègrent aussi la nécessité de réaliser un nombre élevé de répétitions.

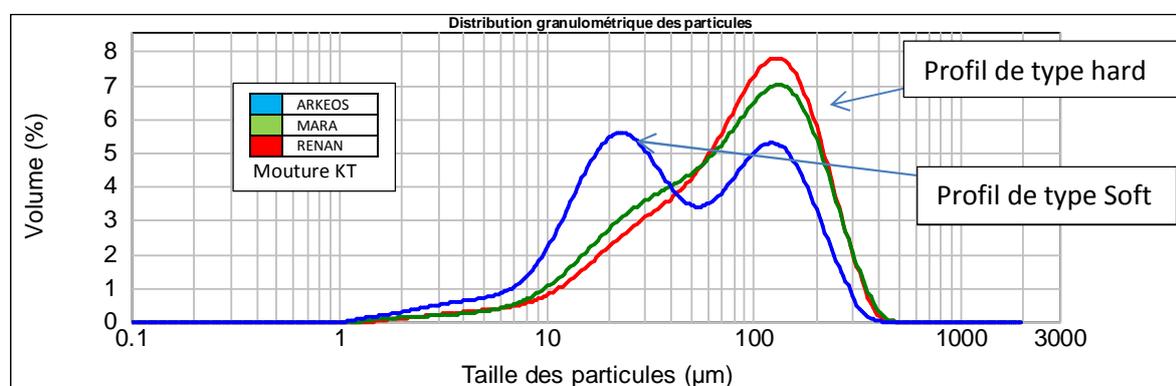


Figure 8 : Caractéristiques granulométriques de la farine

3. Détermination d'une méthode simple de mesure de dureté

Cette partie de l'étude a pour objectif de sélectionner un broyeur de type moulin manuel ou électrique qui permettrait à la fois de prédire le profil granulométrique de la farine, mesuré en granulométrie laser, en mouture sur meule et la dureté basée sur la méthode PSI.

La comparaison des profils granulométrique a été effectuée avec les farines obtenue en mouture Chopin-Dubois dont les correspondances avec les profils granulométriques avec une mouture sur meule de type Astrié ont été démontrés (Triptolème, 2016) et aussi le broyeur KT utilisé pour la méthode de mesure de la dureté du grain. La comparaison s'est faite à la fois sur les blés secs (S) et les blés humidifiés (H) pour obtenir 16 % de teneur en eau qui est la préparation de référence pour la mouture Chopin et qui se rapproche de la teneur en eau des blés d'une mouture industrielle sur cylindres

3.1. Influence du type de broyeur

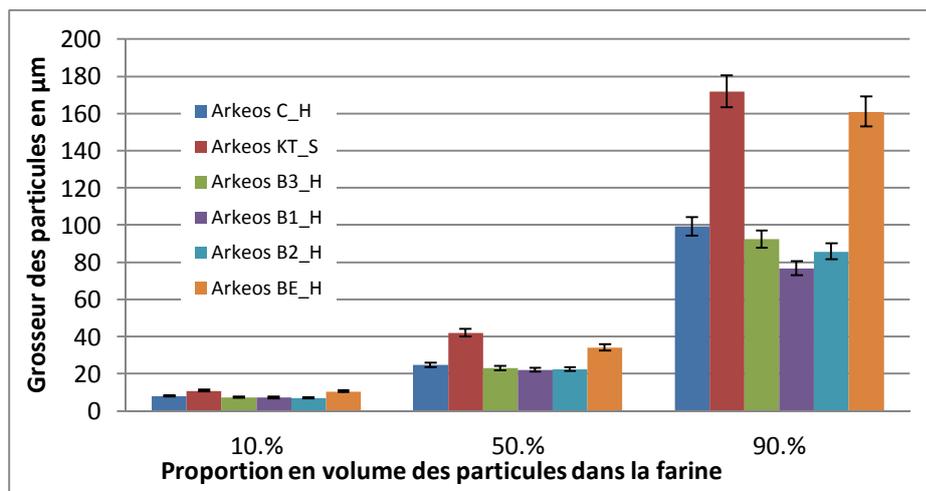


Figure 9 : Grosseur des particules en fonction de leurs proportions dans la farine pour différents broyeurs pour la variété Arkeos

