

Lecture et compréhension des analyses physico-chimiques sur les blés et farines

Du champ au fournil : s'appropriier les analyses physico-chimiques pour définir et caractériser la qualité technologique

Philippe ROUSSEL

14 janvier 2019





Objectifs de la formation

- Connaître les différents indicateurs et la classification blé panifiable/ fourrager/ améliorant...
- Comprendre l'influence des pratiques culturelles sur les indicateurs physico-chimiques
- Comprendre le lien entre ces indicateurs et le comportement en panification.
- Identifier des techniques d'analyses des blés ou farine accessibles pour connaître les caractéristiques des blés (afin d'éviter les analyses physico-chimiques coûteuses).
- Se questionner sur les techniques de réalisation des mélanges pour le futur moulin.

Plan

- Caractérisation physique des blés et farines
- Caractérisation chimique des blés et farines
- Les analyses indirectes de la valeur technologique des farines (temps de chute de Hagberg, Amylographe, Mixolab, Farinographe, Rhéofermentomètre, Alvéographe)
- Caractérisation de la valeur technologique des farines et des pâtes : valeur biscuitière, valeur boulangère... (description et valeur prédictive de la qualité des pâtes et des produits cuits)
- Influence agronomique sur la qualité technologique

Caractéristiques physiques des céréales :

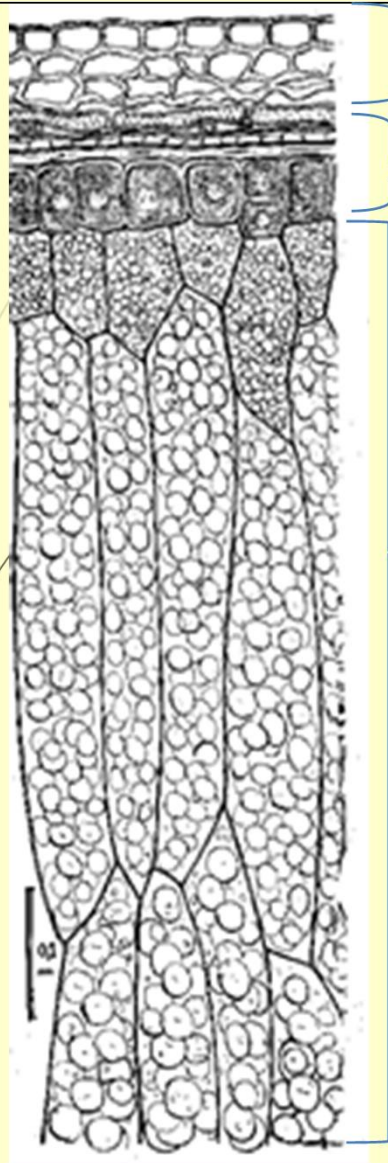
densité (rappel)

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
Mais	250 à 350	70 à 76

Densité réelle :
Amidon = 1,5
Protéines = 1,3
Lipides \leq 1
Fibres $<$ 1

Structure de l'albumen du grain (rappel)



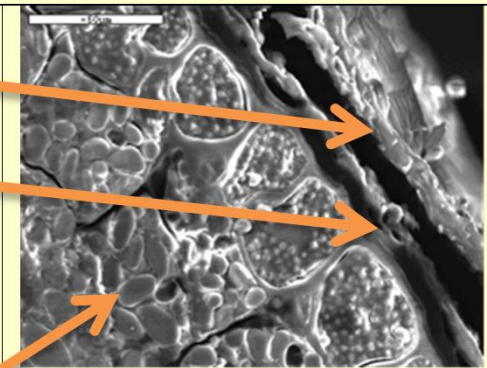
- enveloppes du fruit

- enveloppes de la graine

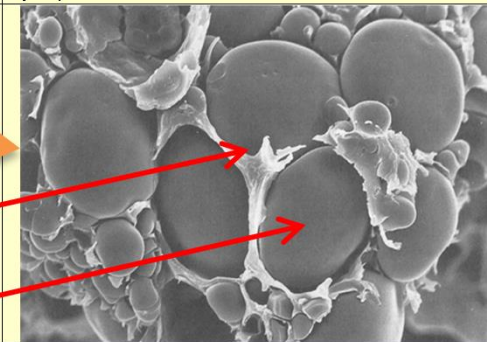
- albumen amyacé

- protéines

- grains d'amidon



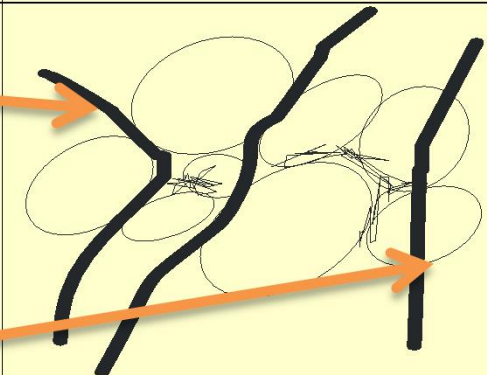
Vue microscopique de la partie périphérique du grain de blé (barre = 50 µm)



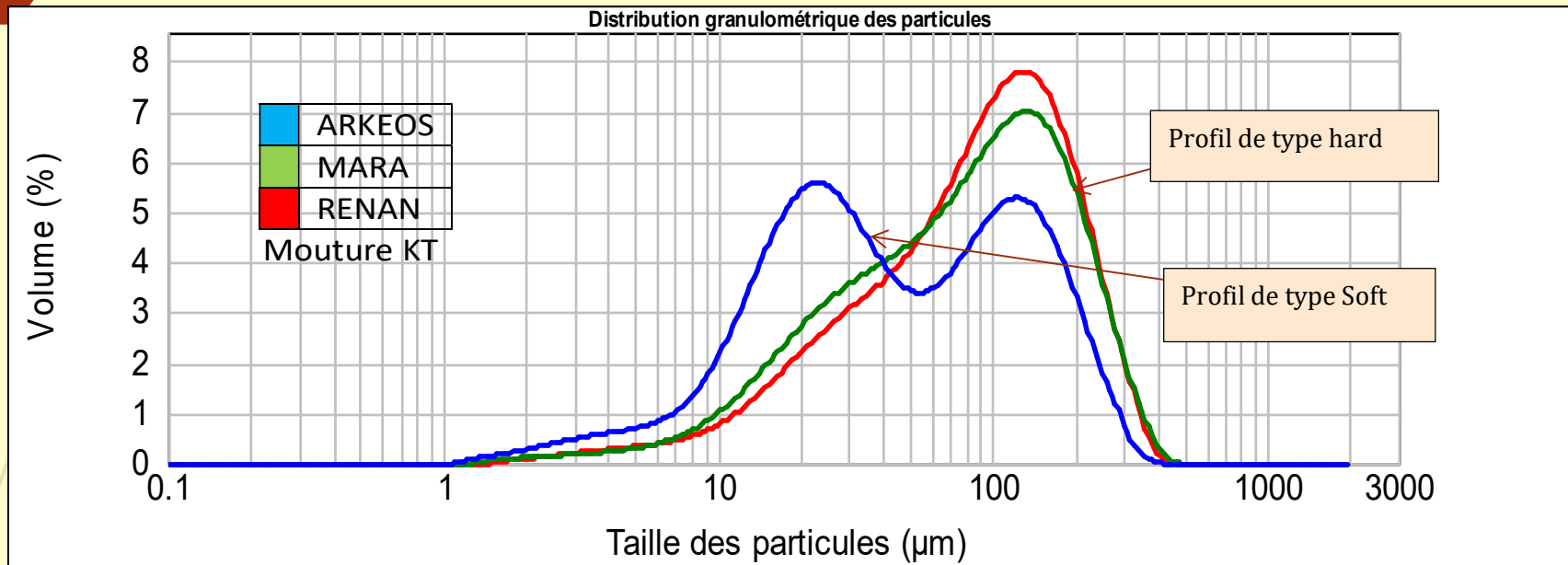
Vue microscopique de l'albumen

- Déstructuration plus facile entre les grains d'amidon lorsque l'albumen est peu résistant :

- Déstructuration plus difficile lorsque l'albumen est résistant et zones de fractures possibles dans le grain d'amidon (amidons endommagés),



Caractéristiques granulométriques de farines de blé (Etude Triptolème)

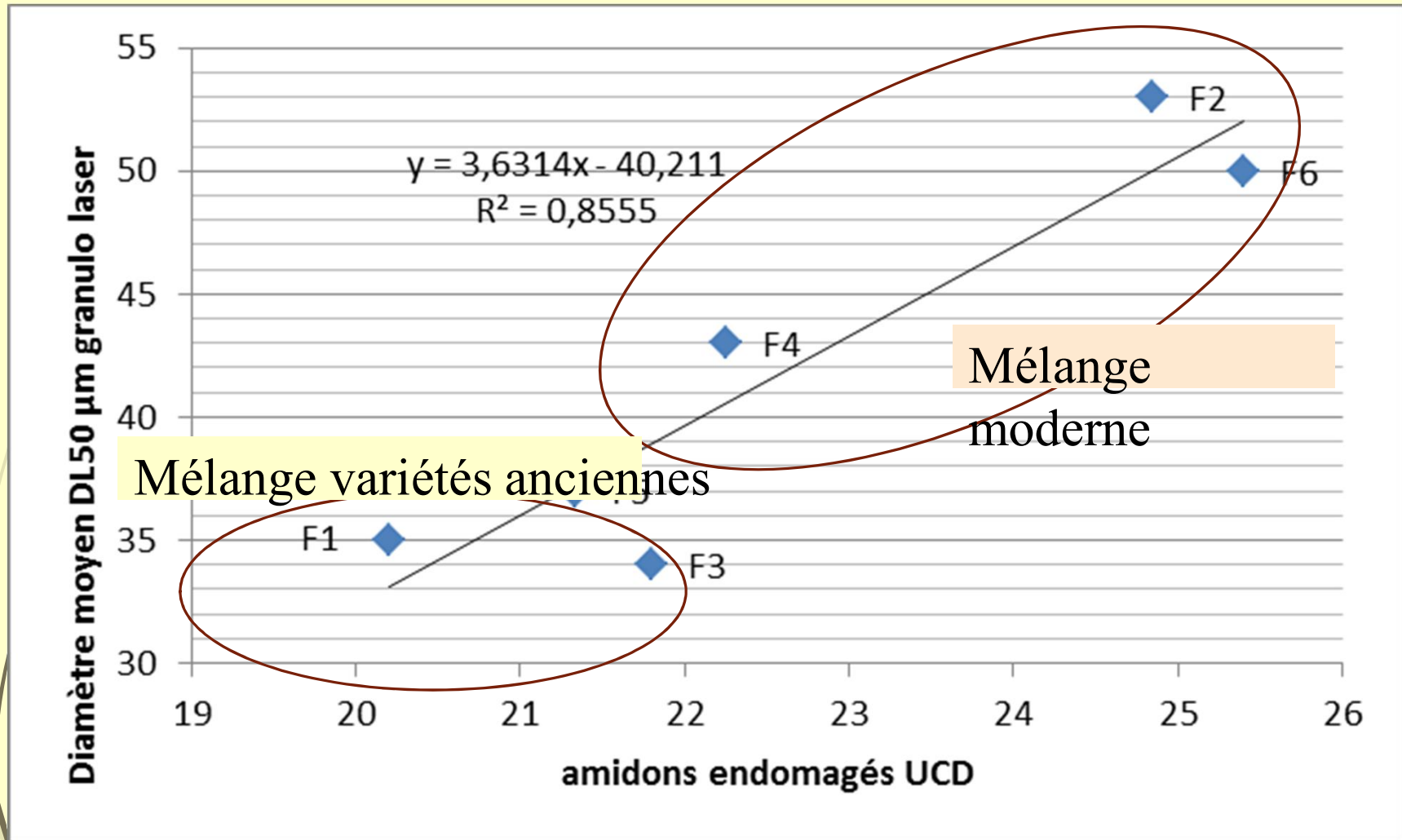


Test de compactage
La farine se compacte
avec les blés soft



Granulométrie
Granuleuse et fluide
avec les blés hard

Relations entre granulométrie des farines et amidons endommagés (essais contrat Bakery 2018)



F1-F3-F5 Variétés anciennes

F2-F4-F6 Variétés modernes

Dureté du blé

Méthode Spectrophotométrie NIR

Méthode AACCC 3070 A

Blé broyé dans des conditions déterminées

Broyat introduit dans le spectrophotomètre

Le signal mesuré est très sensible à la granulométrie de la poudre examinée

L'absorbance est d'autant plus faible que le blé est plus friable

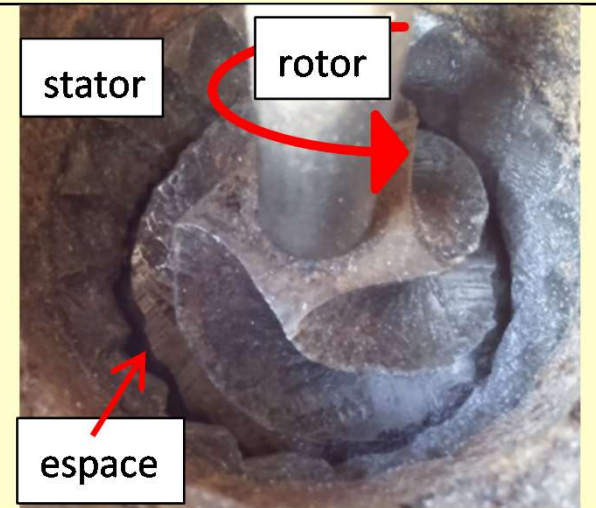
- index de dureté NIR compris entre 0 et 100.
- blés "hard" = 75
- blés "soft" = 25.

Protocole de mesure de la dureté étudié

par Triptolème



Moulin manuel type



Zone broyage moulin B3

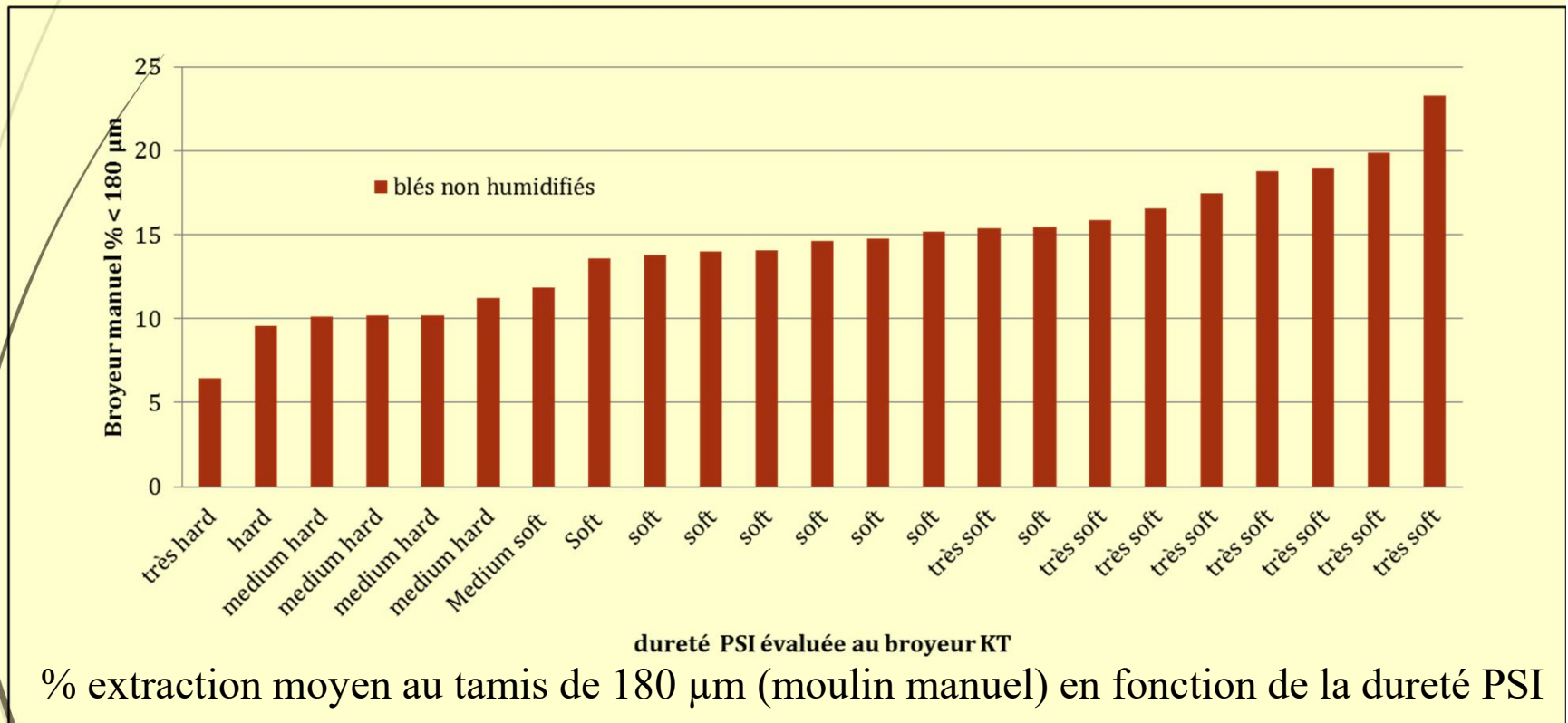
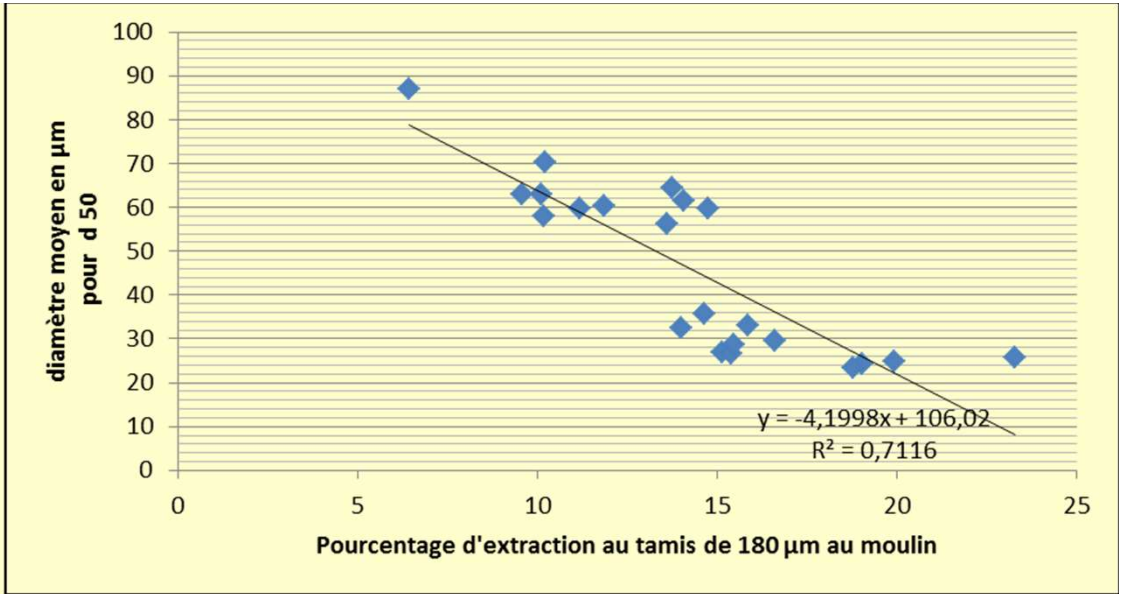
Cette méthode comprend

- - l'utilisation d'un moulin à café manuel de type « Peugeot » et d'un tamis de 180 μm ;
- - une balance de précise 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.

