

Bases de technologie meunière

Philippe ROUSSEL
Florian Marteau



Spécificités des céréales

- Les céréales sont des aliments très précieux
- Leur consommation sans transformation est très difficile
- La valorisation se fait à la fois par une élimination totale ou partielle des enveloppes externes et par une réduction de grosseur



Principales familles botaniques associées aux céréales

- les graminées ou poacées : blés (tendres, durs, petits et grands épeautres), seigle, triticale, riz, orge, avoine maïs, mils (gros mils ou sorgho, petit mil ou millet) ;
- les polygonacées : sarrasin ou blé noir ;
- les chenopodiacées : quinoa (quechua)
- les amarantacées : amarante



Grains et graines de céréales

Leurs fruits sont secs, indéhiscent (les enveloppes du fruit ne s'ouvrent pas à maturité comme les gousses), à une seule graine (akènes), on distingue :

- les caryopses, la graine proprement dite reste enfermée et ses téguments sont adhérents ou soudés aux téguments du fruit, nommé péricarpe, l'ensemble forme le grain (cas des graminées) ;
- les akènes, dont la graine n'adhère pas aux téguments secs du fruit, elle reste libre à l'intérieur de ces téguments (cas des polygonacées).

En technologie, grains et graines ont souvent un sens général identique ; lorsque l'utilisation est orientée pour la semence on parle préférentiellement de graines.



Apparence des grains

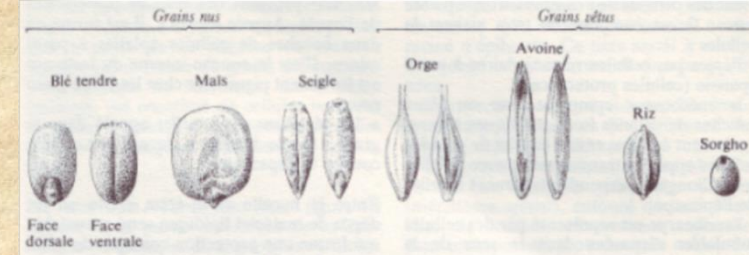
Le grain peut apparaître soit :

- vêtu ou nu ; lorsqu'il perd ses enveloppes, glumelles, par battage (blé, maïs, seigle)
- vêtu ; lorsque ses enveloppes restent attachées ou soudées après battage (orge, avoine, riz, sorgho, épautreí).

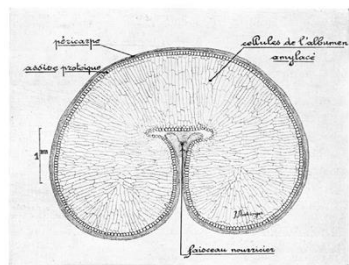
Les grains vêtus ont donc un poids spécifique plus faible et comme ces glumes et glumelles sont constituées de cellulose, leur valeur alimentaire rapportée au poids total du grain est moindre.



Caractéristiques morphologiques



Coupe transversale : exemple le blé

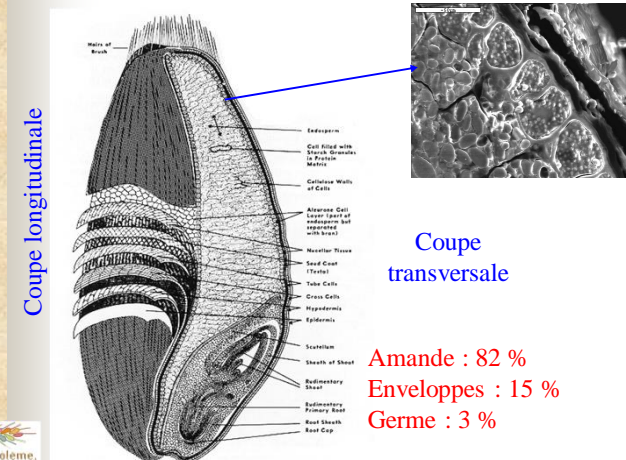


Avec un sillon rentrant, le travail de réduction par abrasion est imparfait.