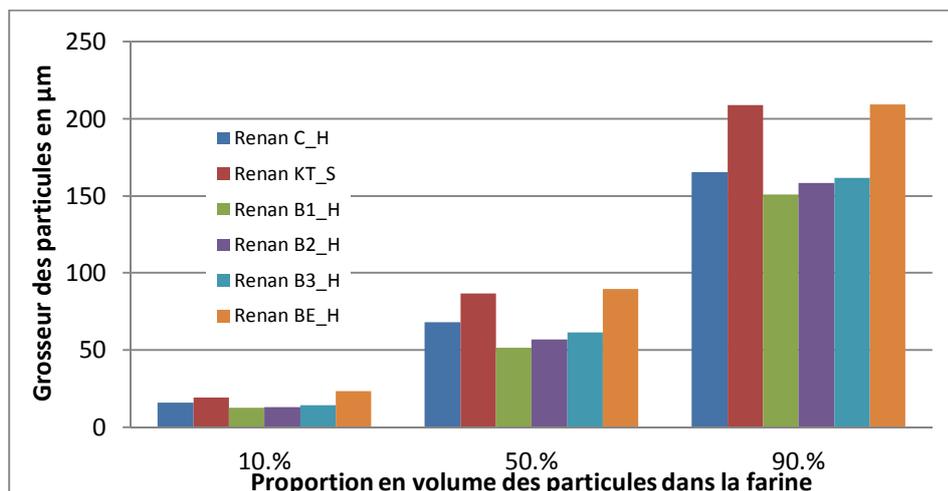


Figure 10 : Grosseur des particules en fonction de leurs proportions dans la farine pour différents broyeurs pour la variété Renan

Les figures 8 et 9, montrent l'existence de 2 groupes de résultats qui permettent d'associer les broyeurs manuels et le moulin Chopin d'une part qui ont des grosseurs de particules plus fines que le broyeur KT et le broyeur électrique, d'autre part. Les mêmes informations sont obtenues avec la variété Mara. Cette classification peut paraître surprenante mais si l'on analyse les caractéristiques de mouture, des explications peuvent être avancées :

- dans la mouture en moulin manuel et le moulin de laboratoire CD1, le mécanisme de broyage comporte à la fois des effets de compression et de cisaillement. En mouture Chopin-Dubois, la séparation des opérations présente une dominante de cisaillement dans la partie broyage et de compression dans la partie convertissage. Dans le moulin manuel, on retrouve et de manière progressive à la fois des effets de cisaillement et de compression (Figure 4). Cette progressivité dans la mouture est aussi une des caractéristiques du travail à la meule ;
- Les broyeurs KT et le broyeur électrique ont un travail en cisaillement important, les effets de compression semblent faibles. L'observation des courbes en granulométrie laser permet de conforter cette analyse, ces deux broyeurs donne un profil de courbe orientés vers une distribution monomodale ; les broyeurs manuels et Chopin ayant, par conséquent, un profil bimodal plus

marqué. Malgré ces tendances différentes dans les distributions de particules en fonction des broyeurs la classification des blés sur leurs caractéristiques de dureté n'est pas modifiée.

En conséquence, les résultats proches entre la mouture Chopin et les broyeurs manuels permettent de valider ce type de moulin pour appréhender le comportement en mouture sur cylindres mais aussi sur meule.

La différenciation entre les blés de dureté différente apparaît au tamisage dans les écarts du pourcentage d'extraction au tamis 180 μm , même si celui-ci est faible. Le tamisage manuel au tamis de 80 μm est difficile, donne peu d'extraction et des résultats irréguliers, il ne sera donc pas proposé comme méthode de tamisage.