**Dureté
des
variétés
de blé**
(Etude
Tryptolème)

Variétés	Dureté PSI évaluée au broyeur KT
Poulard Jejar de Valencia	très hard
Mara	hard
Renan	medium hard
Alauda	medium hard
Hermès	medium hard
Poulard Blanco de Corrella	medium hard
Pireneo	Medium soft
Maître Pierre	Soft
St Priest	Soft
Rouge de Bordeaux	soft
Ritter	soft
C14	soft
Chartres	soft
Arkéos	soft
Bladette de Provence	très soft
Gros bleu	soft
Population dynamique	très soft
Royo Pamplona	très soft
Saumur de Mars	très soft
Agora Mélange	très soft
Aristide Briand	très soft
Champlein	très soft
Champagne Barbu	très soft

Caractéristiques des farines de blés au moulin manuel (Etude Triptolème)



Caractéristiques dimensionnelles des farines après moutures (essais contrat Bakery 2018)

Farines	extract. 180 μm (*)	Granulométrie laser sur farine < 180 μm **			
	g	Diamètre moyen en volume	d (0.1)	d (0.5)	d (0.9)
1	6,24	56,1	7,9	35,2	134,3
2	5,29	68,0	11,7	53,3	146,9
3	5,38	54,6	8,0	34,2	130,7
4	5,57	60,6	10,2	42,6	137,6
5	6	58,0	8,2	37,1	138,0
6	3,94	66,5	12,0	49,9	145,9

* Broyage sur moulin à café manuel de 25 g \pm 0,1 g de blé

** diamètre (d) en dessous duquel se situe 10%, 50 % et 90 % du volume des particules

1-3-5	Mélanges Anciens population (Variétés Redon, Bladette, Saint Priest)
2-4-6	Mélanges Modernes Chevalier-Renan-Pirénéo , population

Caractérisation chimique des céréales

Espèces	Eau	Minéraux (taux de cendres)	Protides	Amidon et petits glucides	Fibres	Lipides
Avoine	13-15	2,5-3,0	12-13	50-54	14-15	5,0-6,0
Blé tendre	13-15	1,7-1,9	10-12	64-68	5,0-5,5	1,7-1,9
Blé dur	13-15	1,8-2,0	13-14	62-66	5,0-5,5	1,8-2,0
Maïs	13-15	1,0-1,1	9-11	58-62	10-11	5,0-5,5
Orge	13-15	2,5-2,7	10-11	57-63	10-11	2,0-2,5
Riz (cargo)	13-15	1,0-1,5	7-8	70-72	2,0-3,0	1,8-2,4
Sarrasin	13-15	1,9-2,1	10-11	57-63	11-12	2,0-2,5
Seigle	13-15	1,9-2,1	9-11	62-66	7,0-8,0	1,7-1,8
Triticale	13-15	1,9-2,1	12-13	61-65	6,0-7,0	1,7-1,8
Quinoa	13-15	2,2-2,5	12-14	56-60	8,0-10,0	5,0-7,0
Millet	13-15	1,5	10-11	66		4
Epeautre	13-15	2,0	10-12	65		2-3

Les plantes

- A la différence des animaux, elles ont la propriété de synthétiser des molécules organiques comme les protéines, les glucides, certains acides gras ...
- Cette synthèse est possible à partir du sol via les racines (minéraux, azote sous forme minérale et eau) et de l'air via les feuilles (gaz carbonique, eau et énergie) grâce à l'assimilation chlorophyllienne par la photosynthèse
- Les minéraux extraits majoritairement de la matière organique, sous forme ionique interviennent dans la formation de nombreuses molécules mais aussi comme co-facteurs dans de nombreuses réactions enzymatiques
- L'azote (N) : facteur de croissance, de rendement et de qualité (formation des protéines du blé et de la qualité du gluten)

La fertilisation minérale

Apport de matière minérale et organique pour améliorer les qualités physiques, chimiques et biologique d'un sol (amendement) et le développement d'une plante et sa résistance dans le but d'accroître les rendements d'une culture à condition d'être accessibles au bon moment et en quantité suffisante.

- Les amendements : Calcaire, Magnésium...
- Les besoins en minéraux N, P, K
- Le phosphore (P) : moteur de la photosynthèse, facteur de croissance, développement du système racinaire et de maturité (fécondation, mise à fruit) = solidaire à l'azote. On trouve le phosphore sous forme d'acide phytique ou hexaphosphate inositol appelés aussi phytine, composant essentiel des grains d'aleurone
- Le potassium: (K) : économie d'eau dans les tissus, augmentation de la résistance à la gelée, dans le développement du système racinaire et la rigidité de la tige, photosynthèse et stockage des glucides, augmentation de la résistance aux maladies = élément d'équilibre et de santé
- Le soufre (S) élément stimulant des protéines et constitutif de certains acides aminés
- Le magnésium, le bore, le zinc, le cuivre et le molybdène sont aussi importants

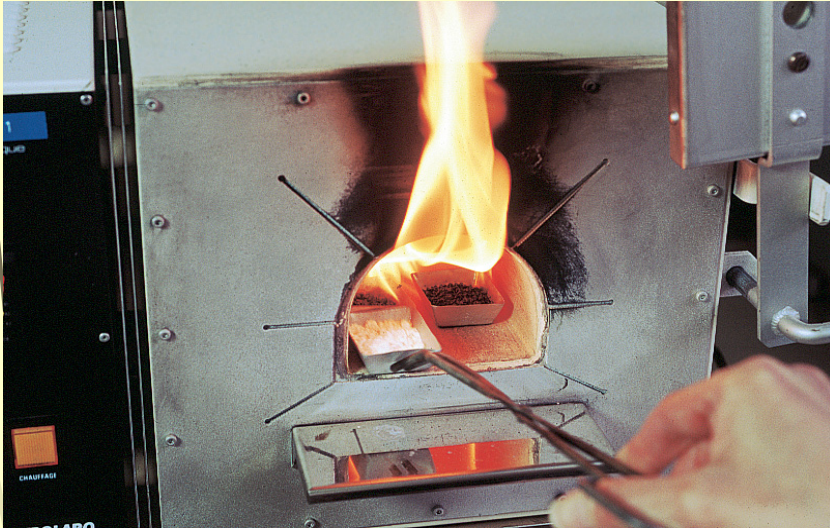


Composition moyenne de pains en micro-nutriments pour 100 g de matière telle quelle

	Eau (%)	Minéraux (mg)					Vitamines (mg)			
		Na	K	P(*)	Mg	Ca	B1	B2	PP	C
Complet	36	350	250	200	90	20	0,2	0,15	3,0	0
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	40	650	450	370	150	60	0,3	0,18	3,5	
Bis	34	350	200	100	45	20	0,14	0,12	1,8	0
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	38	500	350	175		50	0,20	0,16		
Blanc	32	350	100	60	30	10	0,06	0,03	0,45	0
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	35	500	150	110		50	0,09	0,06	0,85	

Na (sodium), K (potassium), Mg (magnésium), Ca (calcium)
(*) P (phosphore, sous forme d'acide phytique)

Classification des farines (Rappel)



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


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 (peu d'enveloppes du grain)

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

Qualité nutritionnelle

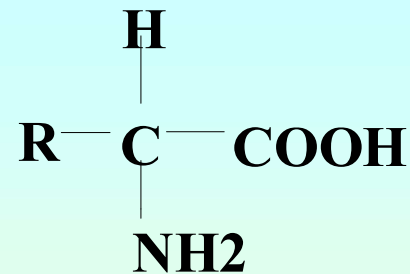


Richesse en éléments nutritionnels ne veut pas dire meilleure assimilation nutritionnelle.

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.

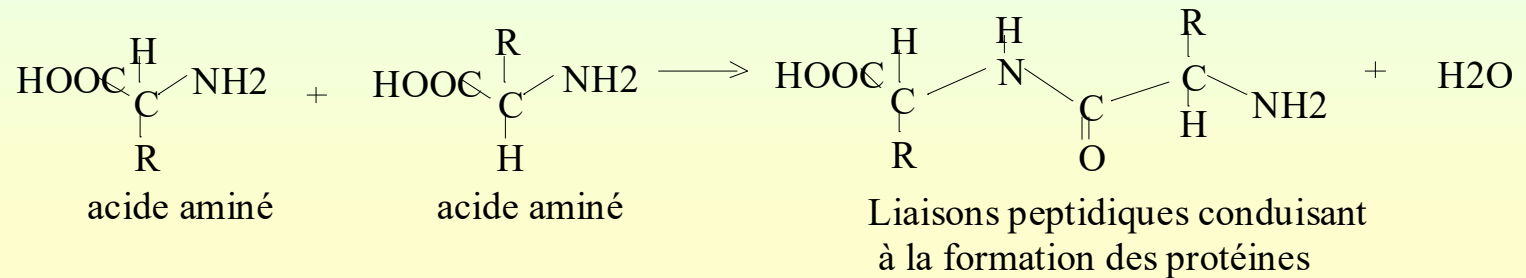
Le meilleur bilan nutritionnel obtenu sur des animaux se situe à des taux d'extraction de farine de 85-90 %, c'est à dire pour des types 80 ou 110.

Caractérisation des protéines



STRUCTURE GENERALE

D'UN ACIDE AMINE

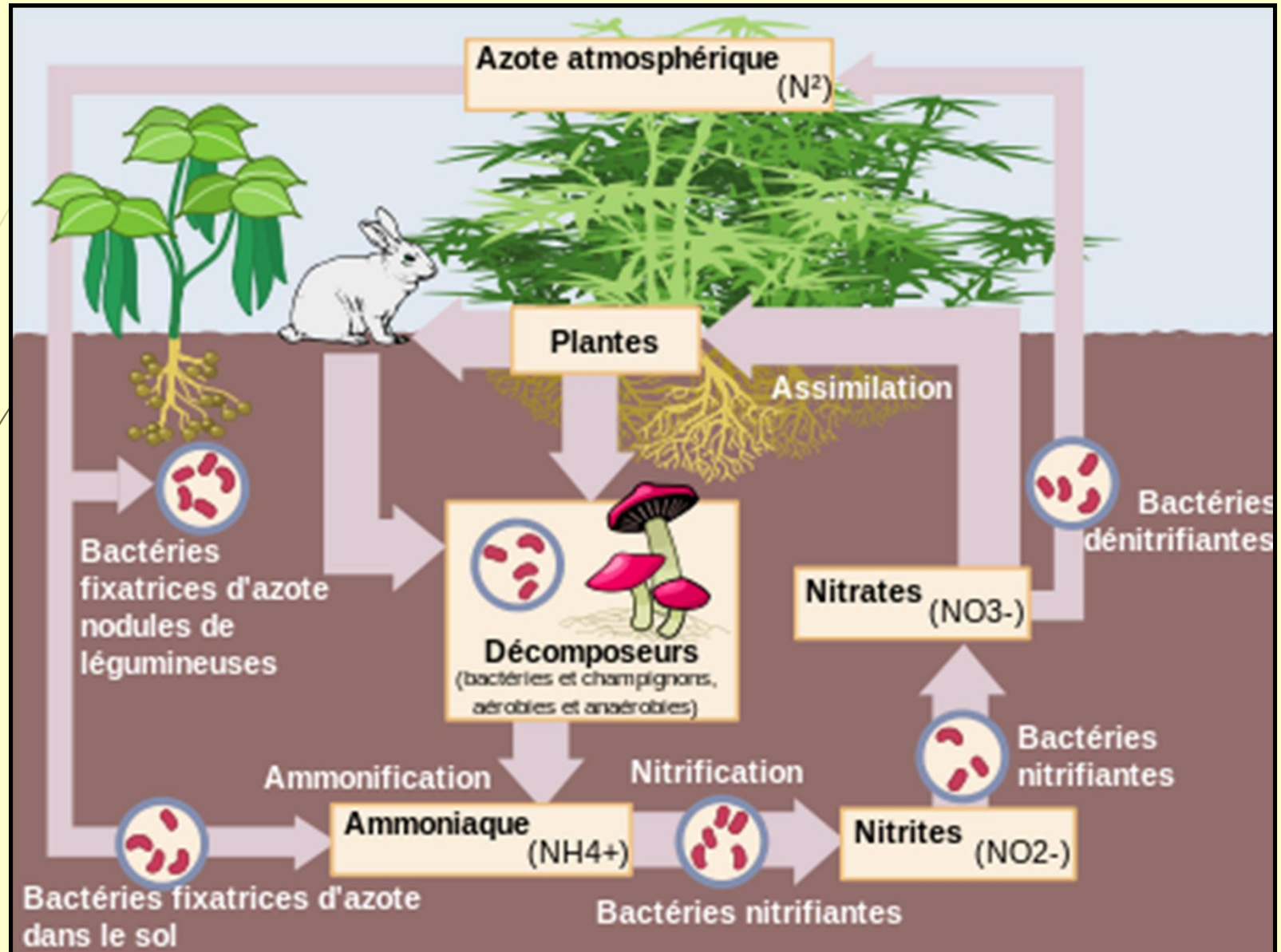


Il existe une vingtaine d'acides aminés différents

Les molécules d'acides aminés ont des groupements fixes (COOH et NH₂) et variables (SH...)

La fertilisation azotée

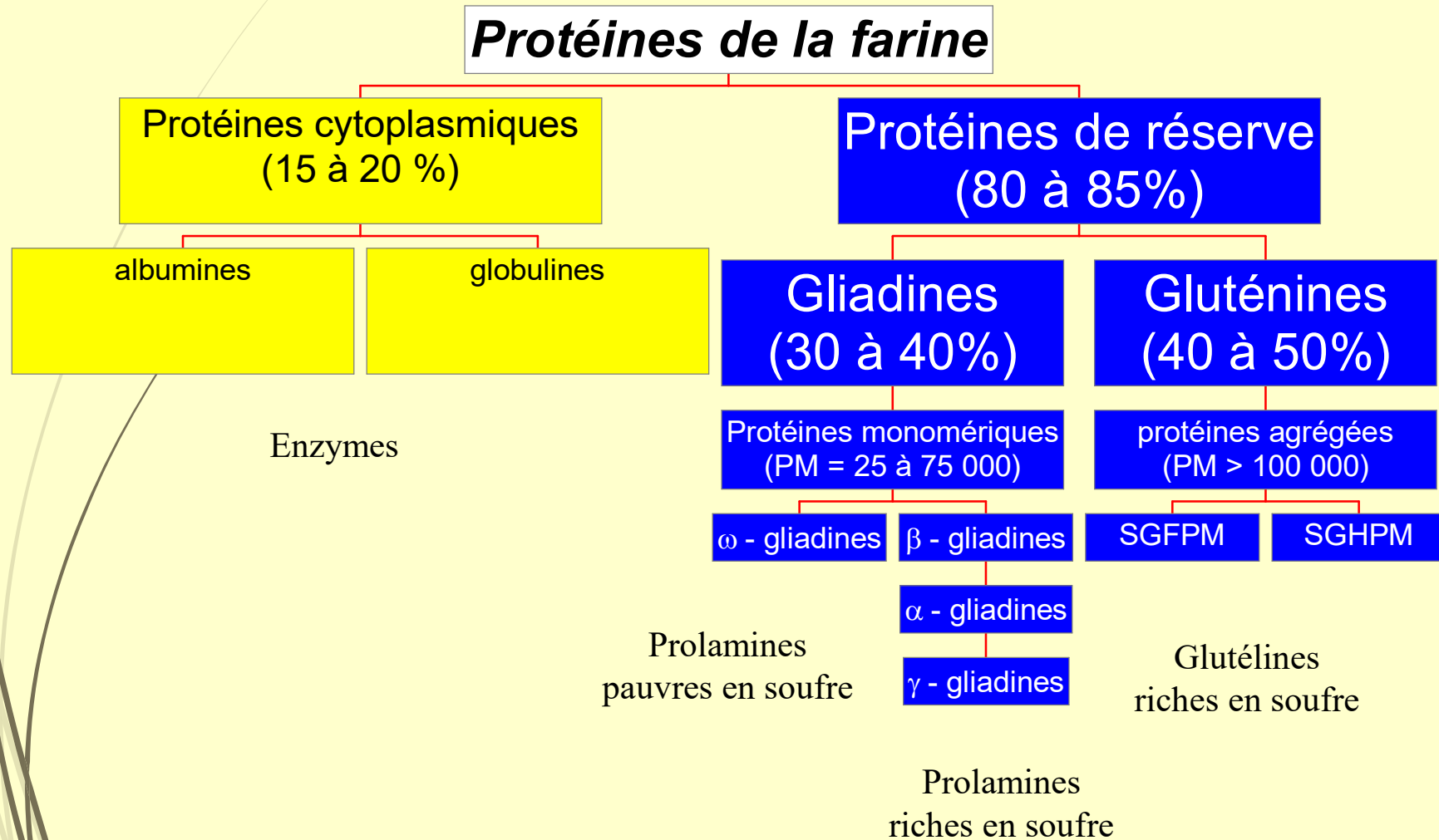
Le cycle de l'Azote



Dosage des protéines

- La méthode de référence est basée sur le principe d'un dosage de l'azote en provoquant une minéralisation de ce constituant
- Par un coefficient spécifique de chaque céréale, correspondant au ration entre protéines et azote, on détermine la teneur en protéines
- Pour le blé, il a été calculé à 5,7, mais il existe un coefficient commercial à 6,25
- Actuellement le principe du dosage est basé sur l'absorbance des protéines en proche infra-rouge (NIR)

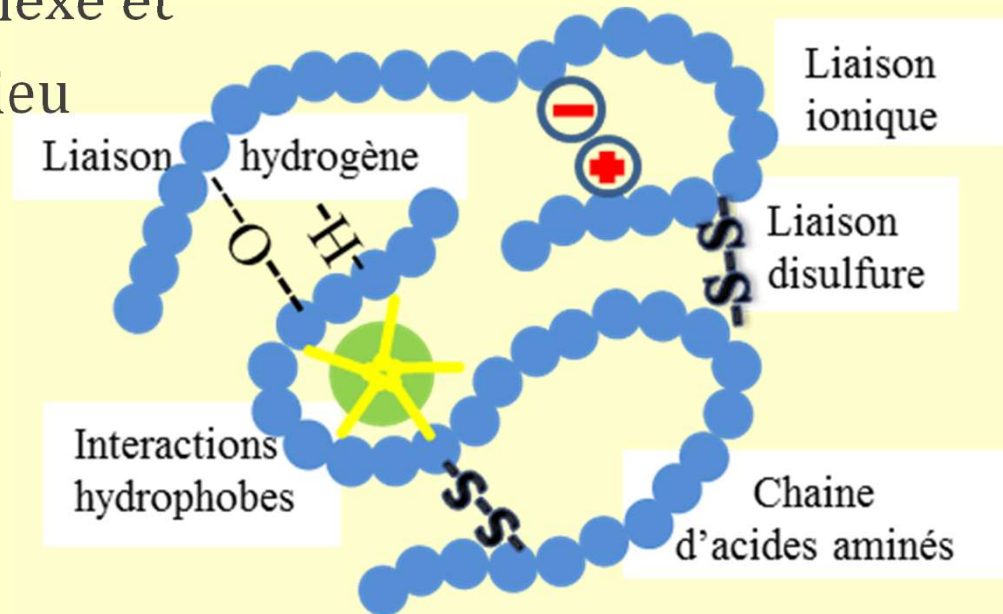
Classification des protéines de la farine