Coupe transversale du grain de blé (Fleckinger, 1935)



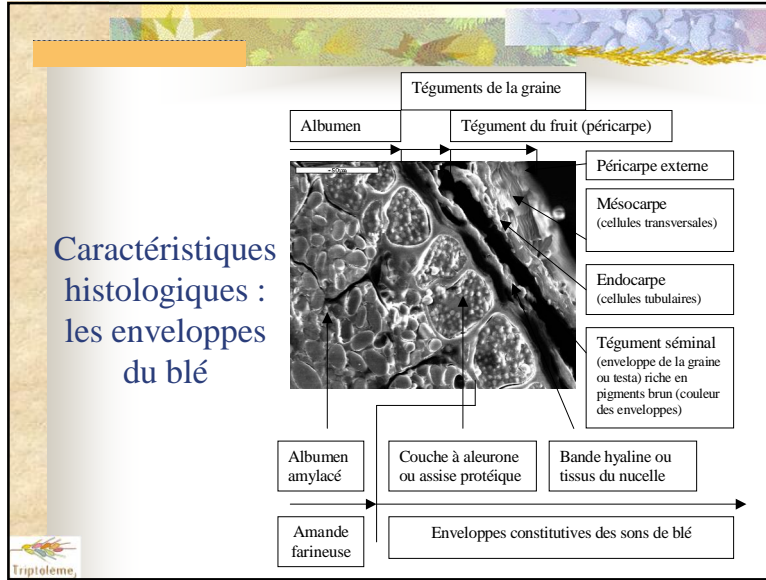
Le blé tendre : structure histologique



Coupe transversale

Amande : 82 %
Enveloppes : 15 %
Germe : 3 %





Caractéristiques physiques : densité

poids de mille grains, poids spécifique, densité réelle

Céréale (grains normalement nourris)	Poids moyen de mille grains (g)	Poids spécifique
Quinoa	3 à 4	
Millet	4 à 6	65 à 70
Sarrasin	15	62
Avoine	25 à 30	46 à 57
Sorgho	20 à 35	60 à 68
Riz paddy	32 à 36	50 à 60
Orge 6 rangs	35 à 40	58 à 62
Orge 2 rangs	40 à 50	65 à 68
Blé	32 à 54	74 à 80
Maïs	250 à 350	70 à 76

Densité réelle :
 Amidon = 1,5
 Protéines = 1,3
 Lipides 0,1
 Fibres < 1

Caractéristiques physiques : cohésion

vitrosité

La vitrosité est une caractéristique visuelle liée au degré de compaction du grain

Aspect vitreux ou farineux d'un grain de blé dur et tendre

Indice de dureté/friabilité

La dureté, ou état de cohésion du grain, (liaisons protéines-amidon) est mesurée par spectrométrie de réflexion dans le proche infrarouge

Un grain friable est apte à donner de la farine et supporte mal le travail intense de l'abrasion. Un grain dur est adapté à la fabrication des semoules, les farines sont plus fluides et contiennent plus d'amidons endommagés

Les amidons endommagés

- Etat des granules d'amidon modifiés physiquement par les sollicitations mécaniques imposées aux produits au cours de la mouture du blé.
- L'endommagement se traduit par des phénomènes d'aplatissement léger, de coupures, de fissures qui les rend plus accessibles à la pénétration de l'eau et aux enzymes. Ces sollicitations sont principalement les effets de cisaillement engendrés par les broyeurs (cylindres cannelés) et les effets de compression des convertisseurs (cylindres lisses) d'une ligne de mouture de céréales, sur cylindres mais aussi sur meules de pierre.



Qualité technologique de 1^{ère} transformation du blé tendre : la valeur meunière

La valeur meunière intrinsèque :

Rendement maximum en farine, dans le respect d'objectifs qualitatifs et des contraintes réglementaires (types de farine) et de coût de production, à partir d'un lot de blé nettoyé et humidifié, pour une préparation choisie et un réglage de moulin défini.

La valeur meunière extrinsèque intègre les impuretés du lot de blé avant nettoyage et l'humidification



Usages et contraintes réglementaires

Pour être commercialisé un blé doit être « sain loyal et marchand » :

- il a une couleur propre à cette céréale ;
- il est exempt de flair, de prédateurs vivants (y compris les acariens) ;
- il correspond aux critères de qualité minimale fixés dans le décret de campagne chaque année pour la mise à l'intervention (poids spécifique, humidité, temps de chute de Hagberg, impuretés) ;

Certains critères spécifiques dans les contrats peuvent apparaître (blés meunerie, exportation) ;



Qualité sanitaire des farines : la flore microbienne

	Valeurs indicatives (guide de bonnes pratiques hygiéniques en meunerie)
germes aérobies mésophiles totaux	< 500 000 /g
coliformes totaux	< 5000 /g
coliformes thermotolerants	< 50 /g
levures et moisissures	< 5000 /g

Pour les blés les valeurs sont 5 à 10 fois supérieures



Qualité sanitaire des blés et farines : les mycotoxines

	Valeurs de référence ou indicatives
Aflatoxine B1	< 2µg/kg pour les produits transformés destinés à l'alimentation humaine (règlement CE du 19/12/2006)
Aflatoxines B1 + B2 + G1 + G2	< 4 µg/kg (règlement CE du 08/03/2001)
Ochratoxine A (OTA)	< 5 µg/kg pour les céréales et < 3µg/kg pour les produits transformés destinés à l'alimentation humaine (règlement CE 472/2002 du 12/03/02)
Désoxynivaléol (DON)	< 1250 µg/kg pour les céréales < 750 µg/kg pour les céréales transformées en consommation directe < 500 µg/kg pour les produits transformés destinés à l'alimentation humaine, dont pains, pâtisseries ..