L'examen des résultats, permet aussi de sélectionner un moulin manuel parmi les 3 utilisés. Celui qui donne les valeurs les plus proches de la mouture Chopin-Dubois est le moulin B3, il sera retenu dans la suite de l'étude.

3.2. Influence de l'humidification

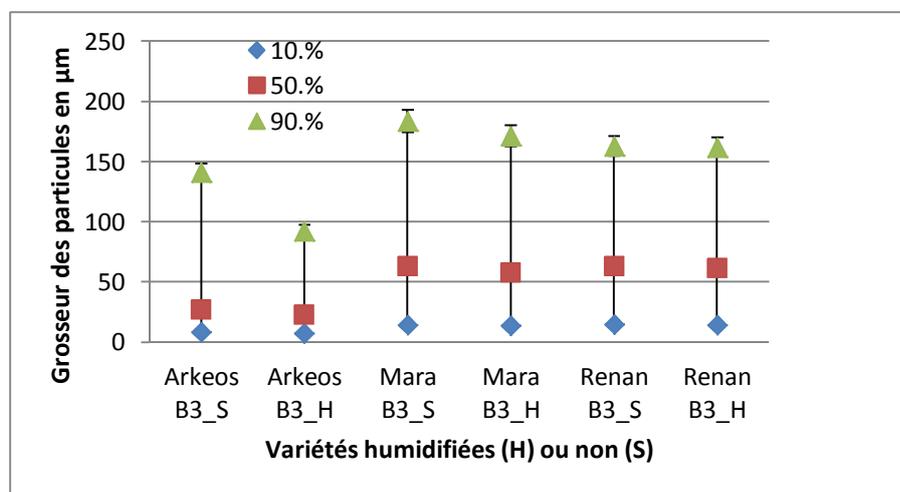


Figure 11 : Influence de l'humidification sur la grosseur des particules pour des proportions en volume de la farine, de 10 %, 50 % et 90 %

- l'humidification du blé n'impacte pas de manière significative le classement granulométrique pour les variétés Mara et Renan. La diminution de la grosseur des particules est devenue plus faible avec l'humidification avec Arkeos. Cette réduction de résistance de l'albumen peut, peut-être, s'expliquer par une meilleure diffusion de l'eau dans l'albumen, pendant le temps de repos de 24 h, compte tenu de la microstructure moins compacte, en général, pour les blés Soft. Dans l'industrie meunière, les temps de repos moyen après humidification sont inférieurs à 24 h pour les blés Soft et supérieur à 24 h pour les blés Hard. Néanmoins, même sec, la variété Arkeos, donne des particules plus fines que les deux blés médium hard et hard, humidifié. Ce caractère de dureté est avant tout un caractère génétique (Privat Lasmé et al, 2011). L'étude sur la caractérisation des variétés sera donc réalisée avec la teneur en eau d'origine des blés (secs).

Les écarts type mesurés, systématiquement, avec 3 répétitions, sur l'extraction au tamis 180 μm donnent principalement des valeurs inférieures à 5 % pour des masses oscillant entre 1,5 g et 11 g excepté pour les blés non humidifiés Renan et Mara avec le moulin électrique et le moulin B2 qui se situent entre 5 et 10 %. On peut donc retenir le choix du moulin B3, à la fois sur la bonne répétabilité des essais, et sur son pouvoir discriminant de la dureté du blé. La reproductibilité de la méthode de broyage a été appréhendée avec les 3 moulins manuels et apparaît comme bonne au regard des résultats obtenus (Figures 8 et 9). Il resterait à bien évaluer les écarts potentiels entre les

configurations géométriques des rotors et stators et de leur degré d'usure et du réglage des écartements.

3.3. Proposition d'une méthode simple de mesure de dureté

La base de cette méthode dont le protocole précis est donné en annexe comprendra :

- l'utilisation d'un moulin à café manuel de type « Peugeot » et d'un tamis de 180 μm ;
- une balance de précision à 0,1 g pour une prise d'essai de 25 g de blé et des extractions au tamis entre 5 et 15 g ;
- les précautions principales pour la mise en œuvre seront d'une part la prise d'essai de blé qui sera exempte d'impuretés diverses, une vitesse de rotation de la manivelle lors de la mouture qui doit être sensiblement constante et la vérification du tamisage complet ;
- La teneur en eau du blé sera celle du blé d'origine sans procéder à une humidification.