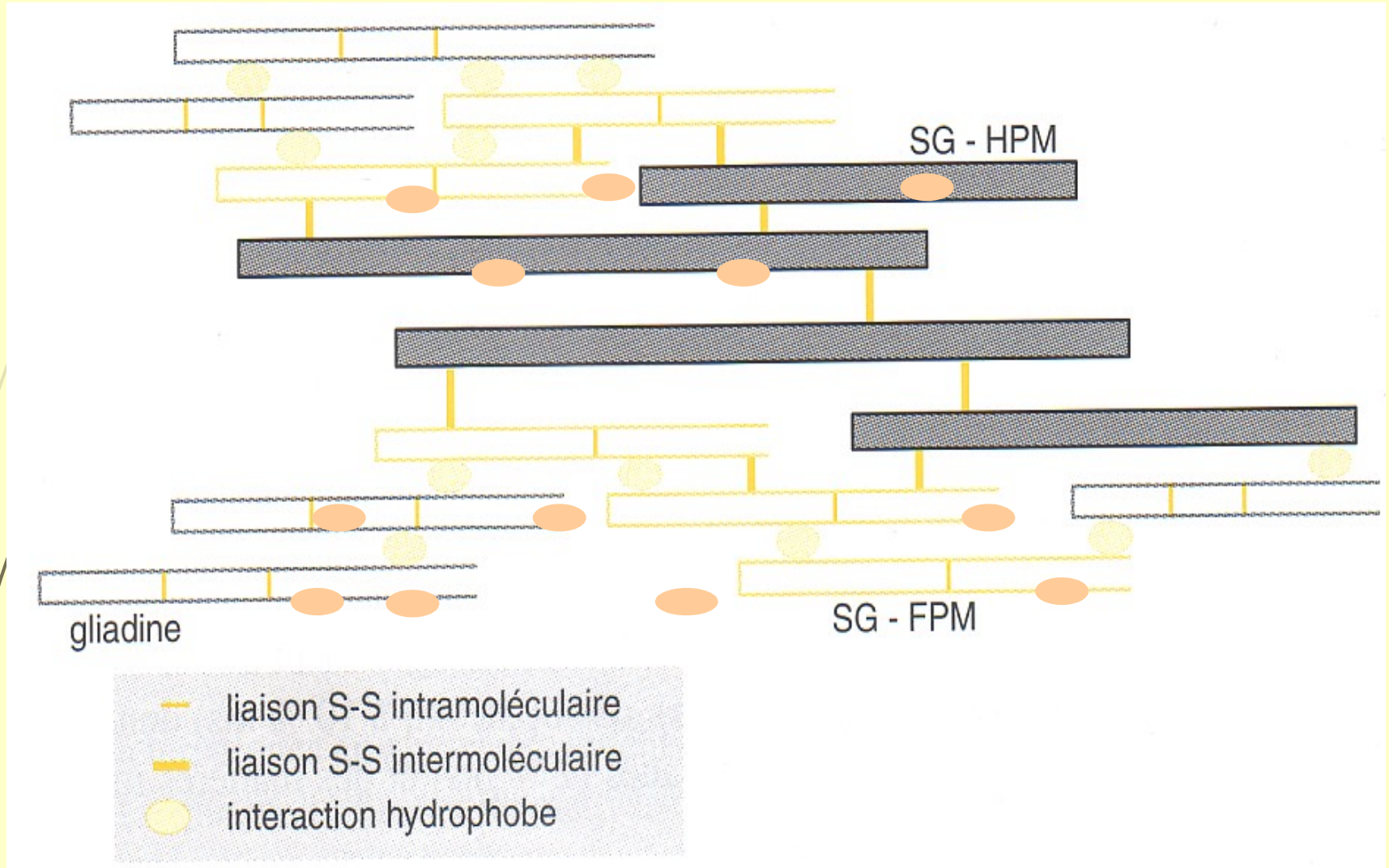
De la farine à une pâte structurée par le gluten

Le gluten : association complexe et variable de protéines en milieu hydraté, par des :

- Liaisons polaires ou hydrophiles (avec l'eau)
- Interactions hydrophobes avec les matières grasses)
- Liaisons ioniques, certains atomes sont chargés électriquement + et - (liaisons avec les éléments chargés comme le sel, les acides...)
- Liaisons d'oxydation entre molécules de cystéine (liaisons à forte énergie)

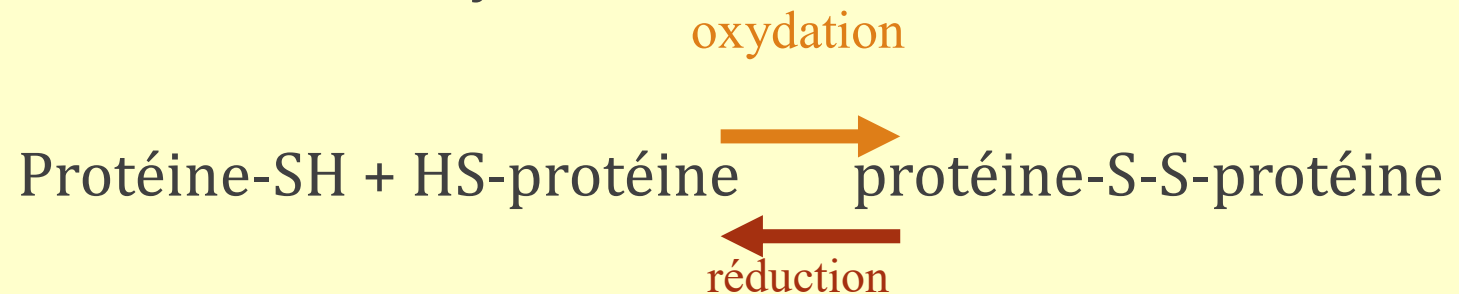


Exemple de modèle moléculaire du gluten

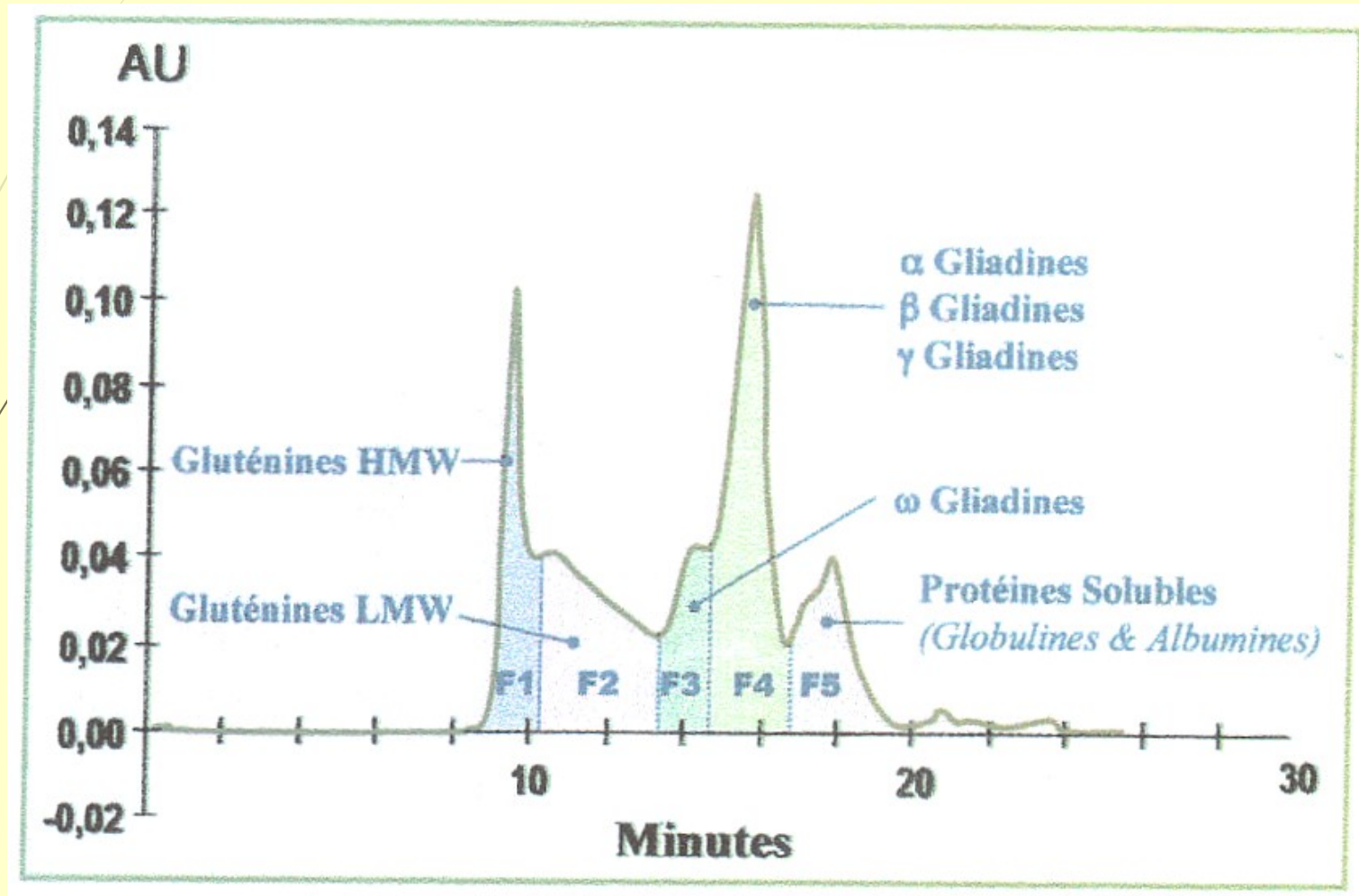


Formation des pâtes de farine

- Dès que l'eau est au contact de la farine, formation de fibrilles protéiques très extensibles (gliadine)
- Dépolymérisation des agrégats gluténines
- Gliadines et gluténines se réassocient pour former le réseau en toile d'araignée
- Réactions d'oxydo-réduction



Chromatogramme d'une farine, obtenu par HPLC

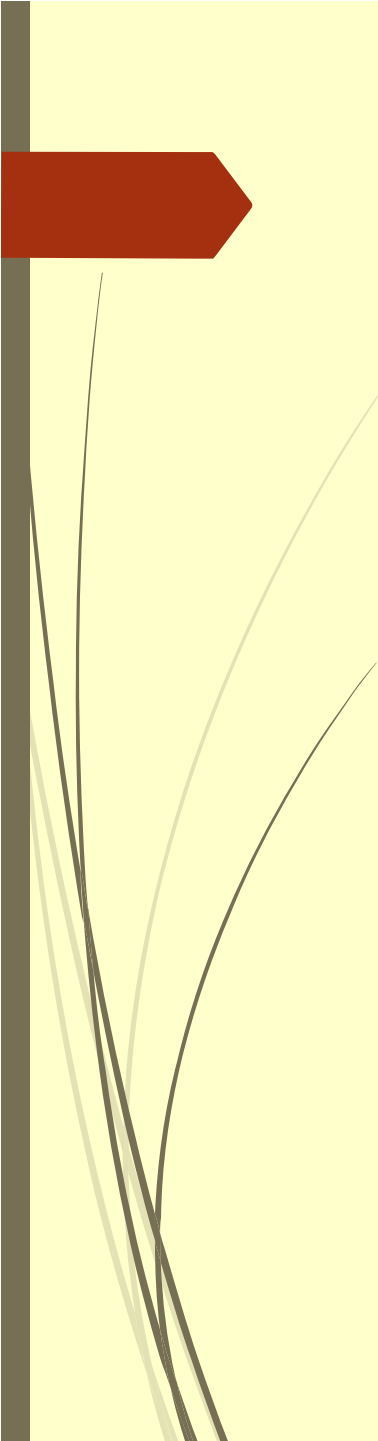


Analyse quantitative et qualitative

Les protéines des mélanges variétaux (essais contrat Bakery 2018)

mélanges variétaux	Résultats sur blé	Résultats chromatographique HPLC sur Farine				
	Protéines/ mat sèche		Protéines/ mat sèche	% Gliadines	% Gluténines	Rapport Glut/Glia
GSMA	11,3	Farine 1	9,97	43,2	38,8	0,90
LAMM	10,2	Farine 2	8,38	40,3	41,3	1,02
FMMA	12,0	Farine 3				
GSMM	10,7	Farine 4	8,12	40,1	41	1,02
LAMA	12,0	Farine 5	9,91	43,6	38,9	0,89
LMMM	12,0	Farine 6				

MA : mélange blés anciens MM: mélange blés modernes



Mesure des propriétés des protéines

Indice de Zélény (NF ISO 5529)

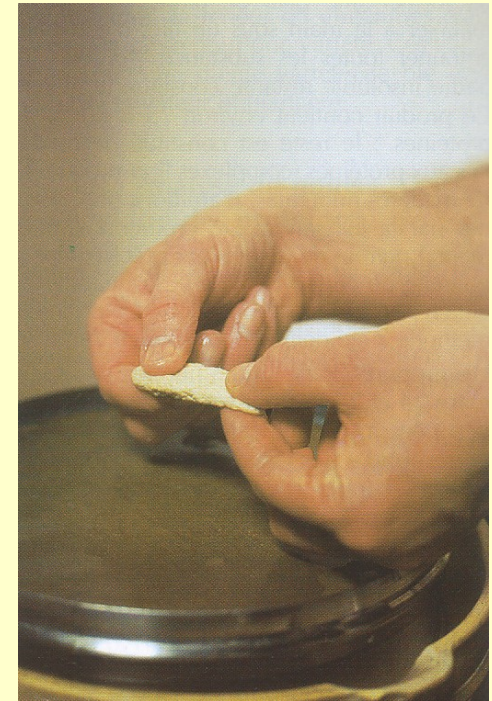
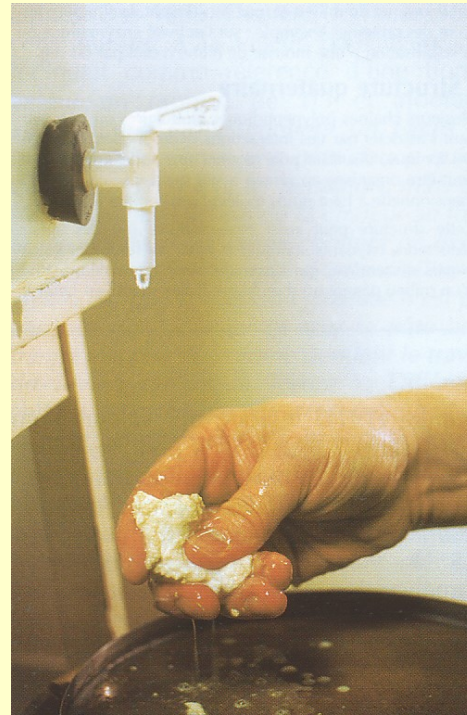
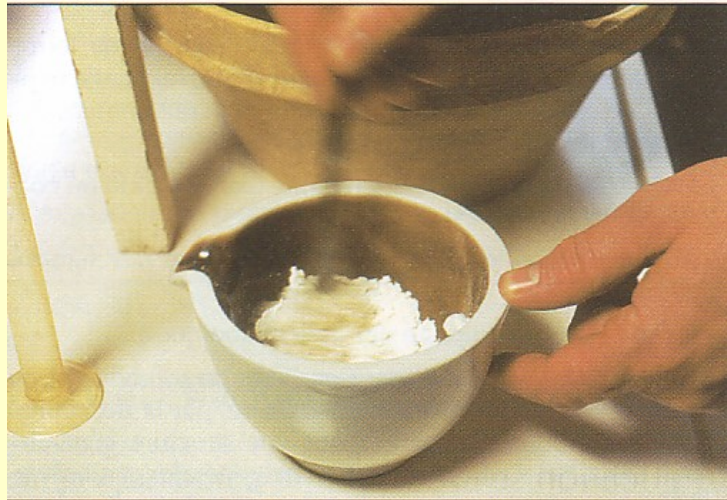
Méthode basée sur l'absorption d'eau par le gluten et le gonflement de celui-ci en présence d'acide lactique

La hauteur du gonflement dépend de la quantité et de la qualité des protéines

Indice variant entre 15 mL (farines faibles) et 80 mL (farines les plus fortes)

Pour les blés boulangers, il est souhaitable d'avoir un indice entre 30 et 40

Extraction manuelle du gluten et appréciation de ses caractéristiques



Teneur en Gluten humide et Gluten Index

Extraction mécanique : ISO 17495 ou gluten index (ICC 155)



Extraction mécanique au
Glutomatic



Centrifugation



Séchage

- Gluten humide : quantité de gluten obtenu par malaxage mécanique d'un mélange de mouture et eau puis lavage du mélange avec une solution d'eau salée
- Gluten Index : tamisage forcé par centrifugation du gluten au travers d'une filière de 600 μm
- Echelle de 1 à 100, GI élevé lorsque la fraction gluténine est élevée, GI faible lorsque la fraction gliadine est élevée
- Pour la panification, GH \sim 24-27%, GI \sim 80-90 %

Caractéristiques du gluten entre variétés anciennes et modernes

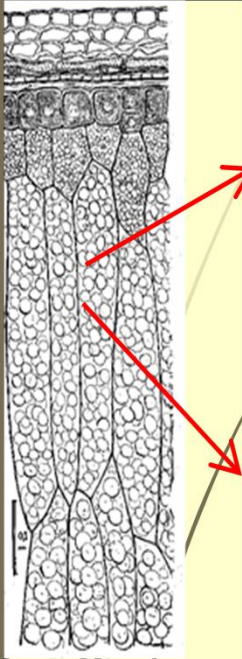
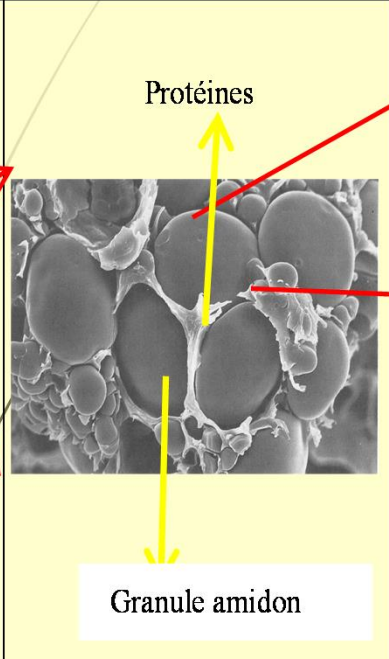
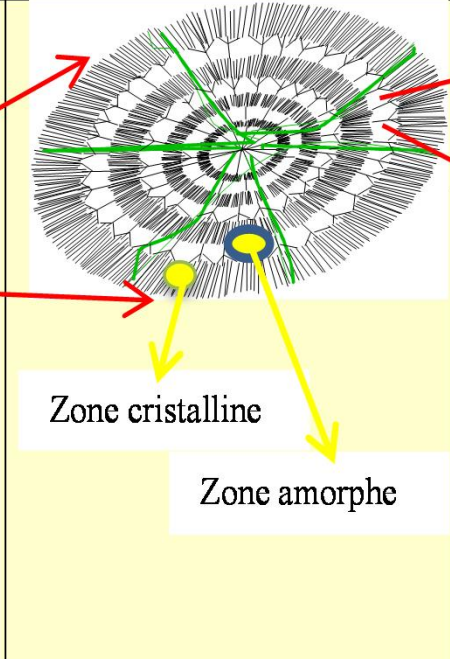
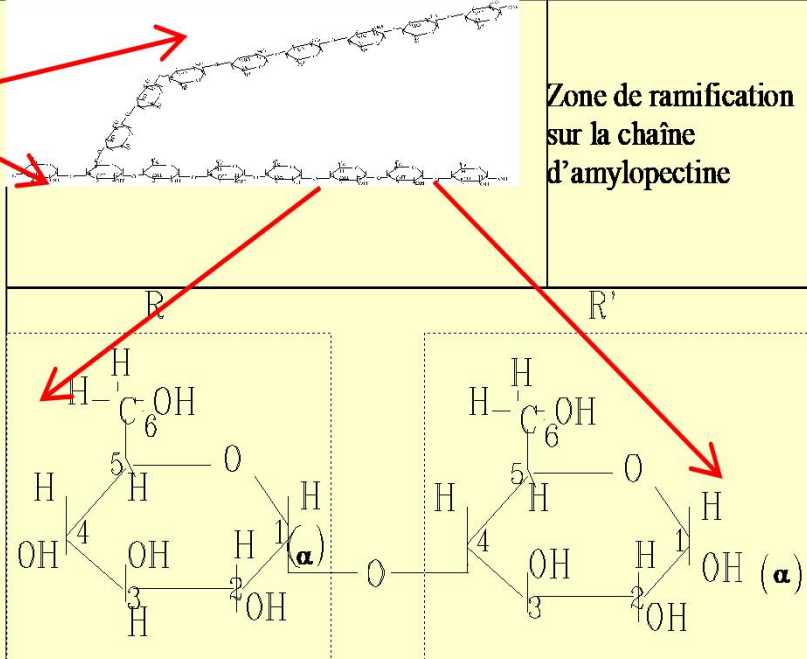
(essais contrat Bakery 2018)

identification échantillons	Mélange Variétal	Dosage du gluten par extraction manuelle et centrifugation au glutomatic	
		Gluten Humide (%)	Gluten Index (%)
Farine 1	GSMA	26,0	44
Farine 2	LAMM	20,0	89
Farine 3	FMMA	29,3	39
Farine 4	GSMM	18,7	87
Farine 5	LAMA	28,4	62
Farine 6	LMMM	25,5	64

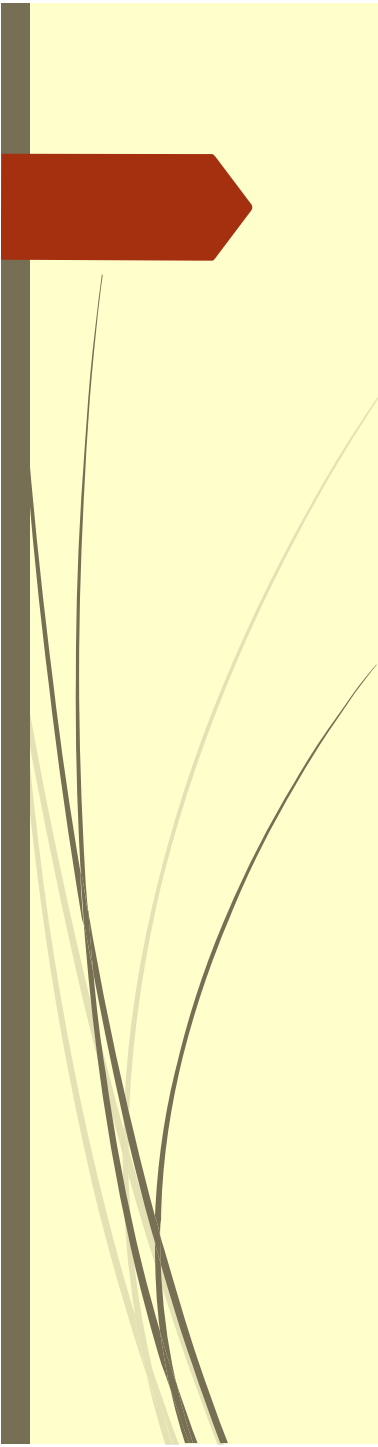
MA : mélange blés anciens MM: mélange blés modernes

Caractéristiques de l'amidon

Polysaccharide de réserve de la plante que l'on trouve dans les chloroplastes et amyloplastes (grains, tubercules...)