Risques majeurs réels avec les aflatoxines et les ochratoxines produits par des champignons de type *Aspergillus* et *Penicillium* au cours du stockage en milieu très humide (rarement le cas avec le blé en France)

Présence du DON réelle avec les blés fusariés mais toxicité faible

Triptoleme

Qualité sanitaire des blés : les métaux lourds

	Valeurs de référence (règlement européen 1881/2006 du 19/12/2006)
Plomb (Pb)	< 0,2 mg/kg
Cadmium (Cd)	< 0,2 mg/kg
Mercure	0,03 mg/kg (avis du CSHPF du ..12/93)

Triptoleme

Qualité sanitaire des blés et farines : les pesticides

Valeurs de référence (arrêté du 10/02/1989 modifié)	
< 2 mg/kg sur farine complète	Ppyrimiphos méthyl
< 1 mg/kg sur farine blanche	
< 2 mg/kg sur farine	Malathion
< 2 mg/kg sur blé et non sur farine	Dichlorvos
< 0,5 mg/kg sur farine blanche	Chlorpyrifos méthyl
< 0,2 mg/kg sur farine blanche	Deltaméthrine
< 2 mg/kg sur farine blanche	Glyphosate

Triptoleme

Le nettoyage

Les lots de blé reçus au moulin contiennent des graines étrangères, des grains anormaux, des déchets inertes (pierres, pailles) dans une limite tolérable par la législation mais ils doivent être nettoyés pour produire de la farine destinée à l'alimentation humaine

Triptoleme

Le nettoyage

Par séparation des grains et corps étrangers non adhérents au grain

Différences de forme (ronde, longuée), de densité, de poids, de volume, d'aspect ou de forme (rugueux ou lisse, uniforme ou difforme, barbu), de couleur



Quelques caractéristiques dimensionnelles de grains dans un lot de céréales

Espèces	Longueur		Section				PMG
	Mini	Maxi	Largeur		épaisseur		
Blé	5	8	2	4,5	2	3,5	40-55
Maïs							250-350
Orge	8	12	2,7	5	1,8	4,5	35-45
Avoine	10	17	2,8	3,5	1,5	2,8	35-37
Sarrasin	4	8	3	5			15-25
Colza	1,7	2,8	1,6	2,7	1,2	2,5	3,5-7
Gaillet	2,3	4,2	2	4	1,6	3	≈3-4

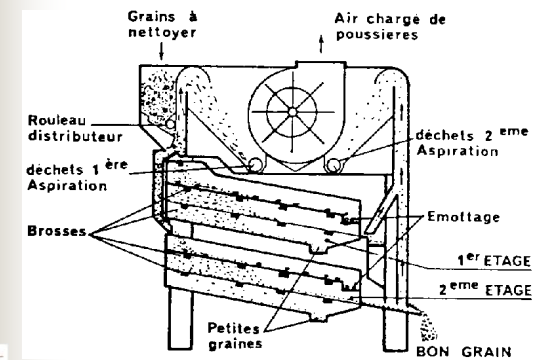


La séparation des corps étrangers

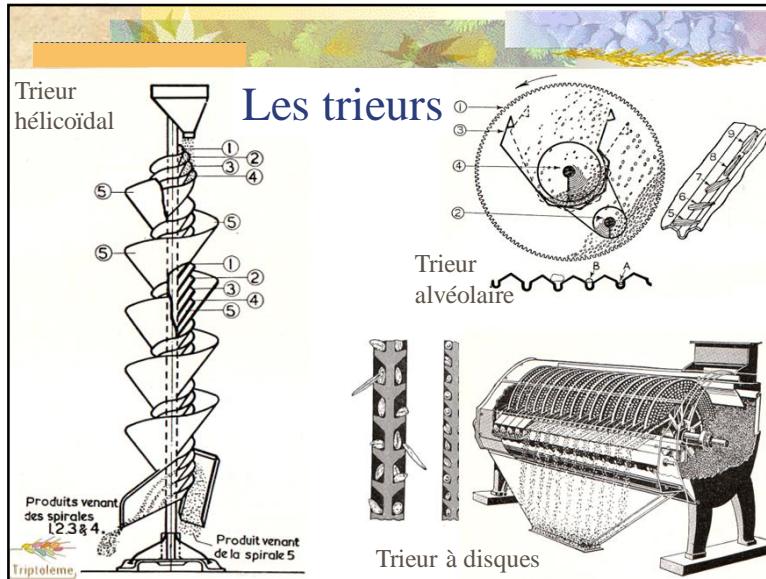
	Principes de séparation	Appareils
Densité	Vibration, par air, centrifugation	Cyclone, Toboggan, épierreur
Volume	Grille (ouverture ronde)	Nettoyeur-séparateur
Section (Largeur, épaisseur)	Grille (ouverture rectangulaire)	Nettoyeur-séparateur
Longueur	Stabilité dans des alvéoles	Trieur alvéolaire
couleur	colorimétrie	Trieur optique
Forme-aspect	Analyse d'image	Photographique
Magnétisme	Magnétique	Aimants