4. Approche de classification de variétés anciennes et modernes

Le protocole retenu pour cette démarche d'analyse est celui défini dans le chapitre 3.3. Il devra permettre de valider ce protocole de mesure de dureté, par rapport :

- à la méthode PSI, mesure officielle de dureté (Figure 11);
- à la grosseur moyenne des particules exprimée par le diamètre moyen d_{50} en granulométrie laser (Figure 12) ;
- aux profils granulométriques des particules obtenus en granulométrie laser (Tableau 4).

Tableau III : synthèse des résultats sur la granulométrie des variétés

Variétés	% d'extraction moyen au tamis 180 μm (moulinB3)	Ecart type sur 3 mesures	Dureté PSI évaluée au broyeur KT	valeurs de d_{50} au granulomètre laser
Poulard Jejar de Valencia	6,45	0,59	très hard	86,9
Mara	9,57	0,1	hard	63
Renan	10,13	0,61	medium hard	63
Alauda	10,2	0,51	medium hard	58,1
Hermès	10,21	0,7	medium hard	70,4
Poulard Blanco de Corrella	11,2	0,19	medium hard	59,6
Pireneo	11,86	0,17	Medium soft	60,3
Maître Pierre	13,6	0,48	Soft	56,1
St Priest	13,77	0,35	Soft	64,4
Rouge de Bordeaux	13,99	1,06	soft	32,5
Ritter	14,06	0,52	soft	61,6
C14	14,63	0,66	soft	35,6
Chartres	14,74	0,27	soft	59,7
Arkéos	15,16	0,95	soft	27
Bladette de Provence	15,38	1,74	très soft	26,5
Gros bleu	15,45	0,59	soft	28,6
Population dynamique	15,85	0,18	très soft	33
Royo Pamplona	16,6	0,73	très soft	29,6
Saumur de Mars	17,48	0,32	très soft	26,5
Agora Mélange	18,8	0,26	très soft	23,5
Aristide Briand	19,03	0,61	très soft	24,2
Champlein	19,92	0,61	très soft	24,8
Champagne Barbu	23,27	0,11	très soft	25,8

Les résultats synthétisés dans le tableau III permet, de confirmer la correspondance de résultats entre la méthode PSI et la méthode au moulin manuel avec un tamisage du broyat sur le tamis de 180 µm (Figure 11). Celle-ci ne préfigure pas une correspondance aussi précise avec les profils granulométriques la grosseur moyenne des particules (Figure 12) et des profils granulométriques (Tableau IV). Cette relation imparfaite mais significative peut trouver une explication dans les variations de la quantité de fibres présent dans l'albumen du grain et de la teneur en eau du grain qui peuvent impacter la manière dont l'albumen se fragmente.

