



71^{es} JTIC
PALAIS DES CONGRÈS - TOURS
23 & 24 nov 2021



INRAE
la science pour la vie, l'humain, la terre



Comment le changement climatique peut impacter les propriétés physiques et biochimiques des grains de céréales et in fine leur valeur d'usage

How climate changes can impact the physical and biochemical properties of cereal grains and consequently their end-use value



Conférenciers / Speakers



Didier MARION

Directeur de Recherche INRAE
UR BIA, Nantes
didier.marion@inrae.fr



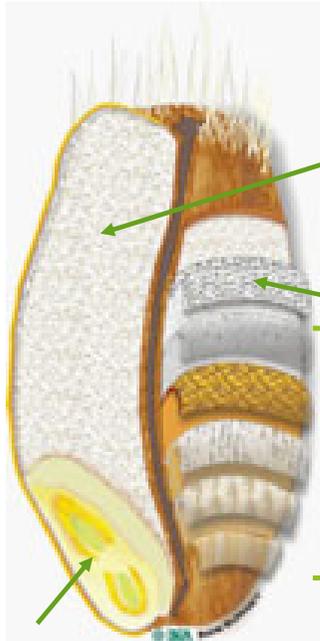
Valérie LULLIEN-PELLERIN

Directeur de Recherche INRAE
UMR IATE, Montpellier
Groupe Grain(e)s
valerie.lullien-pellerin@inrae.fr

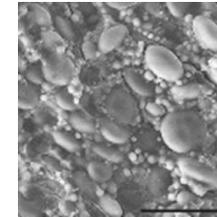


Le grain : une structure et une composition biochimique hétérogène

The grain : an heterogeneous structure and biochemical composition



Albumen amylicé : 80-82% de la masse du grain (amidon, prolamines de réserve : ratio gliu/glu, fibres solubles de type AX, lipides polaires/non polaires)



Interactions protéines-amidon-lipides au sein de l'albumen amylicé

Aleurone : 7-11 % masse du grain (protéines solubles/enzymes, fibres solubles de type β -glucanes, minéraux, acide phytique, lipides non polaires, micronutriments)

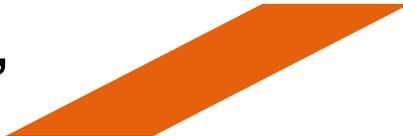
Enveloppes : 5-9 % de la masse du grain (fibres insolubles)

Germe : 2-3 % de la masse du grain incluant l'embryon (protéines solubles/enzymes, lipides non polaires)

➔ **La composition et quantité des différents constituants dépend de l'histoire de la graine = sa génétique en relation avec l'environnement au champ**

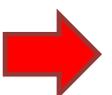
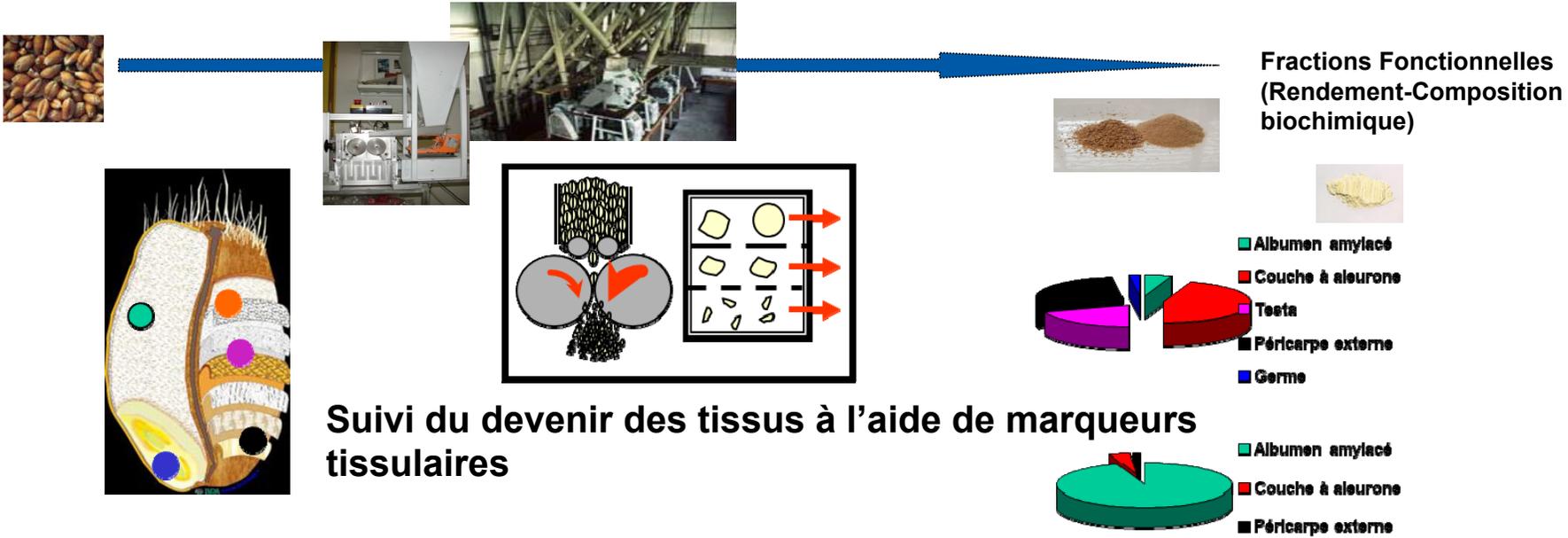
➔ **Les interactions au sein de l'albumen influent sur la résistance mécanique du grain**