	 <p>Protéines</p> <p>Granule amidon</p>	 <p>Zone cristalline</p> <p>Zone amorphe</p>	 <p>Zone de ramification sur la chaîne d'amylopectine</p> <p>R</p> <p>R'</p> $ \begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}_6-\text{OH} \\ \\ \text{H} \quad 5 \quad \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \quad \text{H} \quad \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \\ \text{OH} \quad 4 \quad \text{OH} \quad \quad \text{H} \quad 1 \quad (\alpha) \\ \quad \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \quad \text{H} \quad \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \\ \text{OH} \quad 3 \quad \text{OH} \quad \quad \text{H} \quad 1 \quad (\alpha) \\ \quad \quad \quad \quad \\ \text{H} \quad \quad \text{H} \quad \quad \text{H} \\ \quad \quad \quad \quad \\ \text{OH} \quad 3 \quad \text{OH} \quad \quad \text{H} \quad 1 \quad (\alpha) \end{array} $
<p>Coupe transversale du grain de blé</p>	<p>Vue microscopique de l'albumen</p>	<p>Structuration des chaînes d'amidon (amylose-amylopectine) dans le granule d'amidon</p>	<p>Liaisons entre les molécules de glucose des chaînes d'amidon</p>

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.

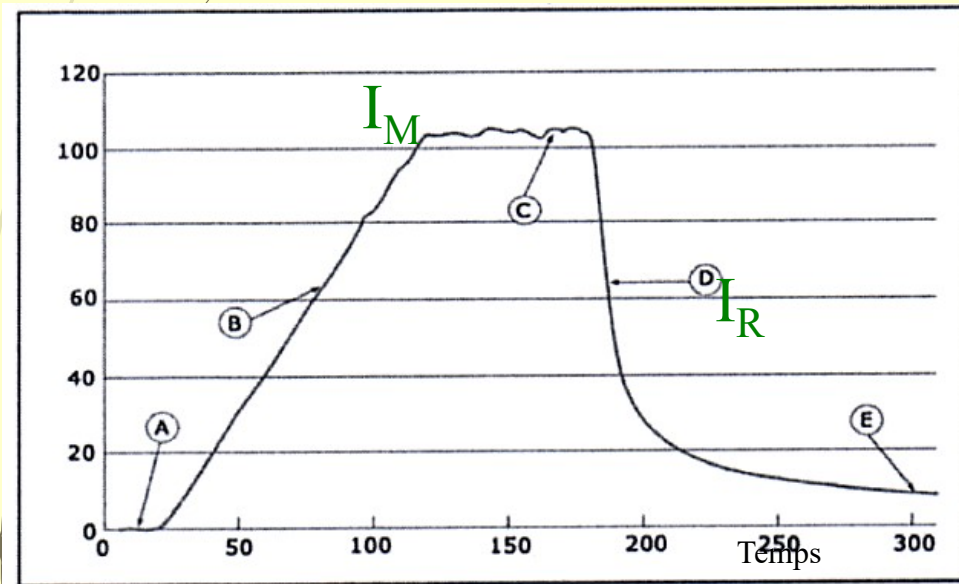
Dosage de l'amidon endommagé par méthode iodométrique

(Méthode de Medcalf et Gilles, 1965)

Mesure de la quantité d'iode absorbée par les granules d'amidon d'une solution réglée à 35°C



Intensité du courant (=iode)



- A : début du cycle de mesure
- B : production d'iode par la sonde
- C : au palier, mesure de la quantité de courant (donc d'iode) créée
- D : à la fin du palier, la farine est introduite, et fixe l'iode, le courant décroît selon cette absorption
- E : à t=300s, mesure de la valeur résiduelle

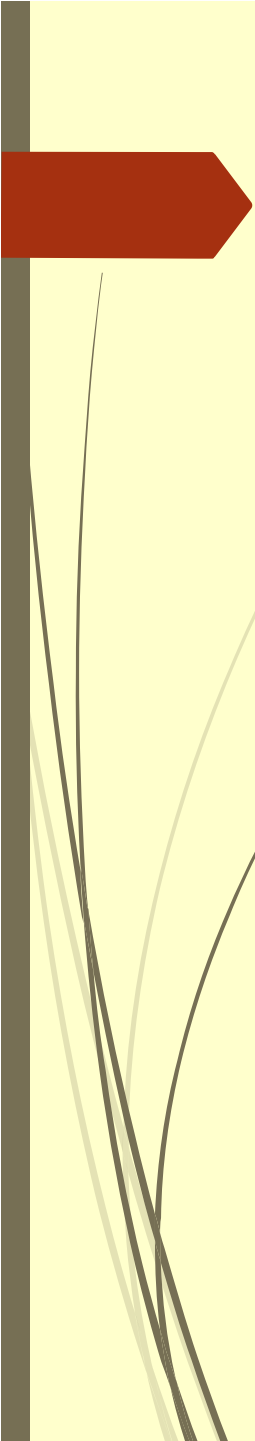
Plus I_r/I_m est faible, plus le taux d'amidon endommagé est important

Caractéristiques des fibres des céréales

Nom	Localisation dans le grain de blé	Structure chimique
Cellulose	Parois des cellules des enveloppes	Polymère de β -D glucose
Pentosanes insolubles (arabino-xylanes)	Parois des cellules des enveloppes	Polymère de xylose avec des ramifications d'arabinose <i>Taux substitution : 0.7-1.1</i> <i>MM : 100 000 à 150 000</i>
Pentosanes solubles (arabino-xylanes)	Parois des cellules de l'albumen et des enveloppes	Polymère de xylose avec des ramifications d'arabinose <i>Taux substitution : 0.6-0.7</i> <i>MM : 20 000 à 60 000</i>

Compte tenu de la diversité des fibres les méthodes de dosage sont nombreuses et peu standardisées

Les fibres



Les fibres des céréales sont composées de chaînes glucidiques de type, cellulose, β glucanes, pentosanes solubles (gommes ou mucillages) et insolubles (hémicelluloses).

Quelque soit leur degré de solubilité, les pentosanes (arabino-xylanes...) qui n'ont pas de structure cristalline comme la cellulose, peuvent fixer facilement l'eau. Leur capacité d'hydratation suivant la viscosité recherchée varie entre 3 à 6 fois leur poids en eau, les pentosanes ont donc des propriétés épaississantes.

Il existe une variabilité en fonction des variétés de blé mais aussi des conditions agroclimatiques.

Propriétés des fibres

Capacité d'absorption d'eau

- Faible pour la cellulose
- Forte pour les pentosanes : 15 g d'eau/g de pentosanes

Propriétés épaississantes :

- Pentosanes

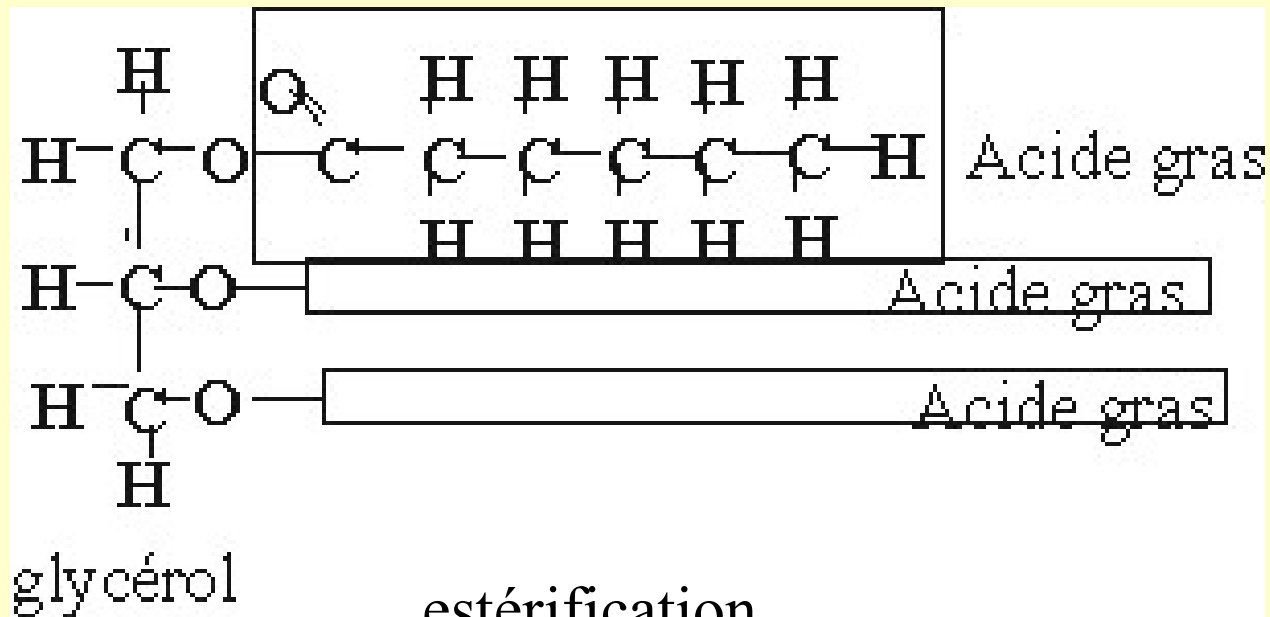
Propriétés gélifiantes ;

- Pentosanes solubles, dans certaines conditions, en interaction avec les protéines du gluten

Influence des principaux constituants dans l'hydratation des pâtes

<i>Molécules</i>	<i>% farine</i>	<i>g/g molécule</i>	<i>Absorption d'eau g/100g de farine</i>	<i>% eau absorbée</i>
Amidon entier	58	0.44	25.4	26.4
Amidon endommagé	10	2	18.4	19.1
Gluten	14	2.15	30	31.2
Pentosanes	1.5	15	22.5	23.4

Lipides : triglycérides



glycérol

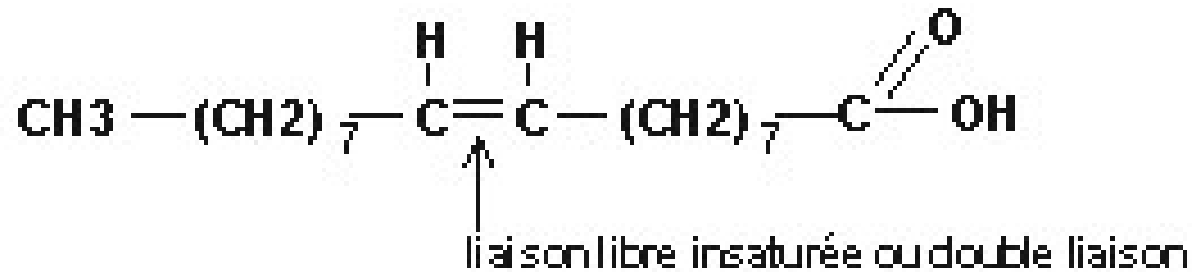
estérification

alcool + acide \rightleftharpoons ester + eau

hydrolyse

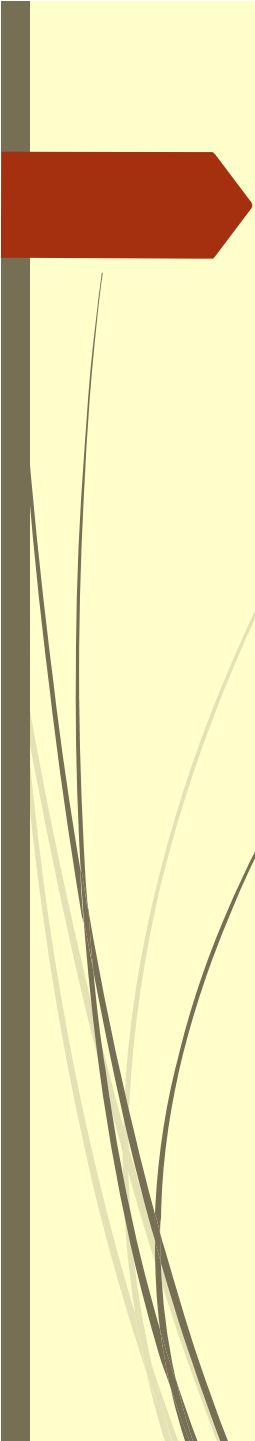
Les lipides de l'albumen du grain étant liés majoritairement aux protéines, leur hydrolyse conduit à une modification de la qualité du gluten

Lipides : oxydation



Après hydrolyse par la lipase, les acides gras insaturés libres sont susceptibles de s'oxyder.

Les hydroperoxydes formés peuvent oxyder les protéines et les pigments caroténoïdes



Les analyses indirectes de prédiction de la valeur boulangère

Si la valeur boulangère d'une farine est liée directement à sa composition chimique :

- la quantification des éléments organiques (glucides, lipides, protides) et minéraux ne permet qu'une première approche qualitative de ce produit mais insuffisante pour prédire la valeur boulangère.

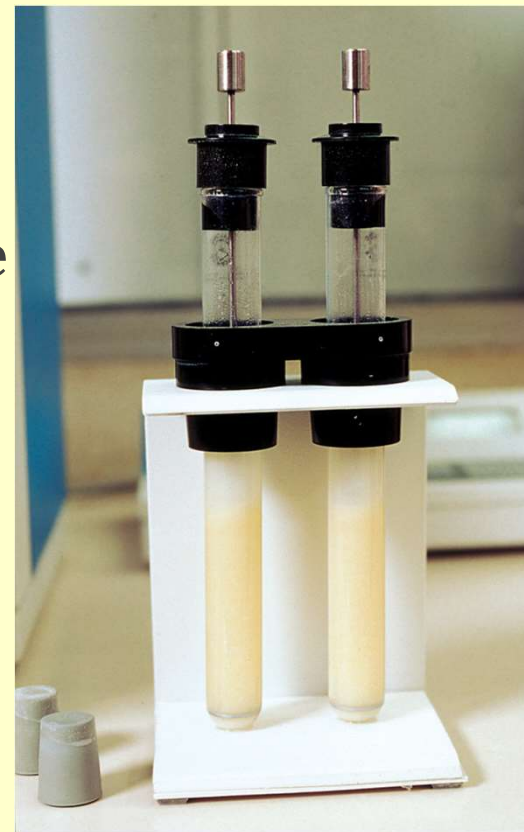
- l'interaction de ces constituants avec l'eau dans un milieu pâteux permet par l'analyse rhéologique d'avoir une approche complémentaire souvent plus pertinente mais qui reste incomplète.

Les analyses enzymatiques : le temps de chute de Hagberg



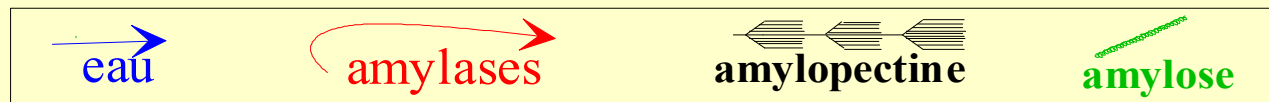
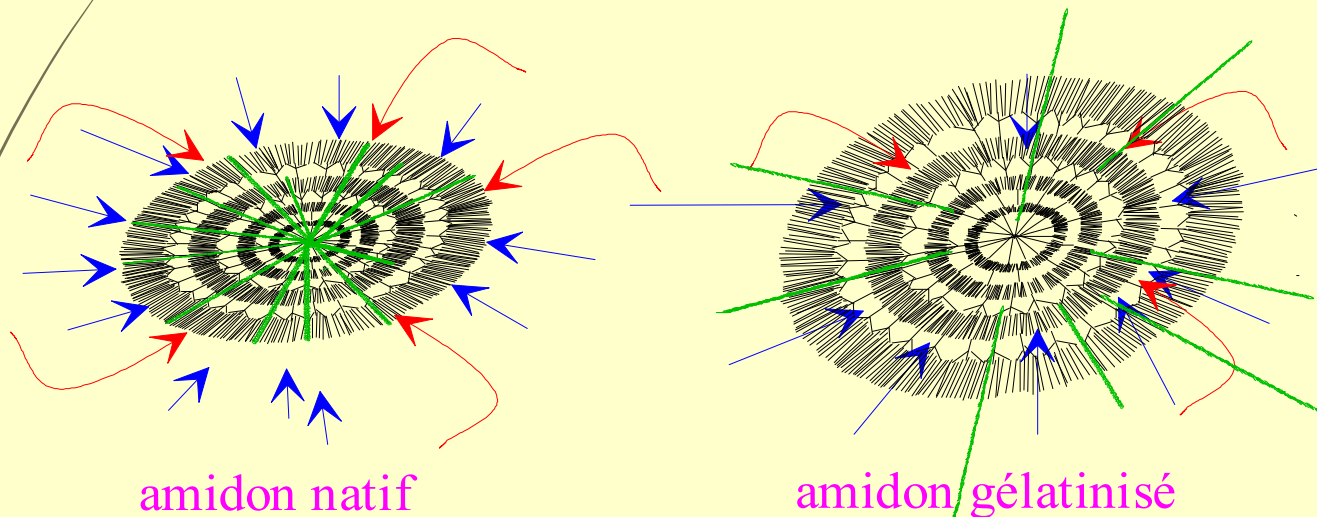
Détermine le niveau d'activité alpha-amylasique, qui peut devenir excessive par suite de la présence de grains germés ou en voie de germination.

Temps que met un stylet à atteindre le fond d'un tube contenant un mélange de mouture et d'eau, immergé dans un bain bouillant.