Le nettoyeur-séparateur



Doc Denis



Le Nettoyage

Par élimination des éléments adhérents au grain

- Par solubilisation ou dispersion en voie humide (laveuse, histoire)
- Par friction en voie sèche (brosse, époinseuse)

Le conditionnement

Etape de préparation du blé à la mouture :

Des opérations de mouillage et de repos sont nécessaires pour faciliter la séparation des enveloppes et de l'émulsion.

En étant plus élastiques les enveloppes se friabilisent moins ce qui limite les brisures d'enveloppes dans les farines.

- . Le blé humidifié contient 16 à 17 % d'eau pour la mouture sur cylindres, 14 à 15 % pour la mouture sur meules

La mouture

Elle se résume à une ou plusieurs opérations de réductions et séparations du blé et de ses fractions

Critères qualitatifs du blé et des fractions de mouture

Caractérisation du blé

- Facilité de séparation enveloppes/amande
- Indice de dureté, résistance à l'écrasement
- Friabilité, cohésion des constituants,

Caractérisations des fractions de mouture (farines de passage)

- Taux de cendres
- Amidons endommagés
- Granulométrie
- Caractéristiques technologiques



La mouture à la grosse



- Le grain est moulu en un seul passage avec un réglage serré de la meule.
- Le blutage se faisant à l'extérieur du moulin ou au moulin avec un seul tamis



La mouture économique

- Méthode de mouture après la révolution française avec une meule moins serrée qui conduit à séparer la farine les sons et des gruaux ou semoules.
- Les gruaux sont repassés 1 ou plusieurs fois sur d'autres meules pour être réduits.
- Cette reprise conduit à mécaniser le transport des gruaux.
- On est au début d'une mouture progressive qui passe d'une approche fragmentation à fractionnement



Bluterie



La mouture américaine

Elle se caractérise (à partir des années 1830) par :

- une introduction du nettoyage des grains au moulin
- une rationalisation et une automatisation (transmission par poulies et courroies) du transport des produits dans le moulin (introduction de la vis d'Archimède et de l'élévateur)
- Une utilisation de meules plus dures, plus abrasives mais la mouture reste classiques

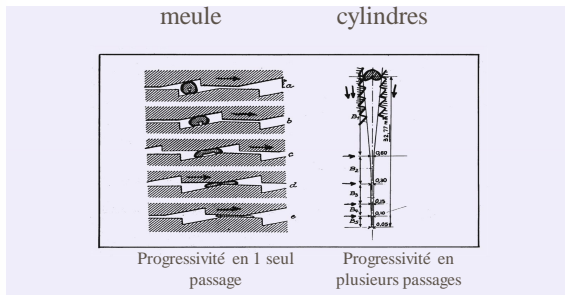


La mouture progressive

De la mouture économique à l'arrivée des cylindres, la mouture devient progressive et séquentielle.

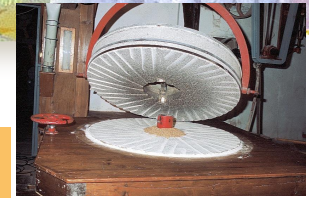
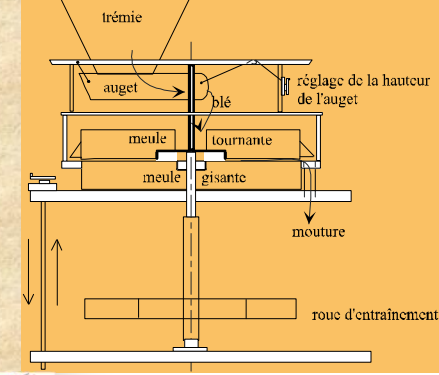
Les opérations de broyage et de convertissage se précisent.

Le tamisage avec l'arrivée du plansichter permet une meilleure classification des produits



Triptoleme

La mouture par fragmentation sur meule



Le grain arrive au centre de la meule tournante pour être écrasé progressivement jusqu'à la périphérie en continu (travail d'écrasement).