Le comportement du grain au fractionnement impacte le rendement, la composition biochimique et les propriétés des fractions

The grain behavior along process impacts the yield, the biochemical composition and the properties of the products



Le devenir des tissus est très dépendant de leurs propriétés mécaniques qui elles même dépendent de la composition et des interactions entres composés biochimiques

71^{es} JTIC
 PALAIS DES CONGRÈS - TOURS
 23 & 24 nov 2021



Première partie :
Les constituants du grain, rôles
dans les produits céréaliers, mise
en place au cours du
développement

First Part:
Grain components, impact in
cereal products, biosynthesis
along grain development



Les protéines du grain et leurs impacts en technologie céréalière

Grain proteins and their impacts in cereal technology



Protéines

8-20%
de la
masse du grain

Blé

Teneur en protéines (prolamines)
Rapport gliadines /gluténines
Polymères de gluténines



**Produits céréaliers
de cuisson**

Orge brassicole

Teneur en protéines
Protéines solubles/hordéines
Potentiel enzymatique



Brasserie

Maïs

Teneur en protéines
Zéines



**Cuisson-extrusion
(cornflakes)**





L'amidon, les interactions amidon-lipides et leur impact en technologie céréalière

Grain starch and lipid-starch interactions and their impact in cereal technology

Amidon

70-80 % de la masse du grain

Texture du grain
Procédé de mouture

Amidon endommagé

Hydratation des pâtes
Susceptibilité à l'amyolyse

Amylose/amylopectine

Amylose-Lipides

Cristallinité

Propriétés hydrothermiques

Ressuage/Rassissement des produits de cuisson
Susceptibilité à l'amyolyse (amidon résistant)

Lipides

(0,5-1% du poids sec de l'amidon)




71^{es} JTIC
PALAIS DES CONGRÈS - TOURS
23 & 24 nov 2021

Les lipides et leurs impacts en technologie céréalière

Grain lipids and their impacts in cereal technology

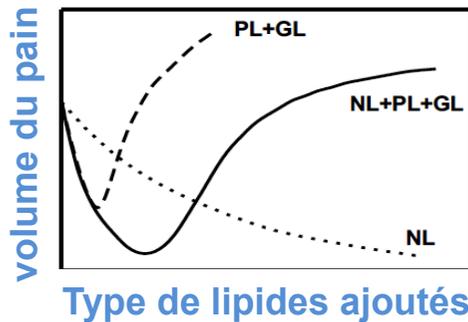
Exemple: Lipides et panification



Viscoélasticité des pâtes, volume du pain, texture et couleur de la mie, flaveur des produits céréaliers

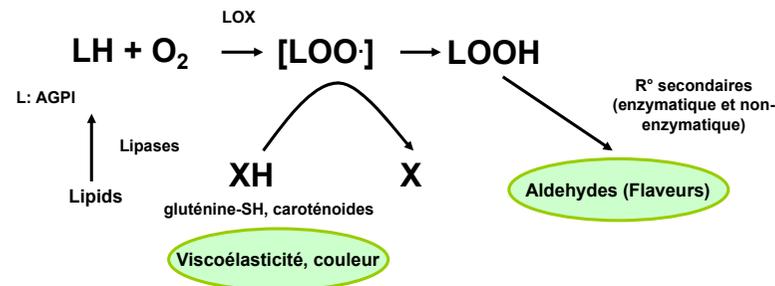
Lipides non complexés à l'amidon
(1,5-2%)