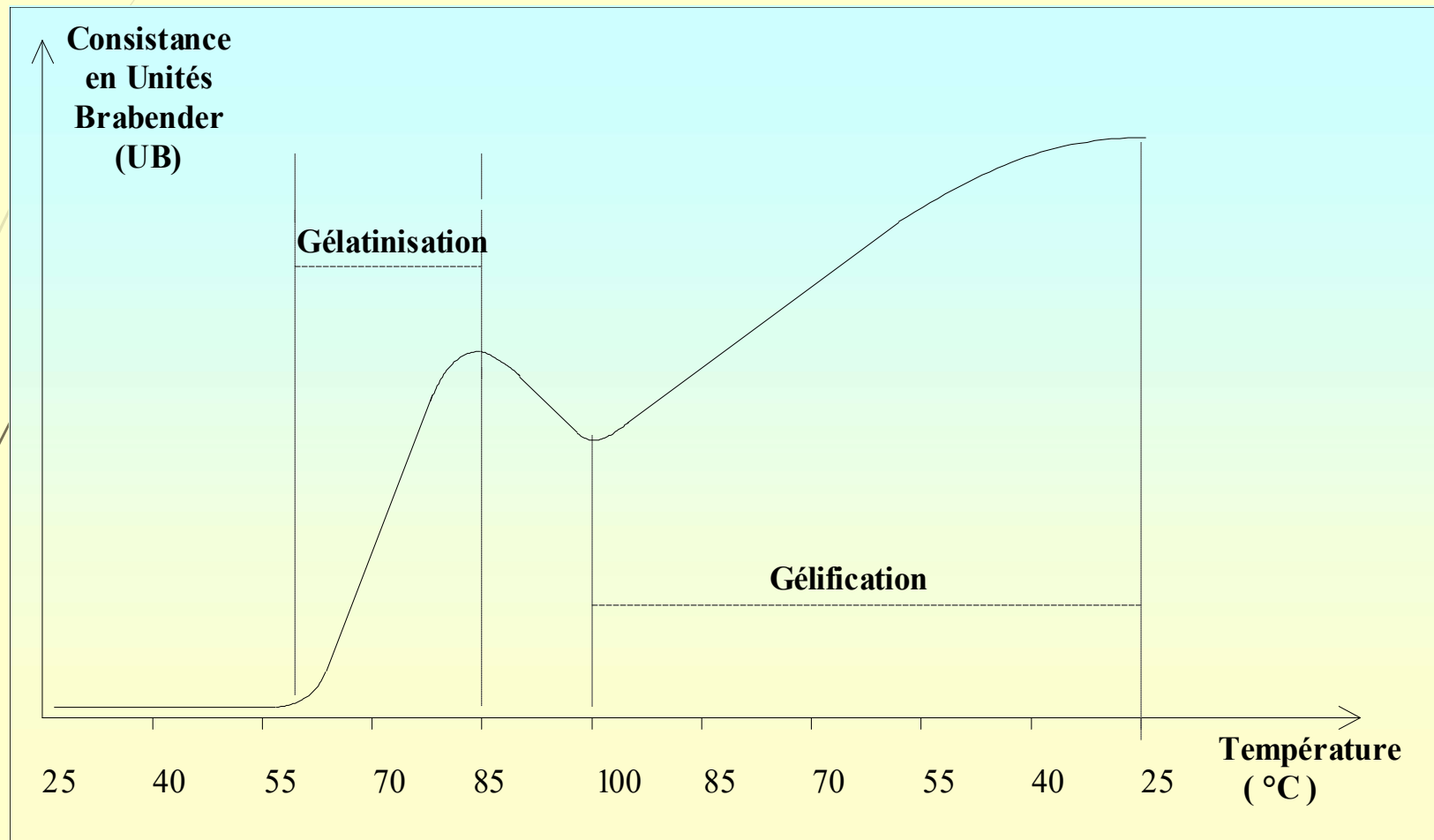


Influence de la température sur la structure de l'amidon

Modification du grain d'amidon de l'état cristallisé vers un état amorphe sous l'effet de la température. L'eau diffuse dans le granule, celui-ci gonfle, formation de liaisons entre chaînes, le milieu s'épaissit : il gélatinise



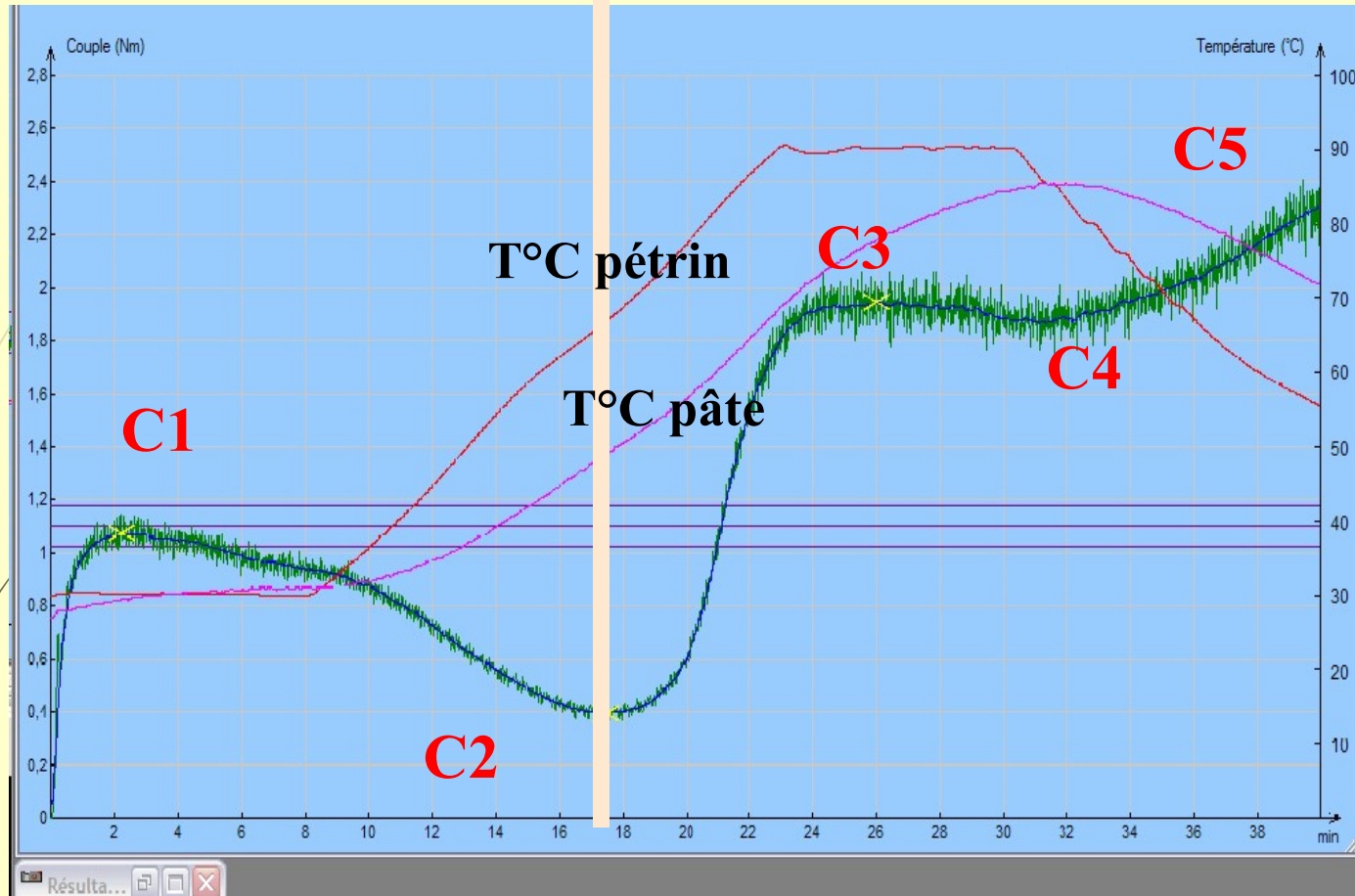
Les analyses rhéologiques : l'Amylographe de Brabender



Les analyses rhéologiques : le Mixolab de Chopin



La courbe du Mixolab



- C1 : couple cible de consistance au pétrissage : $1,1 \text{ Nm} \pm 0,07$
- C2 : couple de consistance minimale avant gélatinisation
- C3 : couple de consistance maximale pendant la gélatinisation
- C4 : couple de consistance minimale après gélatinisation
- C5 : couple de consistance en phase de refroidissement

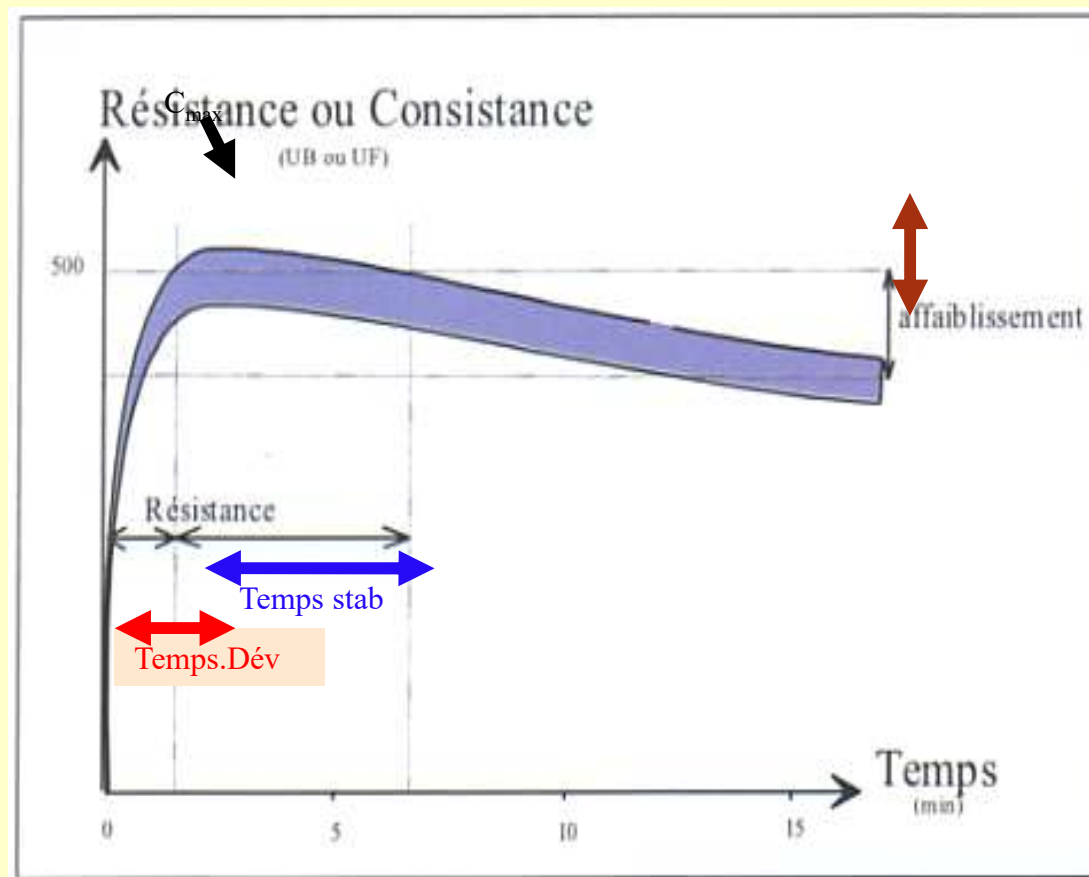
Caractéristiques des variétés anciennes et modernes au Mixolab

(essais contrat Bakery 2018)

Farines	Absorption Mixolab (%)	C1	C2	C3	C4	C5
		couple (N.m)	couple (N.m)	couple (N.m)	couple (N.m)	couple (N.m)
1	56,4	1,03	0,32	1,84	1,79	3,17
2	59	1,1	0,48	1,82	1,57	2,57
3	56	1,13	0,36	1,87	1,45	3,08
4	56,8	1,09	0,38	1,91	1,56	2,67
5	57,5	1,03	0,31	1,78	1,71	2,97
6	60,9	1,12	0,51	1,73	1,32	2,71

Farinographe Brabender

(NF ISO 5530-1)



Paramètres

Absorption d'eau (%)

- Volume d'eau (mL) pour 100 g de farine à 14 % de teneur en eau permettant d'atteindre une consistance maximale de 500 UF

Temps de développement (min)

- Temps écoulé depuis le début de l'addition d'eau jusqu'au point situé juste avant les premiers signes de décroissance de la courbe, quelle que soit la norme.

Degré d'affaiblissement (UF)

- Différence entre la consistance obtenue en fin de développement et la consistance 12 min après ; l'AACC ne prend pas en compte ce paramètre

Stabilité (min)

- Temps écoulé entre le moment où le sommet de la courbe dépasse 500 UF et le moment où il repasse cette ligne. La norme NF-ISO ne prend pas en compte ce paramètre

Précision des mesures au farinographe

Norme ISO 5530-1 (1998)

Mesure	Répétabilité	Reproductibilité
Absorption d'eau	0,52 % ¹⁾	1,60 % ¹⁾
Temps de développement jusqu'à 4 min	16 % de la moyenne	48 % de la valeur moyenne
supérieur à 4 min	Aucun résultat fiable	

¹⁾ En millilitres d'eau par 100 g de farine.

Signification des paramètres farinographiques

Consistance (ou résistance) : liée aux caractéristiques visqueuses, élastiques de la pâte, ainsi qu'à son collant

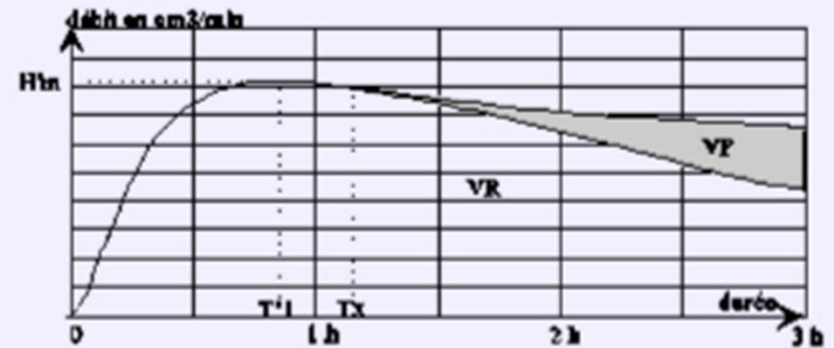
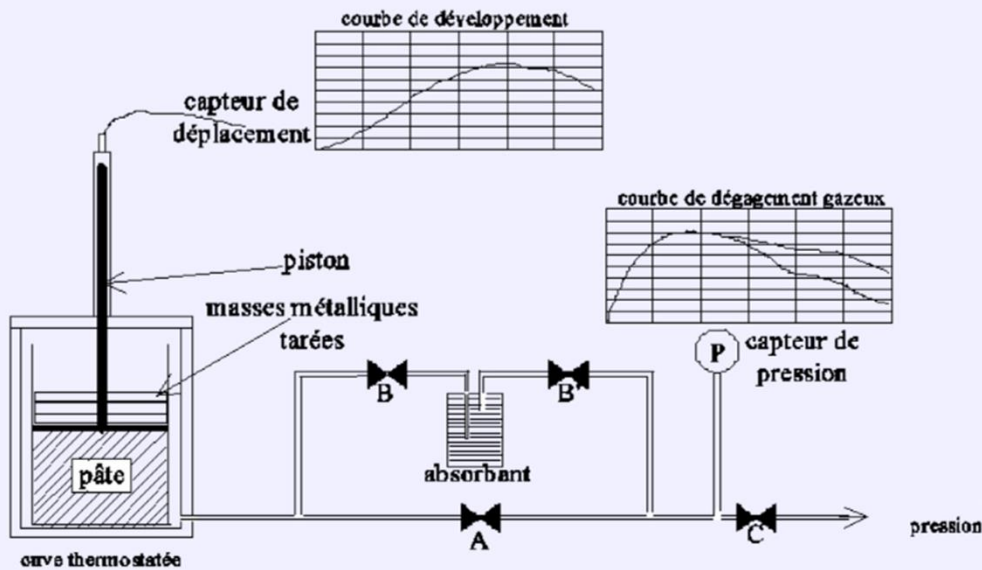
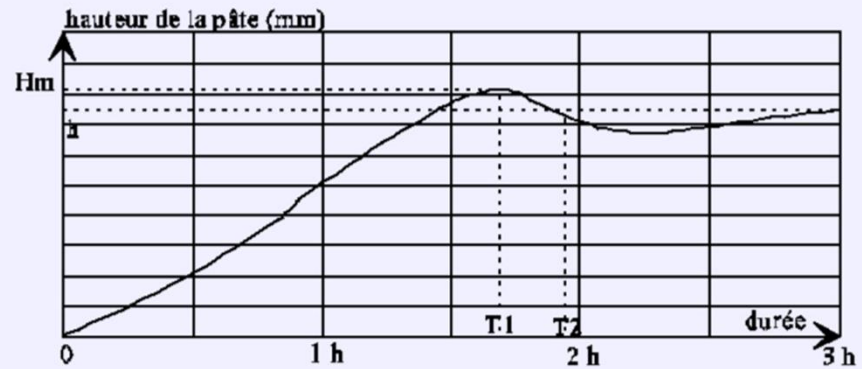
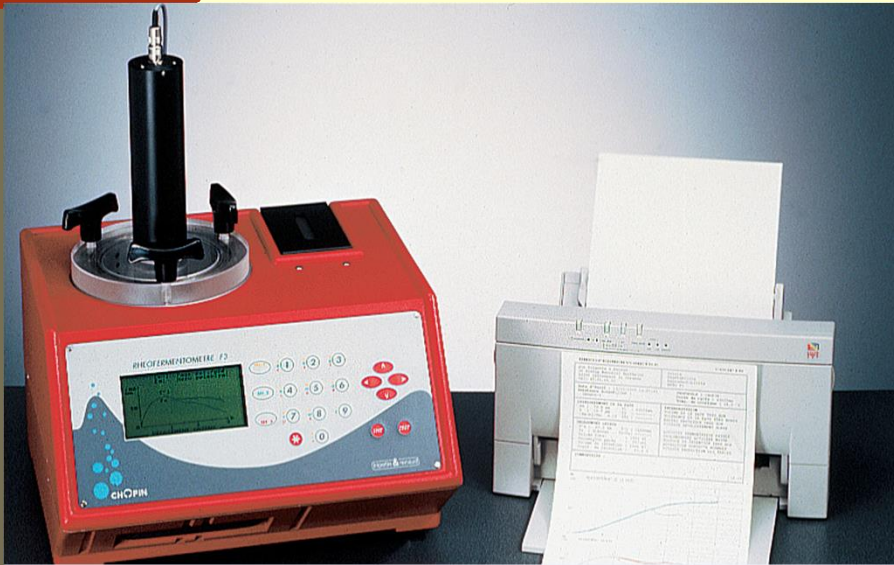
Temps de développement : fonction de la rapidité de la formation de la structure gluténique, et de la vitesse d'hydratation des particules de farine ;

- ▀ augmente avec la teneur en protéines et avec une granulométrie plus grossière

Temps de stabilité : tolérance de la pâte à l'action mécanique

- ▀ lorsque la pâte est formée, elle s'oriente au cours du pétrissage et offre moins de résistance
- ▀ les farines de forte granulométrie, à teneur en amidon endommagé élevée s'hydratent plus lentement, d'où formation du réseau protéique plus lente, et stabilité plus élevée

Les analyses rhéologiques : le Rhéofermentomètre de Chopin



Amidon, amylases et levure : la base de la fermentation

L'activité fermentative augmente avec :

- ↗ de la quantité et de la viabilité des microorganismes (viabilité)

- ↗ de la température (↗ l'agitation moléculaire ⇨

- ↗ de l'activité des enzymes) ;

- ↗ l'activité amylasique de la farine qui libère des substrats (maltose et glucose) fermentescibles ;

- ↗ de la proportion d'amidons « endommagés »