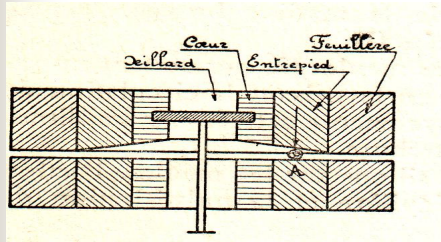
Triptoleme

Les meules

Monolithique ou à carreaux

Rayonnées ou piquées

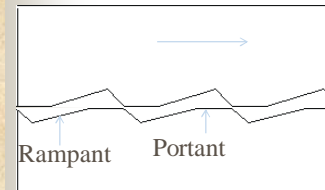
Flottantes ou contraintes



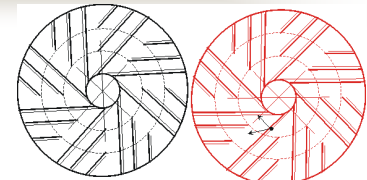
La meule Astrié (sous contrainte)

Triptoleme

Les meules rayonnées

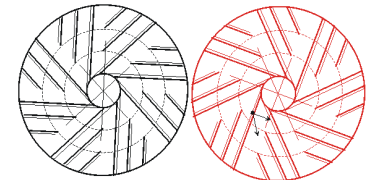


Rayonnage de la meule Astrié



Meule gisante en position de travail (rayonnage à gauche)

Meule tournante en position ouverte



Meule gisante en position de travail

Meule tournante en position de travail rotation de gauche à droite

Triptoleme

La mouture du blé tendre sur cylindres

Objectif : Séparer au mieux l'amande farineuse du son et du germe

Elle se résume à des opérations de réductions et séparations du blé et de ses fractions

- Réduction progressive de l'albumen en fines particules
- A chaque étape, on obtient une farine de passage, par exemple B1, B2, C1, C2i
- Les farines de passage diffèrent par leur composition chimique (*taux de protéines, teneur en fibres, taux de cendres* . .)
- La farine entière est un mélange de toutes les farines de passage

Triptoleme

Les cylindres cannelés

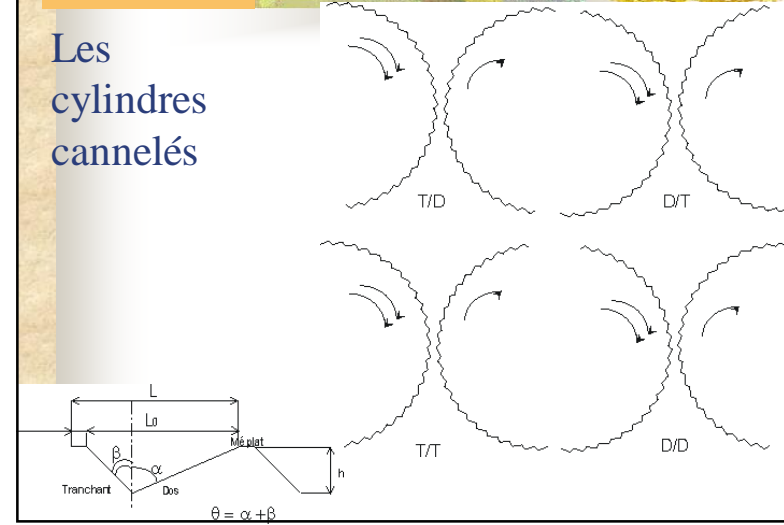
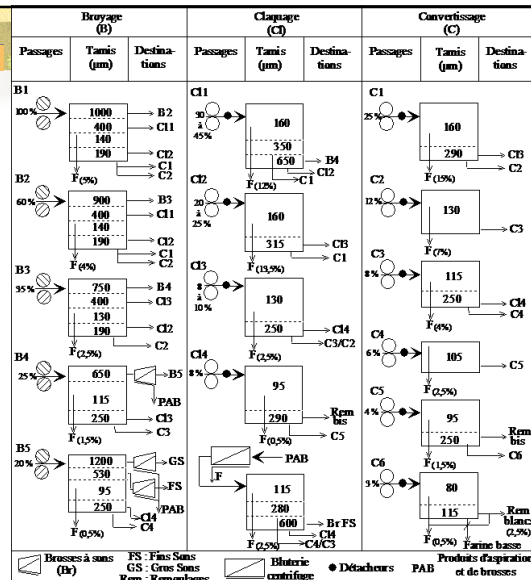
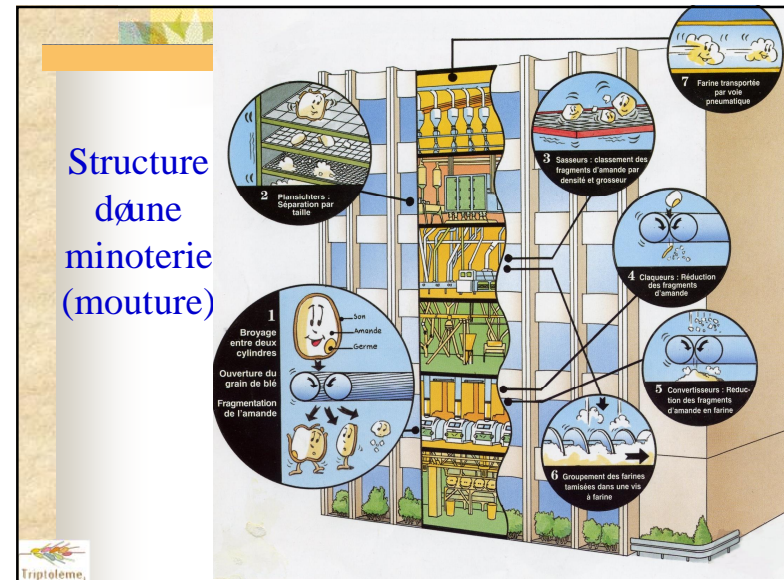