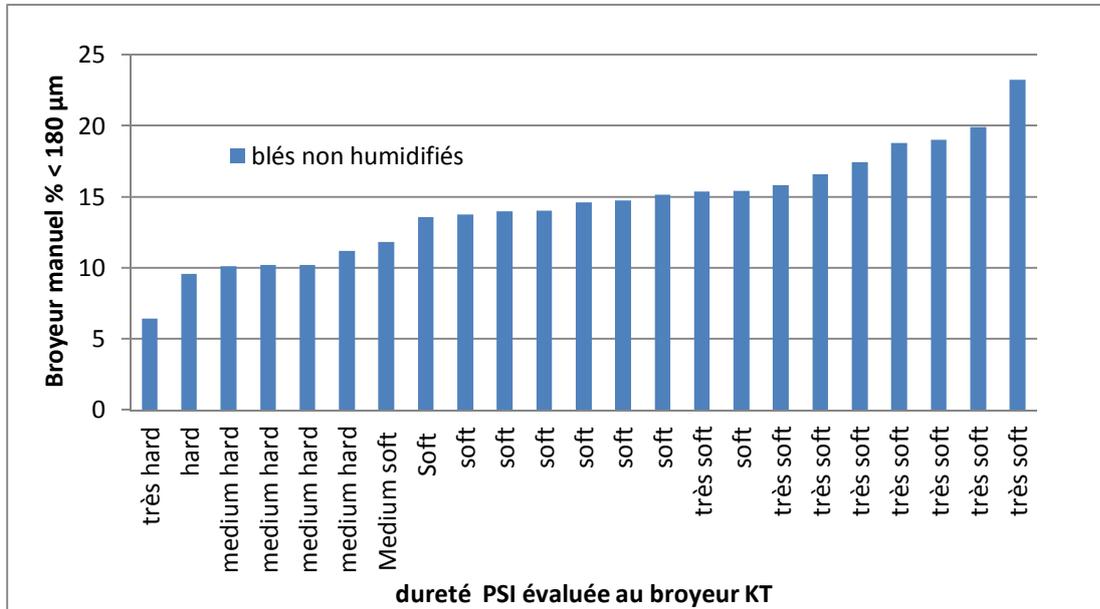


Figure 12 : Pourcentage d'extraction moyen au tamis de 180 µm (mouture moulin manuel B3) en fonction de la dureté PSI

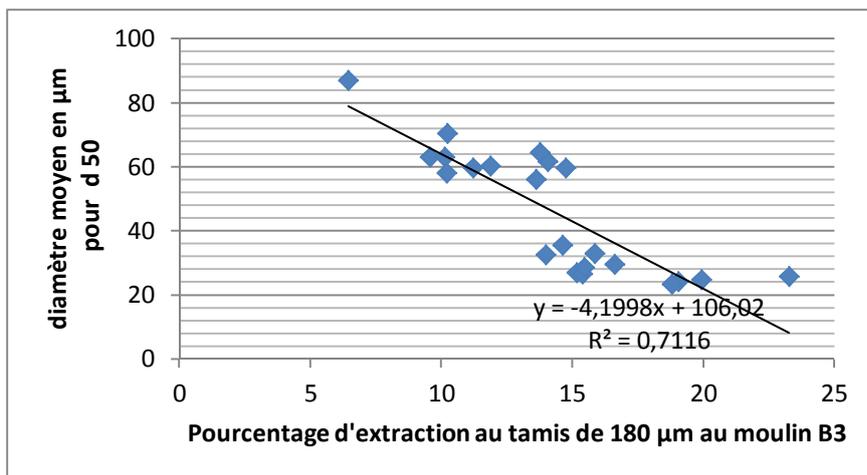
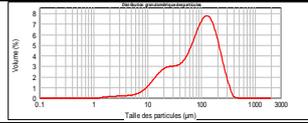
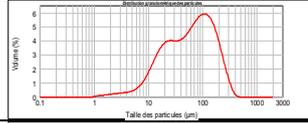
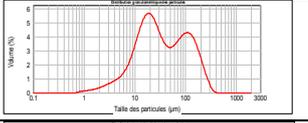
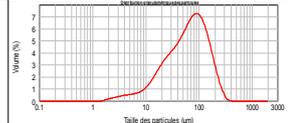
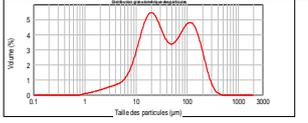
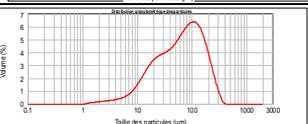
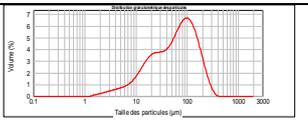
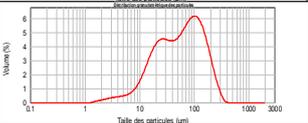
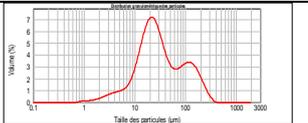
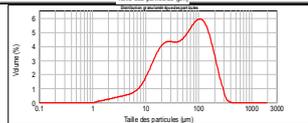
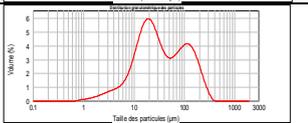
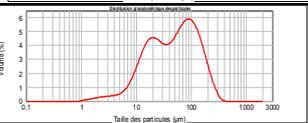
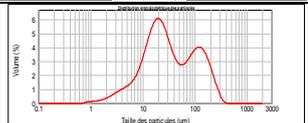
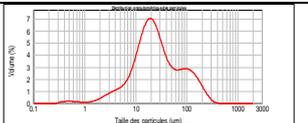
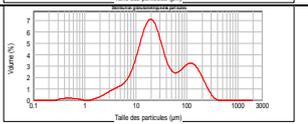
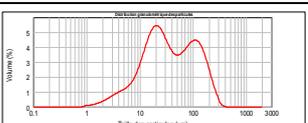
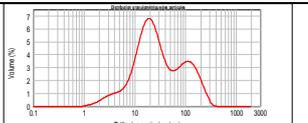
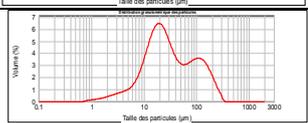
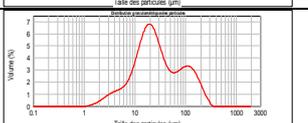