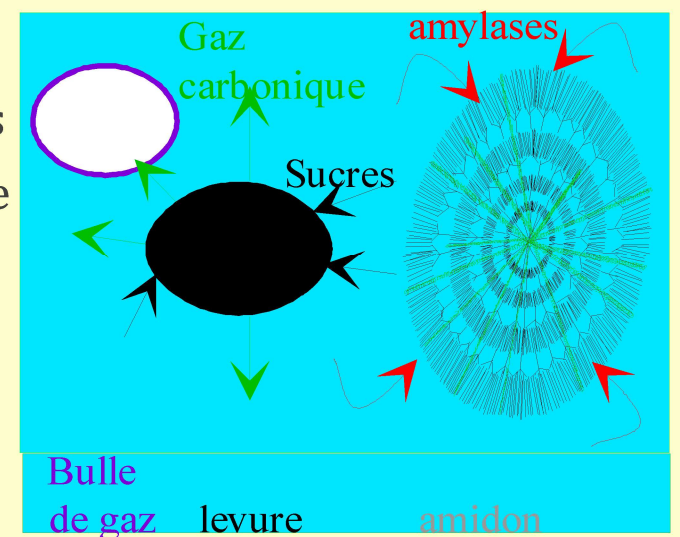
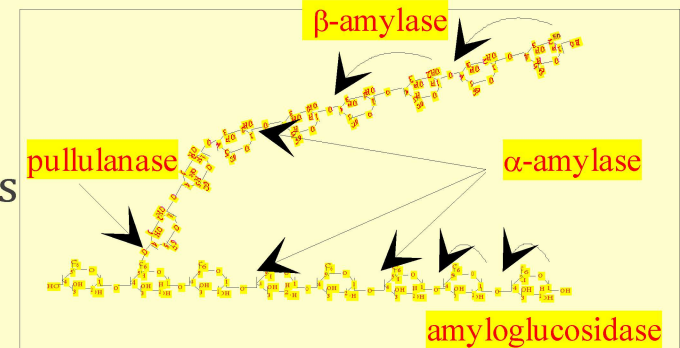
(facilite l'accès et l'action des amylases dans le granule)

- ↗ des sucres préexistants de la farine ou ajoutés (dans les fabrications enrichies, on considère que l'activité augmente quantité de sucre incorporé par rapport à la farine)

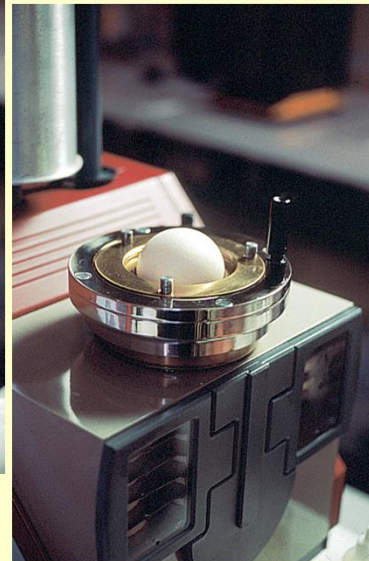
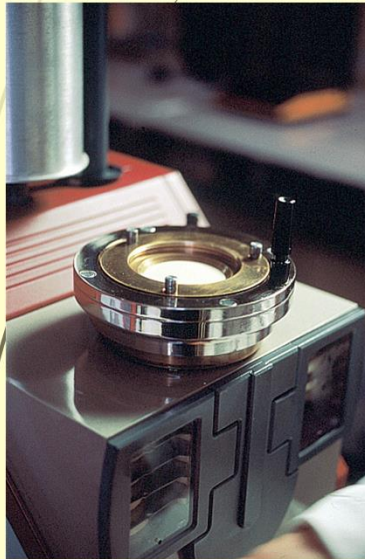
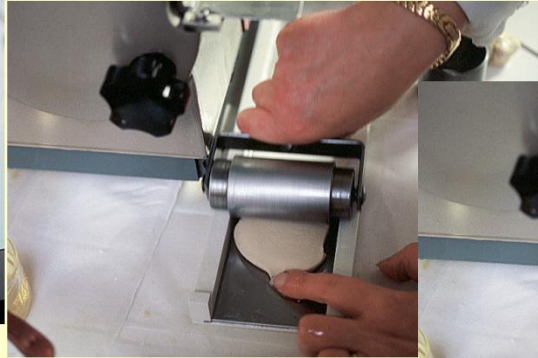
- ↘ de la pression osmotique (↘ du sel et ↘ du sucre pour des doses > 10 %)

- ↗ de l'hydratation des pâtes (permet la dissolution de sucres et leur transfert vers les microorganismes)

- lorsque que le pH est optimal pour les levures et les bactéries, entre 5 et 6



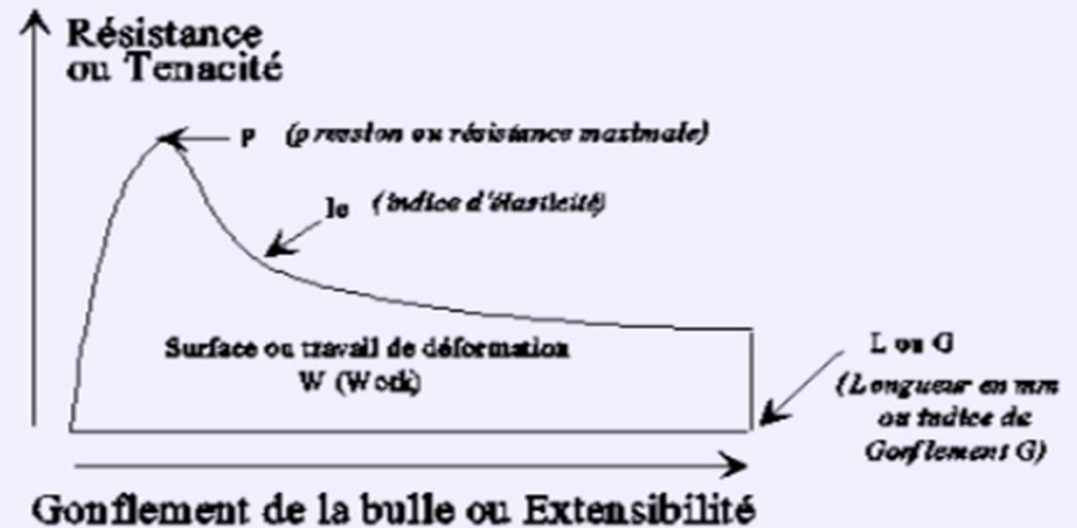
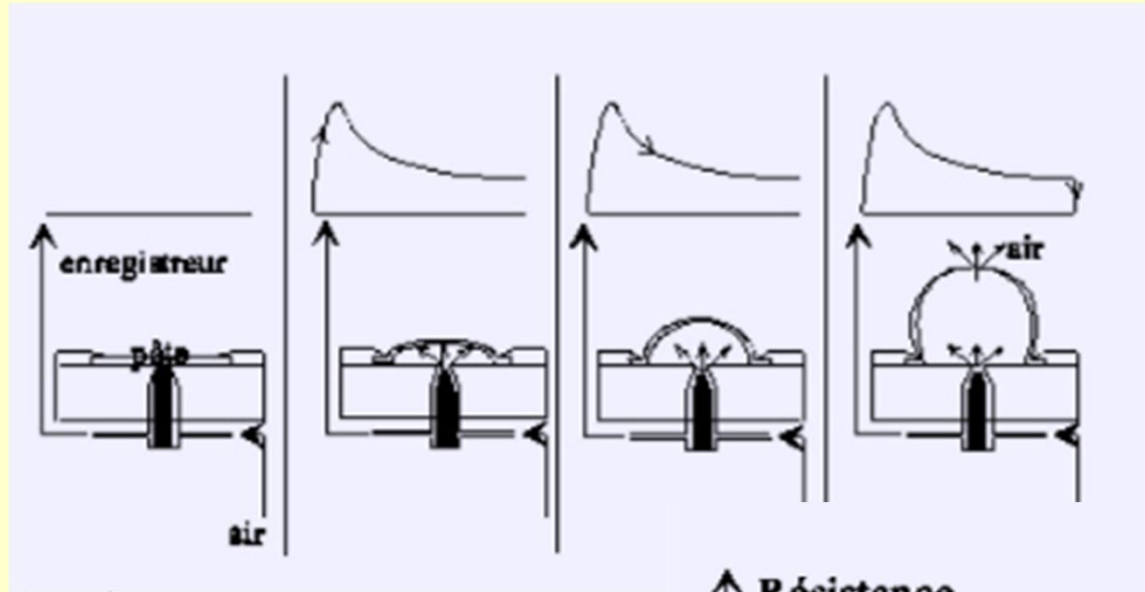
Les analyses rhéologiques : l'Alvéographe de Chopin



Préparation de
l'éprouvette de pâte,
à teneur en eau
constante

Gonflement

La courbe alvéographique



Signification rhéologique des paramètres alvéographiques

P : résistance maximum de la pâte à la déformation

P dépend :

- de la consistance de la pâte, ou de sa **viscosité**
- de la **résistance élastique**

L : représente l'**extensibilité** biaxiale de la pâte.

$I_e = P_{200}/P$ dépend des propriétés **élastiques** de la pâte

- courbe creuse; pâte peu élastique (ex: Thésée)
- chute de pression faible : pâte élastique et peu extensible (ex : Soissons, blés de force)

Analyse des paramètres alvéographiques en fonction d'une utilisation en panification française

Appréciations	P	G	le	W
insuffisant	< 40	< 20	< 35	< 150
moyen	40 - 60	20 - 22	35 - 45	150 - 180
bon	60 - 80	22 - 24	45 - 55	180 - 220

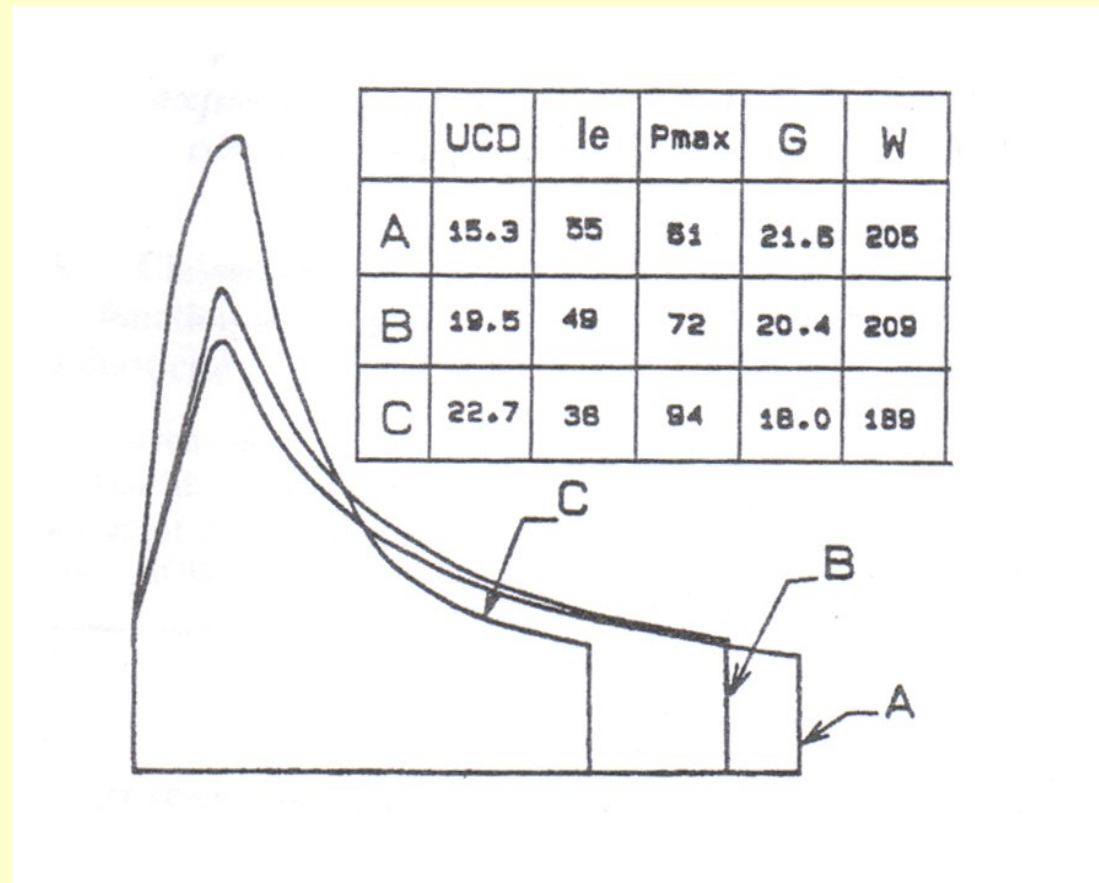
Reproductibilité :

W : coefficient de variation de 8 %

P : coefficient de variation de 8 %

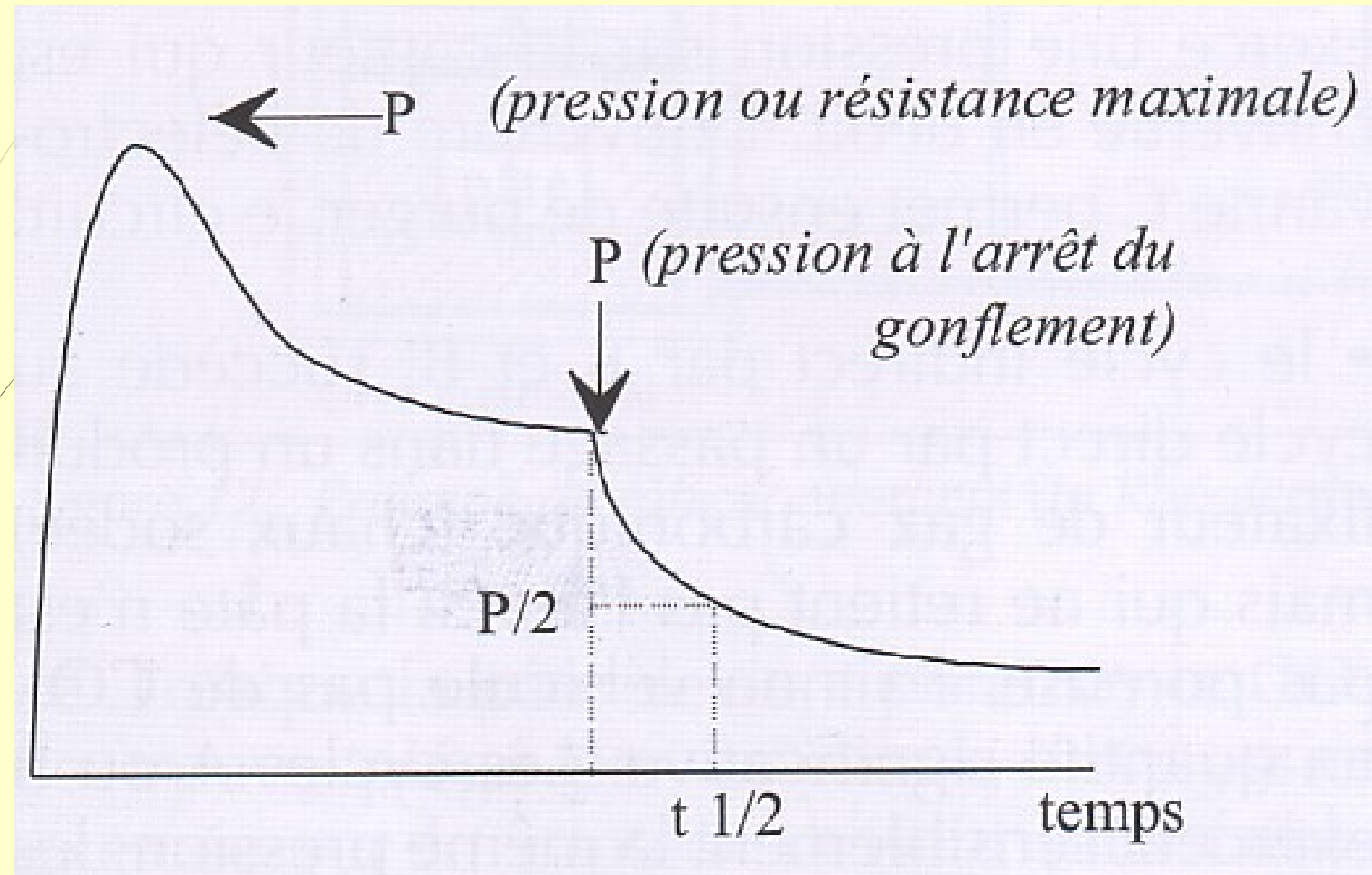
G : coefficient de variation de 5 %

Influence des conditions de mouture sur les paramètres alvéographiques



Une augmentation du **degré d'endommagement de l'amidon (UCD)** accroît le **potentiel d'hydratation de la farine**.

Relaxomètre Chopin (NF ISO 5530-2)



Relaxomètre Chopin

La fiabilité des analyses

Répétabilité : qualité d'une mesure qui donne le même résultat si on la répète dans des conditions identiques et dans un court intervalle de temps.

Reproductibilité : Qualité d'une mesure qui donne les mêmes résultats si on la répète dans des conditions différentes et à des époques différentes.

Tolérance analytique : écarts admissibles liés à la méthodologie ou aux appareils, exemple pour l'alvéographe :

Alvéographe	Répétabilité	Reproductibilité
W	± 5,65	± 6,86
P	± 2,78	± 3,15
L	± 6,79	± 8,33
P/L	± 7,92	± 9,54
G	± 3,44	± 4,22

L'auto-contrôle : le rôle du BIPEA

- Son objectif principal est d'organiser, dans différents secteurs d'activité, des essais de comparaisons interlaboratoires .
- Pour ce faire, l'association propose des circuits réguliers de comparaisons interlaboratoires (mensuel ou trimestriel). Une dérive ou un biais systématique des résultats d'analyses ne peut être mis en valeur que par une observation sur le long terme.
- Les échantillons proposés sont homogènes et se rapprochent de près de ceux analysés en routine.
- Les traitements statistiques du BIPEA permettent d'évaluer la performance d'un laboratoire à partir d'une valeur assignée avec une tolérance fixée à l'avance. Le z-score est également communiqué en valeur indicative au sein des rapports de comparaisons interlaboratoires.

Avantages et limites des analyses indirectes

Intérêt des analyses indirectes : rapidité, la répétabilité, le coût et la reproductibilité.

Les corrélations entre une valeur d'analyse indirecte et la valeur boulangère pour du pain français (somme de critères multiples) sont imparfaites.

Les potentialités qualitatives observées par ces analyses ont une meilleure valeur prédictive sur un ou quelques critères.

Cette approche permet de définir ce que l'on ne veut pas. On borne des niveaux inférieurs et/ou supérieurs au delà desquels on considère que la qualité ne sera pas assurée.