Diagramme de mouture




Triptoleme

Structure d'une minoterie (mouture)



Triptoleme

La mouture par fractionnement sur appareils à cylindres



Elle représente environ 99 % des procédés de meunerie

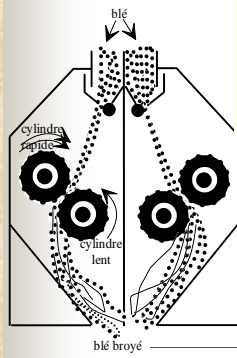
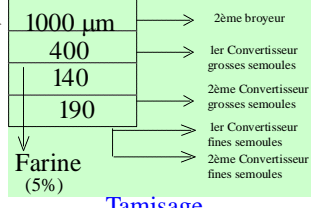
L'objectif est de séparer progressivement des enveloppes (sons après mouture complète), les fractions internes du blé, et de les traiter séparément par des opérations de purification et de réduction pour obtenir de la farine et des fractions réduites de fibres et d'enveloppes (remouages blancs et bis)

Opérations de mouture : le broyage

Les broyeurs assurent la séparation progressive de l'ámamde et de l'áenveloppe par un travail de cisaillement (rapport de vitesses 1/2,5) entre des cylindres cannelés

Leur travail s'áeffectue en 4 ou 5 passages successifs

A chaque passage les tamisages permettent de séparer la farine, les semoules et les enveloppes chargées d'ámamde

1000 µm	→ 2ème broyeur
400	→ 1er Convertisseur grosses semoules
140	→ 2ème Convertisseur grosses semoules
190	→ 1er Convertisseur fines semoules
↓	→ 2ème Convertisseur fines semoules
Farine (5%)	

Tamisage

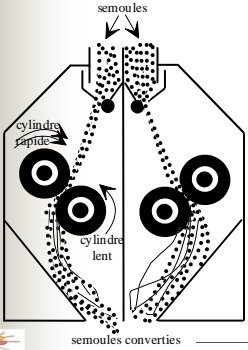
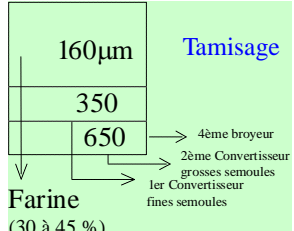
Opérations de mouture : le convertissage

1er convertisseur grosses semoules

Le convertisseur reçoit des grosses et fines semoules pour les réduire en farine

Cette opération se fait par écrasement entre des cylindres lisses tournant à une vitesse différentielle faible 1/1,25

Le nombre de passages entre des cylindres lisses est environ de 10

160 µm	→ Tamisage
350	
650	→ 4ème broyeur
	→ 2ème Convertisseur grosses semoules
	→ 1er Convertisseur fines semoules
Farine (30 à 45 %)	

Le tamisage

Opération de séparation, d'un ensemble d'éléments selon leur grosseur, en employant plusieurs tamis (plansichter) ou une bluterie



Le plansichter (machine à tamiser avec des tamis plans)



Bluterie à 6 pans

Taux d'extraction

Définition : quantité de farine produite à partir d'un blé pour un type de farine déterminé

Types de farine	Taux d'extraction moyens (%) (mouture sur cylindres)	Taux d'extraction moyens (%) (mouture sur meules)
45	70-75	/
55	75-80	/
65	78-83	/
80	82-86	60-70
110	87-90	70-80
150	90-98	> 80

Triptoleme,

Classification des farines

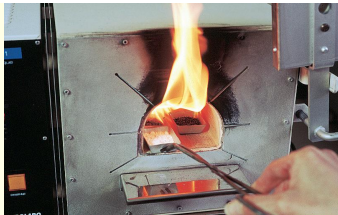
La classification des farines (types de farine) est basée sur leur teneur en cendres

Elles est associée à la notion de pureté ou de blancheur.