Figure 13 : Correspondance entre pourcentage d'extraction et grosseur moyenne des particules

Tableau IV : association dureté du blé et profil granulométrique

Poulard Jejar de Valencia	Très Hard		Ritter	Soft	
Mara	Hard		Chartres	Soft	
Alauda	Medium Hard		Rouge de Bordeaux	Soft	
Renan B3_S	Medium Hard		Cl4	Soft	
Hermès	Medium Hard		Saint Priest	Soft	
Poulard Blanco de Corrella	Medium Hard		Arkéos B3_S	Soft	
Pireneo	Medium soft		Gros Bleu	Soft	
Maître Pierre	Soft				
Bladette de Provence	Très Soft		Agora mélange	Très Soft	
Population dynamique	Très Soft		Aristide Briand	Très Soft	
Royo de Pamplona	Très Soft		Champlein	Très Soft	
Saumur de Mars	Très Soft		Champagne Barbu	Très Soft	

Conclusions

Cette étude permet de proposer une méthodologie de mesure de dureté, simple d'utilisation pour des agriculteurs et paysans et dont les conditions de mise en œuvre donnent un niveau de répétabilité et de reproductibilité satisfaisant.

Un tableau de classement de variétés, selon leur dureté, en cohérence avec la méthode officielle de mesure de dureté, a pu être établi.

Il reste aux acteurs du Réseau de Semences Paysannes à l'expérimenter dans un objectif de caractérisation des variétés non inscrites au catalogue de commercialisation des semences

Bibliographie

Association Triptolème, 2016. Programme de recherche participative en Bretagne. Comportement en mouture sur meule Astrié de variétés anciennes et modernes de blés « Contrat PaysBlé, 1ère partie». PDF mouture : <http://www.itab.asso.fr/downloads/qualite/pays-ble-art-mouture.pdf>. Repère : Page d'accueil ITAB, les articles sont dans le carré jaune semences Biodiversité : <http://www.itab.asso.fr/>

Fleckinger J., 1935. Le grain de blé, étude histologique. *Bull. des Anciens Elèves de l'Ecole Française de Meunerie*, 36, 1-8.

Melcion J.-P., 2000. La granulométrie de l'aliment : principe, mesure et obtention. *INRA Prod. Anim.*, 13, 81-97.

Privat Lasme, François-Xavier Oury, Christophe Michelet, Joël Abecassis, Christine Bar L'Helgouac'h, ValérieLullien-Pellerin, 2011. Etude de la variabilité génétique et agronomique de la valeur meunière, Synthèse Colloque FSOV 2011.