Exemple de corrélation entre analyses indirectes et panification

G (alvéographe)	lissage des pâtes
P (alvéographe)	Consistance des pâtes au pétrissage
Ie (alvéographe)	élasticité des pâtes, allongement au façonnage
Amidons endommagés	hydratation des pâtes
% protéines	hydratation, élasticité, rétention gazeuse
Rapport gliadines/gluténines	lissage des pâtes

Exemple de bornage qualitatif pour le choix des blés en panification française

- Protéines sur blé (en % m.s. ; $N \times 5,7$) : $\geq 11 \%$ et $\leq 13 \%$
- Amidons endommagés (Unités Chopin-Dubois) : ≥ 15 et ≤ 25
- Temps de chute de Hagberg ≥ 250 secondes

- Caractéristiques alvéographiques (sans produits d'addition) :

Appréciations	P	G	Ie	W
insuffisant	< 40	< 20	< 35	< 150
bon	60 - 80	22 - 24	45 - 55	180 - 220

Valeurs indicatives de teneurs en protéines en fonction des procédés « pain français »

	Protéines de la farine (**) (en % m.s. ; $N \times 5,7$)
Pain au levain	8 - 10
Pain de tradition (PA, pousse normale) (*)	9 - 10
Pain de tradition (PA, pousse lente) (*)	10,5 - 11,5
Pain courant français (PI, pousse normale) (*)	10 - 11
Pain courant français (PI, pousse contrôlée) (*)	10,5 - 11,5
Pain courant français (PI, pâte crue surgelée) (*)	11 - 13
Pain courant français (PI, prépoussé surgelé) (*)	> 15

(*) PA : Pétrissage amélioré, PI : Pétrissage Intensifié

(**) La mouture du blé fait perdre environ 1 % de sa teneur en protéines

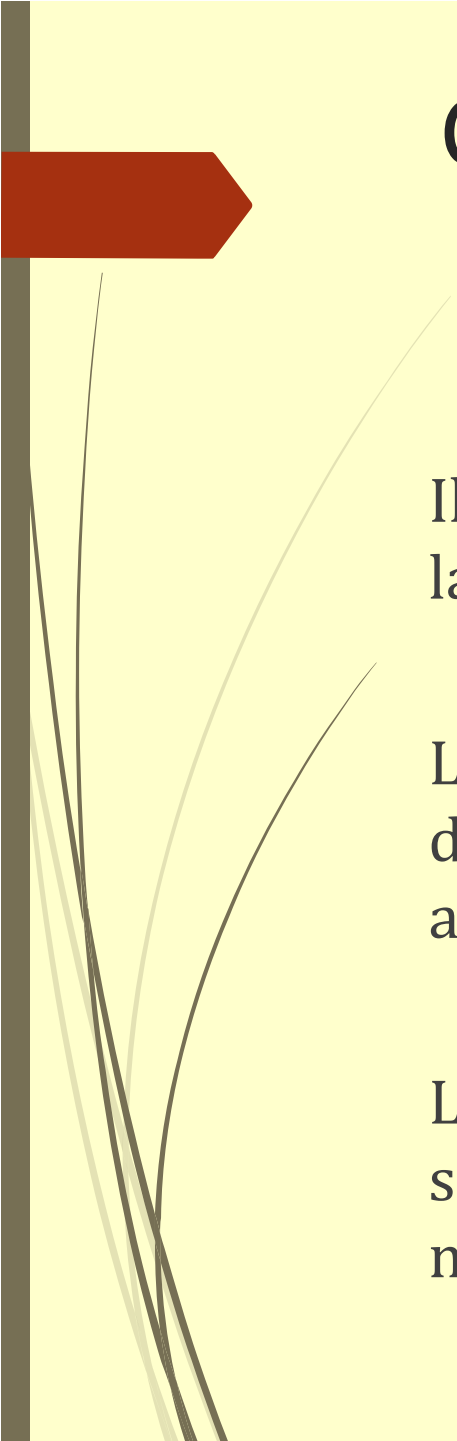
Grilles de classement des blés français

(France Agrimer-Arvalis, 2018)

Classes	Taux de protéines: (N x 5,7) % MS	Force boulangère (W en 10 ⁻⁴ J/g)	Poids spécifique (kg/hl)	Indice Hagberg (s)
Premium (A1)	≥11,5	≥170	≥77	≥240*
Supérieur (A2)	≥11	ns	≥76	≥220*
Médium (A3)	≥10,5	ns	ns	≥170*
Access (A4)	sc	ns	ns	ns

sc : spécifié au contrat / ns : non spécifié

Les classes Supérieur et Médium peuvent être utilisées sans spécification Hagberg et dans ce cas, les appellations sont Supérieur' et Médium'



Caractérisation technologique des blés et farines

Il s'agit de la valeur d'utilisation de la farine pour la fabrication d'un produit.

La valeur boulangère correspond à la fabrication d'un type de pain, et la valeur biscuitière est associée à la fabrication d'un type de biscuit.

La détermination de la valeur technologique suppose la mise en oeuvre d'un protocole normalisé de fabrication à échelle réduite.

Le travail des pâtes

Objectif de début de fabrication est l'élaboration d'une pâte de consistance ou viscosité constante à une température donnée, pour un type de produit fabriqué

On peut distinguer 5 grands types de pâte :

- les pâtes très dures : type pâtes alimentaires ;
- les pâtes dures : types pâtes biscuitières pour biscuits secs laminés ou moulés ;
- **les pâtes bâtardes ou semi-dures : type pâtes boulangères ;**
- les pâtes molles aérées ou non : type pâtes pâtisseries ;
- les pâtes liquides : types pâtes à crêpes.

Mais au cours de la fabrication la consistance évolue ainsi que les propriétés élastiques

Analyse de la valeur biscuitière (le test biscuitier CTCPA)



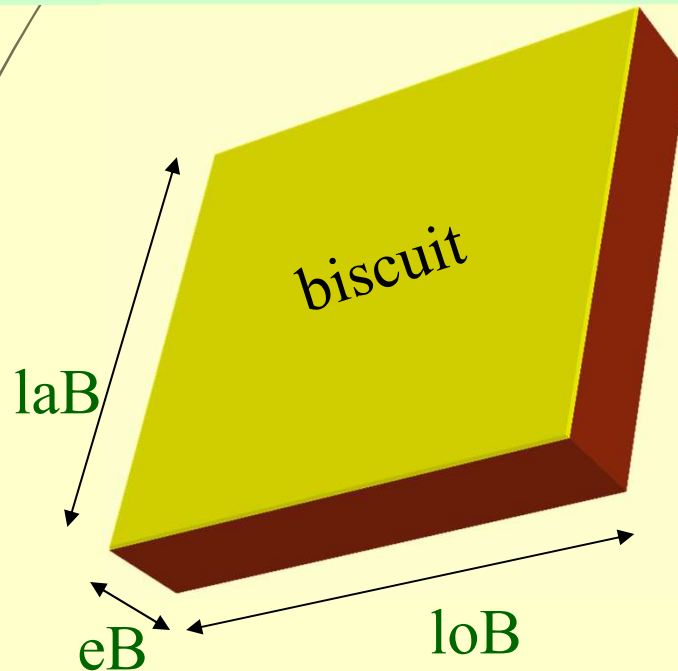
Formulation :

Type « goûter »

Pétrissage à hydratation constante (24 %)

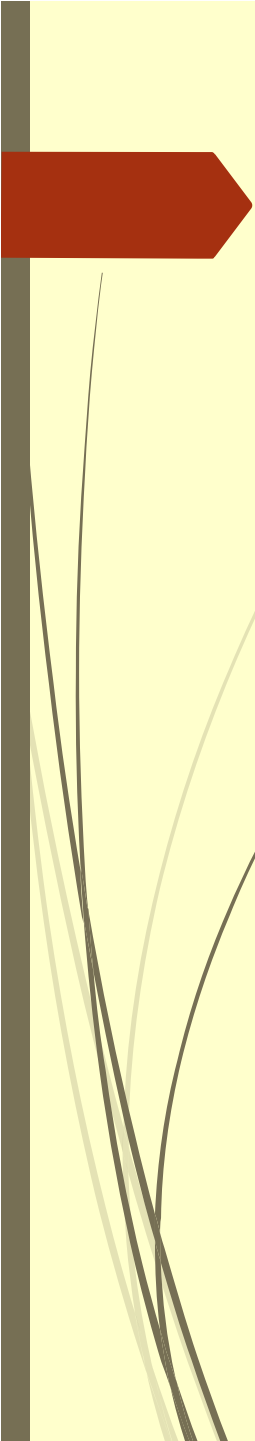
Laminage/découpage

Cuisson à perte en eau constante (-20 %)



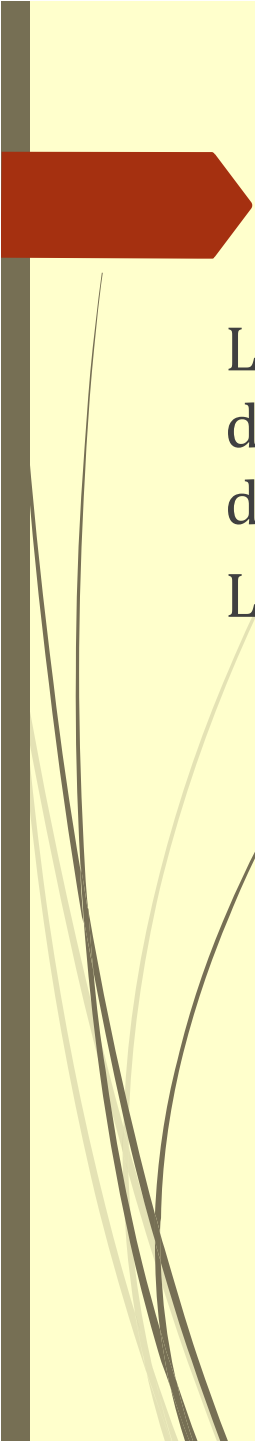
Observations et mesures

- Aspect de surface :
1 à 5
- Volume du biscuit
(cm³) $laB \times loB \times eB$
- Masse du biscuit (g)
- Densité (g/cm³) :
bonne $\leq 0,3$ g/cm³
- Rétreint : $loB < 6$ cm
- Etalement : $loB > 6$ cm



Notion de valeur boulangère appliquée au pain français

- rendement en pâte : absorption d'eau pour une consistance donnée ;
- tolérance de la pâte au pétrissage ;
- machinabilité de la pâte : critères de collant, d'élasticité, de stabilité, d'extensibilité ;
- développement de la pâte et du pain (caractéristiques de production gazeuse, de rétention gazeuse et d'aptitude à la déformation) ;
- aspect extérieur du pain (couleur, texture, coups de lame)
- qualité organoleptique de la mie (couleur, odeur, texture).



Approche prédictive de la valeur boulangère

La valeur boulangère est une caractéristique variétale mais la détection de la variété ne suffit pas pour connaître la valeur d'utilisation.

La qualité technologique dépend principalement :

- des caractéristiques intrinsèques du blé (génotype et phénotype), liées à la composition biochimique notamment avec la quantité et la qualité des protéines et aux activités enzymatiques ;
- de l'influence pédo-climatique
- de l'évolution du blé et de la farine au cours de leur conservation
- du comportement et de l'évolution de la farine transformée en pâte au cours de la panification.



Essai de panification (NF V03-716)

Valeur d'utilisation de la farine pour la panification

Cela suppose la mise en œuvre d'un protocole normalisé de fabrication à échelle réduite. L'essai normalisé est sur la base du pain courant français en pétrissage intensifié

Formule simple :

- Farine : 100
- Eau : ~ 60
- Sel : 2
- Levure : 2.5
- Farine de malt : selon TC Hagberg
- Acide ascorbique : 0.002

Descripteurs des pâtes et des pains à l'essai de panification



Hydratation
Lissage
Collant
Relâchement
Elasticité
Extensibilité



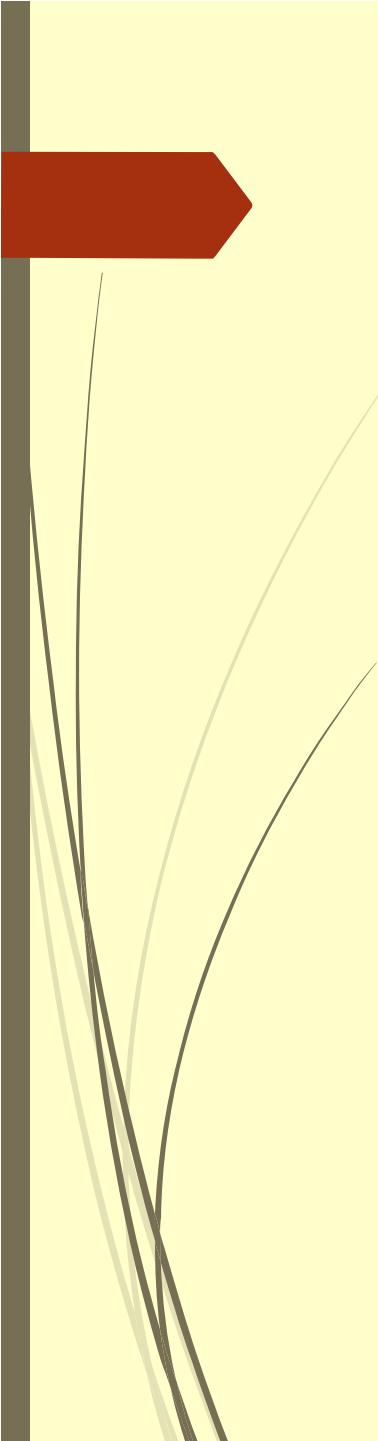
Allongement
Déchirement
Élasticité
Collant



Fermentation
Collant
Tenue



Volume
Coups de lame
Epaisseur croûte
Couleur croûte
Couleur mie



Détermination de la valeur boulangère pour le pain français

La somme des observations constitue la note de valeur boulangère « pain français » exprimée sur 300 points.

- note de pâte sur 100 points ;
- note de pain sur 100 points ;
- note de mie sur 100 points.

Le rendement en pâte est noté séparément

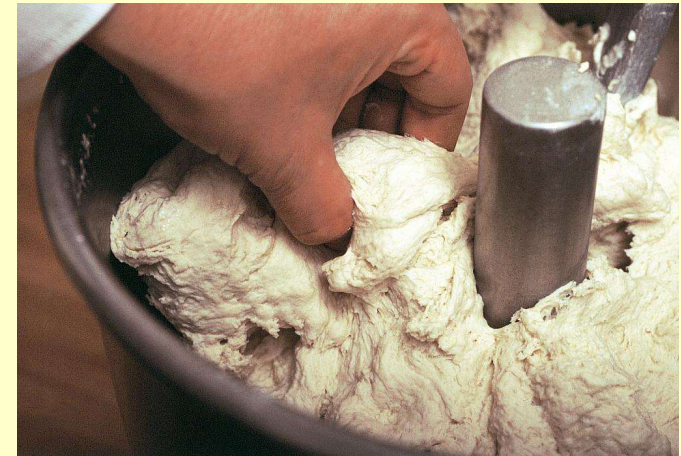
Les descripteurs doivent être bien définis pour être évalués et notés

Descripteurs qualité des pâtes à l'essai de panification pain français

Interprétations	insuffisance				excès		
observations et notes	1	4	7	10	7	4	1
Lissage							
Collant de la pâte							
Consistance							
Extensibilité							
Elasticité							
Relâchement							

Appréciation de la consistance

Mesure de résistance à la déformation (enfouissement des doigts dans la pâte). La consistance est liée à l'aptitude à l'écoulement de la matière, elle fait apparaître des notions de fluidité et de viscosité.



La consistance est jugée en « excès » ou en « insuffisance ».

Le caractère normal est évalué par une référence témoin

Un jugement répétable suppose une mesure à vitesse de déformation constante

Appréciation de l'élasticité

Capacité que possède un corps (pâte) à reprendre sa forme initiale après une déformation (étirement) et arrêt de la déformation.

Elle peut être évaluée par le niveau de résistance permanent lorsqu'on maintient la déformation.

Précautions à prendre pour avoir un jugement répétable :

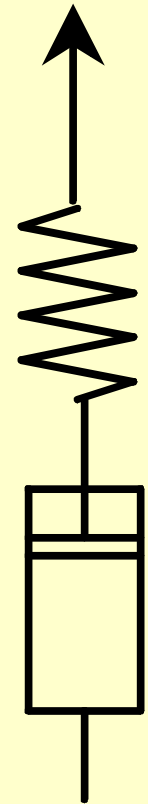
Effectuer la mesure à déformation constante et à faible niveau de déformation (exemple : $\cong 5$ cm).
Temps de repos ou de relaxation sensiblement constant



Synonymes : force, corps.

Appréciation de la relaxation

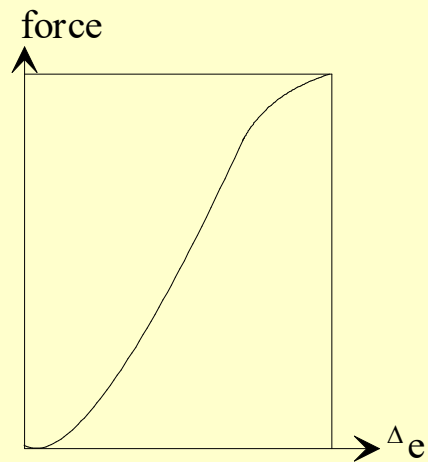
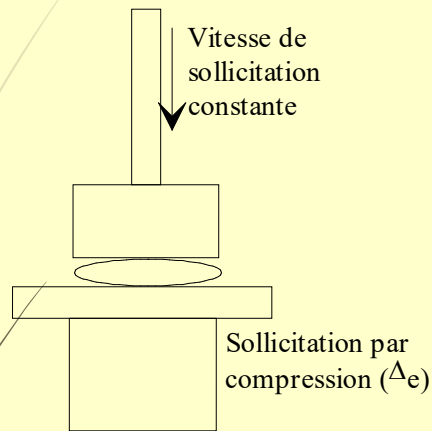
La relaxation correspond à la dissipation ou à la diminution des contraintes internes dans la pâte pour une déformation qui reste constante



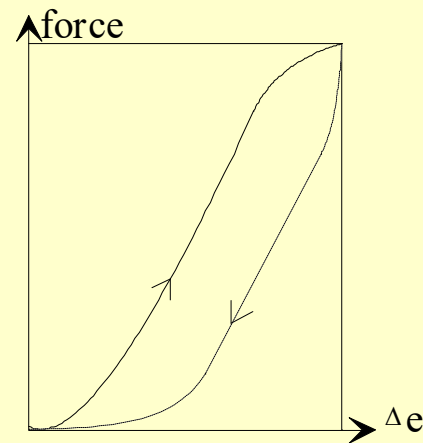
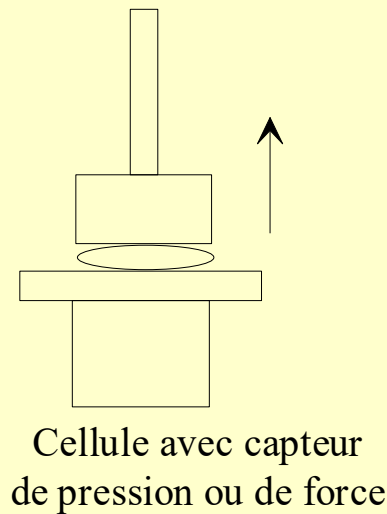
Synonyme : détente

Mesures instrumentales de la consistance et de l'élasticité

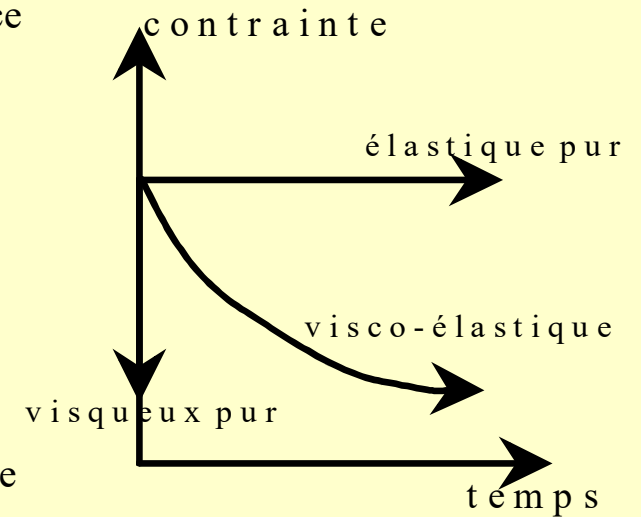
Consistance



Elasticité



Relaxation



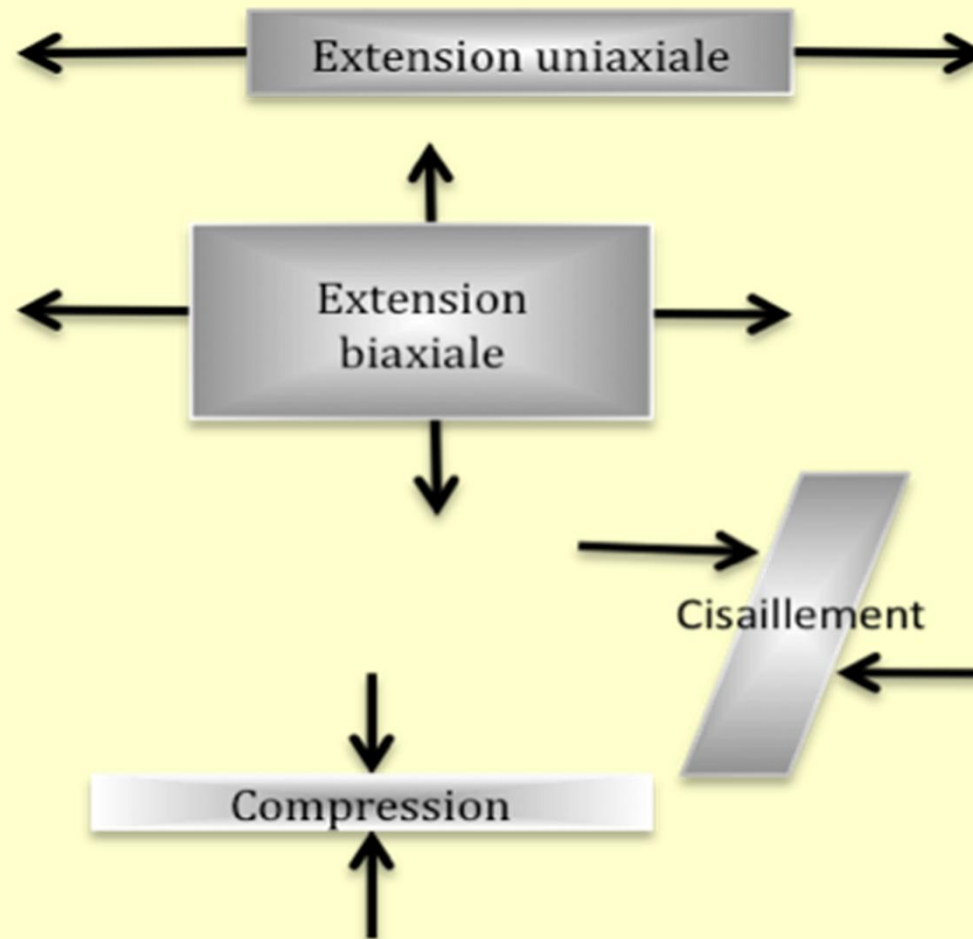
Appréciation de l'extensibilité

Aptitude d'un corps à se déformer (allongement de la pâte) jusqu'à un point de rupture (déchirement) sous l'action de sollicitations mécaniques (extension uniaxiale ou biaxiale, compression, cisaillement).