Du type 45 à 150, on passe de la farine la plus blanche (taux d'extraction en farine faible) à la plus « piquée » donc plus riche en enveloppes du grain (taux d'extraction en farine élevé).

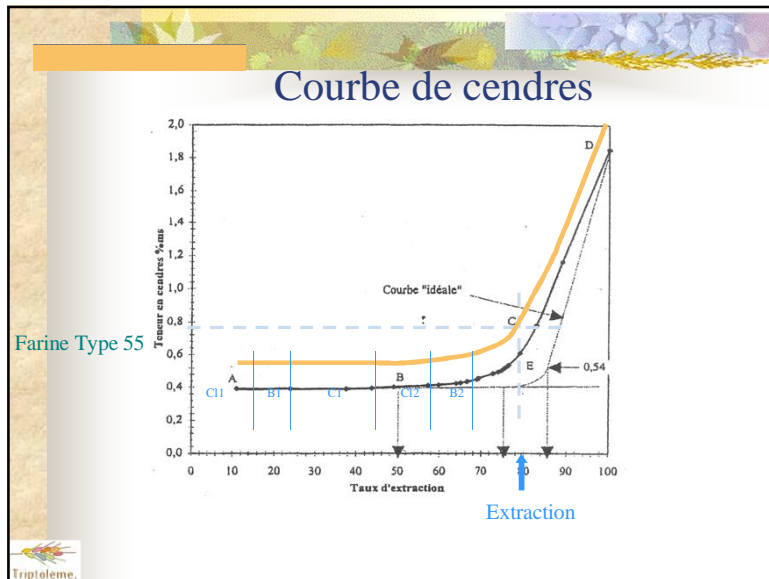
La concentration en minéraux étant forte dans les enveloppes, leur dosage permet donc de déterminer le niveau de pureté

Les minéraux ne brûlant pas, l'incinération de la farine permet d'en déterminer leur concentration par le dosage des cendres



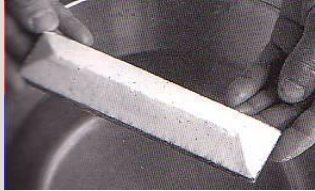
Types de farine	teneur en cendres ou matières minérales (%) ramené à la matière sèche	Aspect des farines
45	< 0,50 %	
55	0,50 % à 0,60 %	blanches
65	0,62 % à 0,75 %	
80	0,75 % à 0,90 %	bises
110	1,00 % à 1,20 %	
150	> 1,40 %	complètes

Triptoleme,





Observations qualitatives des farines

Péckar




Scanner

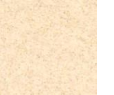




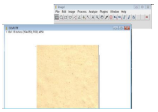
Farine C1



C3




C6




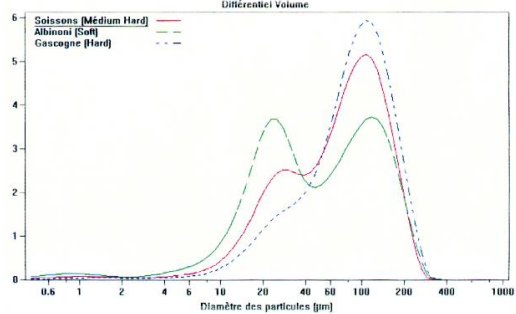
Triptoleme,

La granulométrie des farines : le laser



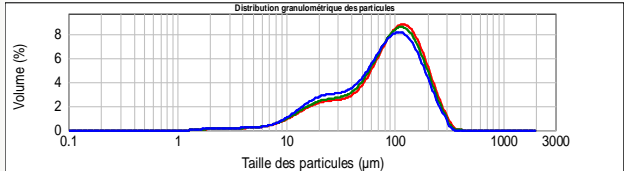

Triptoleme

La granulométrie des farines

Triptoleme

Influence de la préparation des blés sur la granulométrie des farines et les teneurs en cendres



— Blé 13,82 bis, mardi 6 décembre 2011 14:29:22
 — Blé cond 16, mardi 6 décembre 2011 14:33:31
 — Blé cond 17,5 bis, mardi 6 décembre 2011 14:39:51

Préparation	13,80%	16%	17,50%
Cendres	0,66%	0,61%	0,58%

Triptoleme

Caractéristiques de farines de passage

Farines de passages	% / farine totale	% / ms cendres	% / amidons endommagés (méthode Audidier)	% / ms protéines	Temps de chute Hagberg (s)	
Broyage	B1	7	0,40	10,2	9,5	260
	B2	7	0,60	10,2	10,2	330
	B3	3	1,20	10,5	13,4	335
	B4	1,5	1,60	10,8	14,8	330
	B5	0,5	1,80	12,2	15,8	275
Claquage	C11	17	0,35	12,6	9,0	340
	C12	13	0,45	12,2	9,5	340
	C13	3	0,70	15,3	11,0	270
	C14	1	1,10	17,0	12,7	245
Convertissage	C1	19	0,45	10,5	10,0	360
	C2	15	0,60	12,1	10,5	345
	C3	5	0,80	14,0	11,5	335
	C4	3	1,20	14,0	12,9	300
	C5	1,5	1,40	17,6	13,8	255
	C6	0,5	1,60	16,8	14,7	230
Brosses-aspiration	3,0					
Farine entière	100	0,57	12,5	10,7	290	

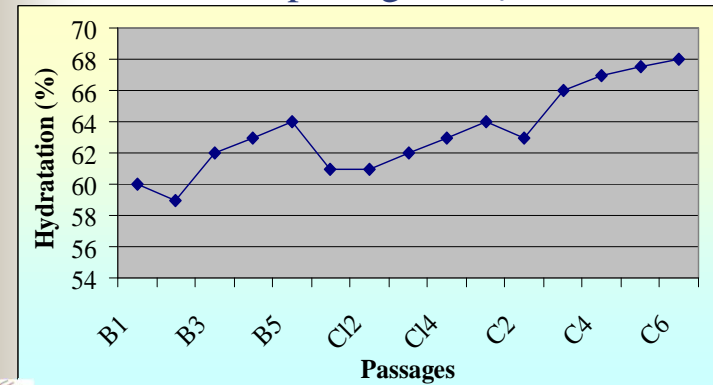
Triptoleme

Caractéristiques alvéographiques de farines de passage

Farines de passages	% / farine totale	W	P	G	
Broyage	B1	7	+	+	+++
	B2	7	++	+	++++
	B3	3	+++	+	+++
	B4	1,5	++++	++	++
	B5	0,5	++++	+++	+
Claquage	Cl1	17	++	+	++
	Cl2	13	++++	+	+++
	Cl3	3	++	++	++
	Cl4	1	+	++++	+
Convertissage	C1	19	++++	++++	++
	C2	15	+++++	++++	+++
	C3	5	+++++	+++++	++
	C4	3	+++++	+++++	+
	C5	1,5	++++	+++++	+
	C6	0,5	+++	+++++	+
Farine entière	100				

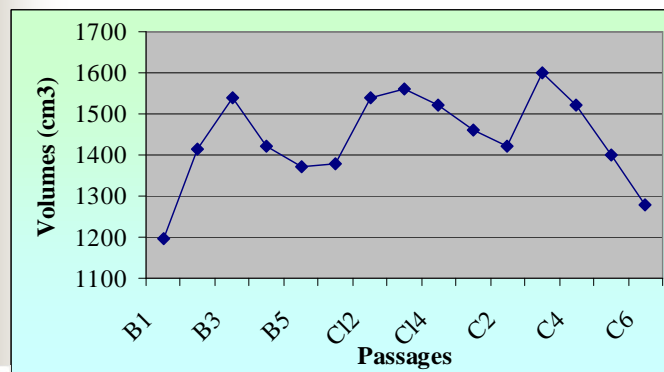
Eriptoleme,

Caractéristiques boulangères de farines de passage (% hydratation)



Eriptoleme,

Caractéristiques boulangères de farines de passage (volumes des pains)



Eriptoleme,

Qualité nutritionnelle

La concentration en éléments nutritionnels croît lorsque le type de farine ou le taux d'extraction augmente.

Richesse en éléments nutritionnels ne veut pas dire meilleure assimilation nutritionnelle.

Les couches fibreuses des enveloppes du grain renfermant ces éléments ne facilitent pas leur dispersion dans le bol digestif, elles accélèrent parallèlement le transit intestinal.

Le meilleur bilan nutritionnel obtenu sur des animaux se situe à des taux d'extraction de farine de 85-90 %, c'est à dire pour des types 80 ou 110.

Eriptoleme,

La mouture Astrié



Matériels utilisés

- 1 meule neuve Ø 50 cm
- 1 meule rôdée Ø 50 cm



Base de la conduite de la mouture

- Au départ, l'écartement des meules est défini au contact
- Le débit est réglé en fonction de la résistance, celle-ci se situe à un ampérage inférieur à 2,7 A



Nature des blés

- Un blé issu d'une Population Dynamique mise en culture chez un adhérent Triptolème (49)
(teneur en protéines sur farines 10,2)
- Un blé Renan issu du plateau de Saclay (91) en reconversion progressive en Bio
(teneur en protéines sur farine 10,8)