Synonymes : allongement, souplesse, cohésion



Différentes sollicitations mécaniques imposées à la pâte



Appréciation du collant

Niveau d'adhérence entre deux surfaces (la main et la pâte) ; il s'évalue par la résistance au moment de l'arrachement (séparation), ou par la quantité de pâte qui reste adhérente sur la main. Le niveau d'adhérence fixe l'intensité du défaut.



- Pour avoir un jugement répétable la mesure doit être à :
- déformation constante (enfouissement de la main dans la pâte)
 - temps de contact constant
 - vitesse d'arrachement constante.
 - état de surface de la main identique.

Descripteurs sensoriels de l'aspect du pain

	Insuffisance			nor mal	Excès		
Notation	-1	-4	-7	10	+7	+4	+1
ASPECT DU PAIN							
Volume des pains							
Section							
Couleur							
Epaisseur							
Croustillant							
Coup : <i>Développement</i>							
de : Régularité							
lame : Déchirement							
ASPECT DE LA MIE							
Couleur							
Texture : Souplesse							
Elasticité							
Collant							
Alvéolage : Régularité							
Epaisseur							
Flaveur							

Descripteurs de résistance de la croûte


Caractéristique de la croûte	Force à la rupture	Nombre de ruptures	Intensité sonore
croustillante	*	***	***
craquante	**	**	***
croquante	***	*	***
dure	***	*	*
molle	*		

Descripteurs de la mie : l'alvéolage



L'alvéolage est fonction :
du nombre d'alvéoles par unité de surface ou de volume
de la grosseur moyenne des alvéoles
de leur régularité

La densité alvéolaire augmente lorsque le nombre
d'alvéoles $\nearrow \Rightarrow \searrow$ de la grosseur des alvéoles et \nearrow de la
régularité des alvéoles



Pertinence de la valeur boulangère

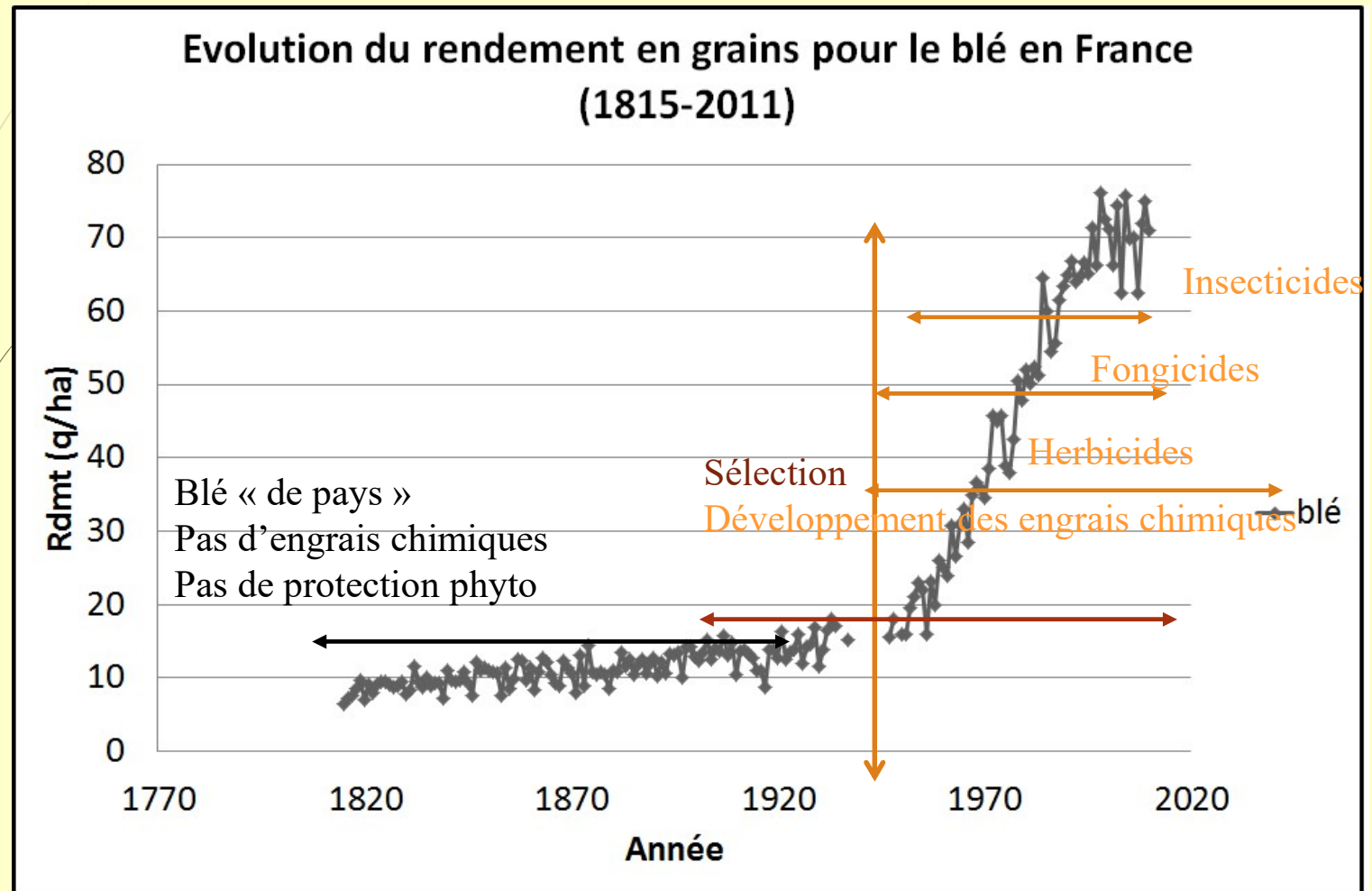
La valeur prédictive de la qualité à partir de la note diminue pour des processus différents du pain courant français.

L'appréciation des 30 critères est sensorielle, la notation est donc subjective.

Le boulanger-technicien doit être formé spécialement à l'approche sensorielle et à la rigueur des démarches de caractérisation.

La répétabilité et la reproductibilité de la méthode ne sont pas optimales

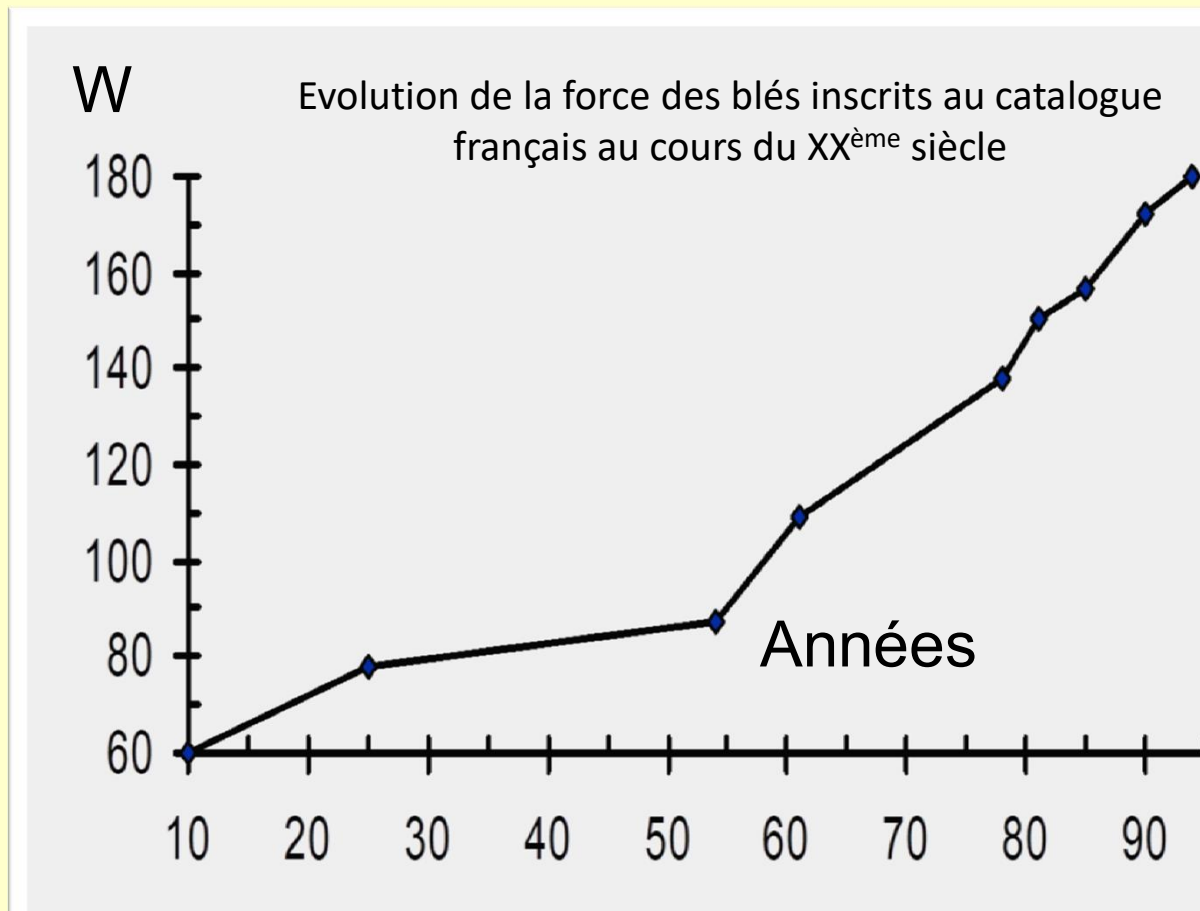
Influences agronomiques sur les rendements en blé



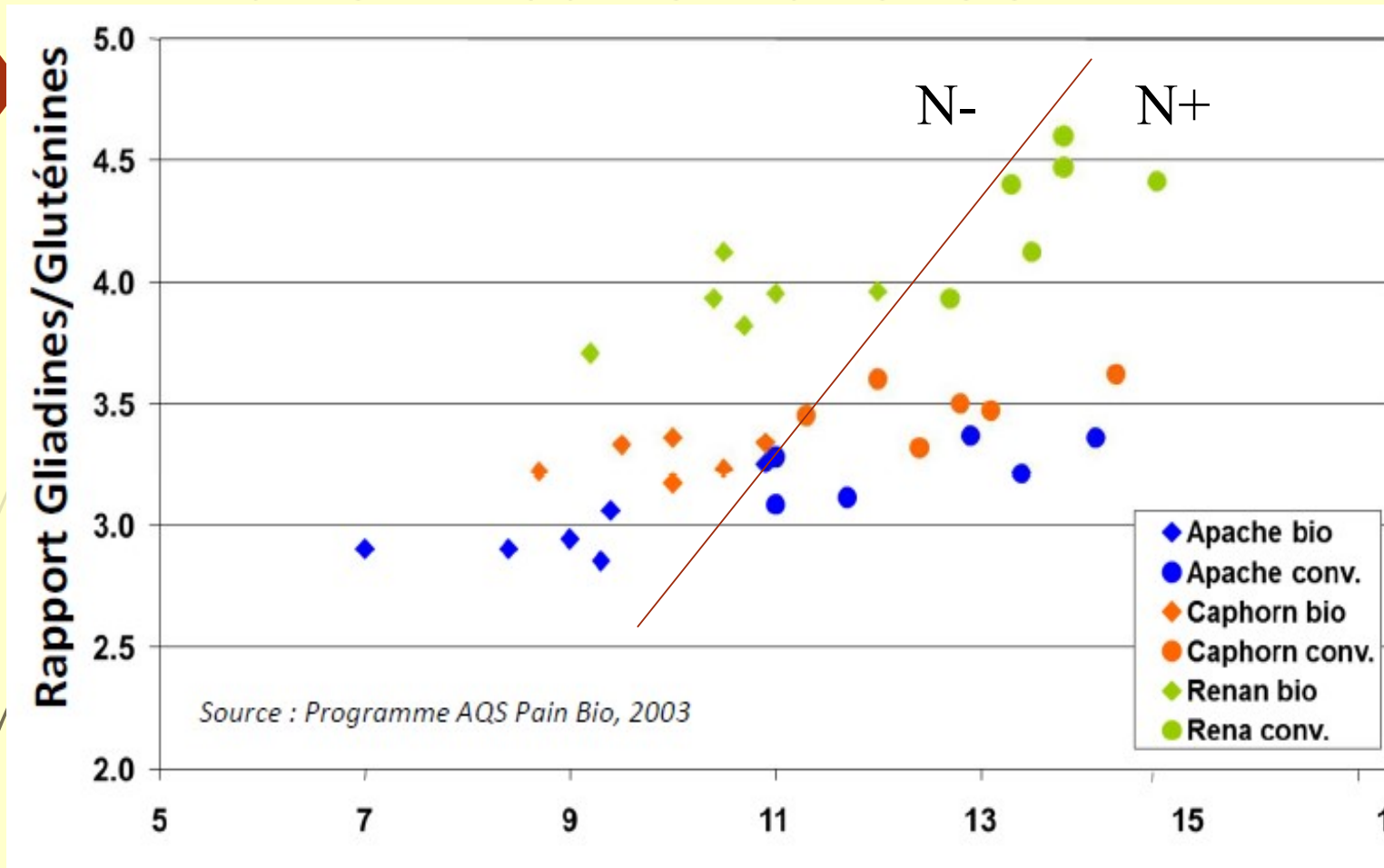
Accroissement des apports d'azote (3 kg/q) a surtout permis d'augmenter le rendement agronomique au détriment de la teneur en protéines des grains

Rendement et qualité technologique

Avec l'augmentation des rendements, le taux de protéines a baissé mais le rendement \times taux de protéines est supérieur et on assiste à une augmentation de la force boulangère (W) qui est une conséquence de l'évolution de la nature des protéines. Le W aurait atteint un pallier.



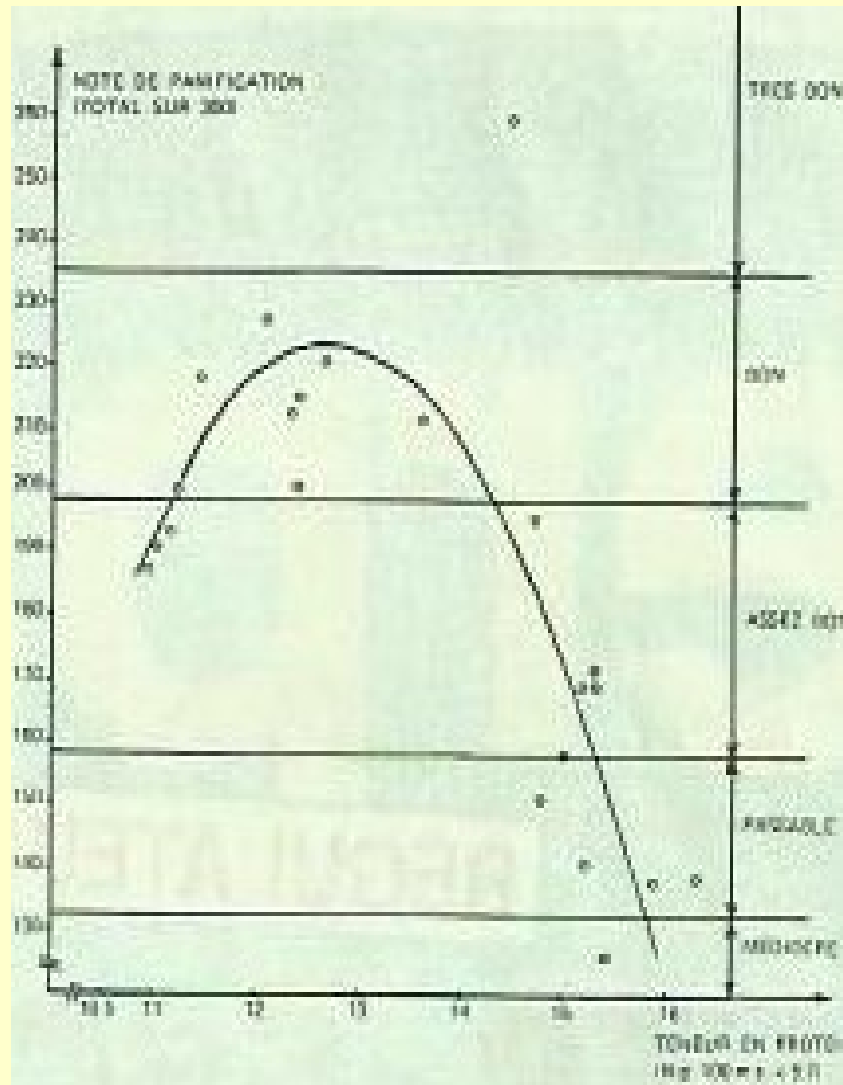
La fertilisation azotée



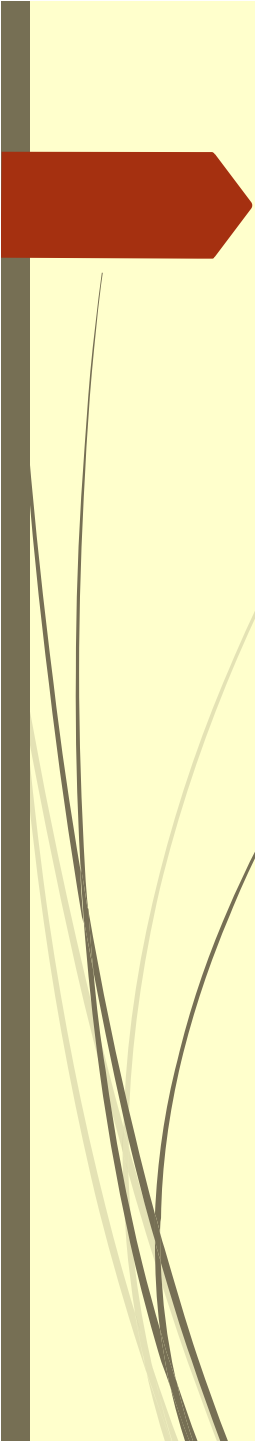
Développement des méthodes de fractionnement prenant en compte l'ensemble des apports d'azote (organique, épandage...) en fonction des besoins de la plante.

Augmentation de la teneur en protéines par apport (tardif) d'azote se fait au bénéfice des protéines solubles ou des gliadines, sans effet sur celle des gluténines qui dépend essentiellement de la variété.

Influence de la teneur en protéines sur la valeur boulangère sur la variété Courtot (ITCF, 1974)



Méthode de panification CNERNA



Discussion sur les débouchés commerciaux de GdN

- Quels clients ?
- Quelles utilisations ?
- Quelles exigences connues en terme de qualité ?
- Sur quelles bases se fera l'appréciation de la qualité ?
- Quels types de contrat (quantités et qualités) ?
- Exigences de régularité des lots sur une année ?
- Installation de mélange ?
- Exigences de nettoyage des lots ?