Lipides polaires (phospholipides, PL, galactolipides, GL) et lipides non polaires (NL, triglycérides)



Formation (lipides polaires) et déstabilisation (lipides non polaires) des interfaces gaz-eau
Interactions et adsorption compétitive interfaciale avec les protéines (solubles)

Lipolyse et oxydation des acides gras polyinsaturés (Lipase et lipoxygénase du germe)
Co-oxydation des SH des protéines et formation de produits volatils
Lipidation des protéines (fixation covalente d'acides gras)



Les polysaccharides du grain et leurs impacts en technologie céréalière

Grain polysaccharides and their impacts in cereal technology

Polysaccharides pariétaux

12-18% de la masse du grain

Arabino-Xylanes (AX)

β -Glucanes

Polymères en partie hydrosolubles

Cellulose

Hétéroxylanes

Polymères insolubles

Rétention d'eau des polysaccharides pariétaux de l'albumen et des enveloppes

	Albumen amylicé	Enveloppes
Rétention eau (g/g)	7,5-10	5-6

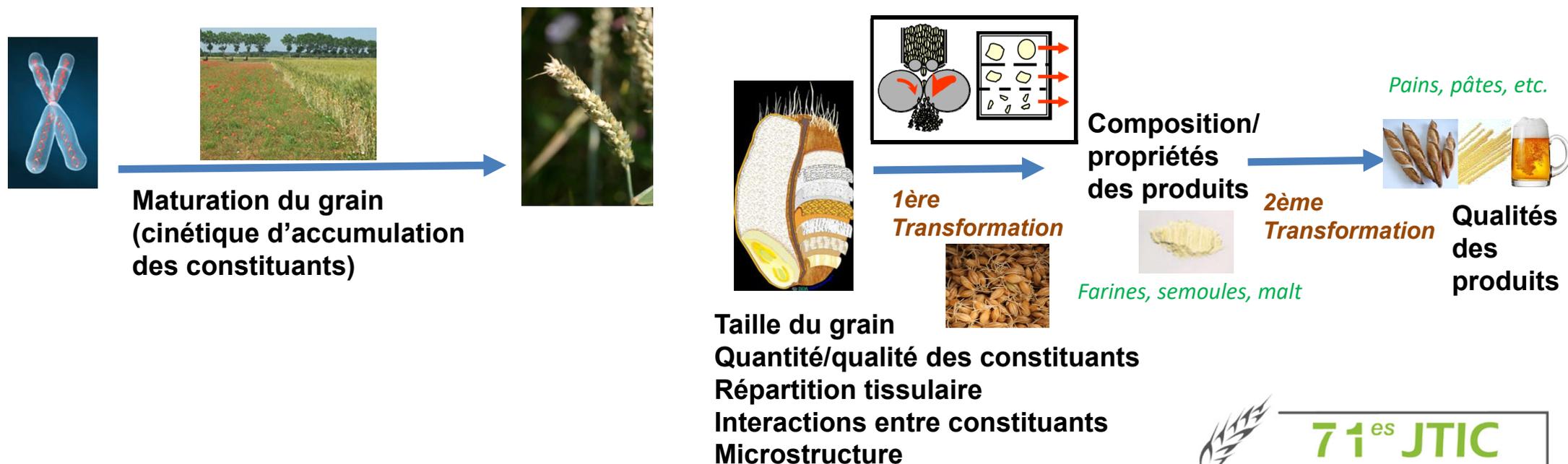


Viscosité des pâtes, volume des pains
Viscosité des moûts (orge)



La mise en place des constituants du grain (quantité et qualité) au cours du développement est contrôlée par la génétique et les conditions environnementales au champ

Grain components (quantity and quality) accumulation are controlled by the genetic background and environmental conditions

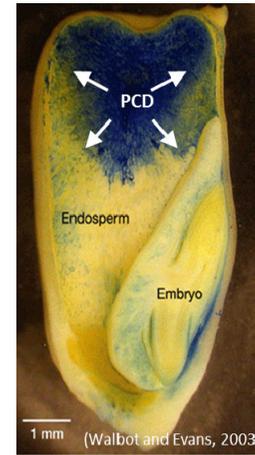
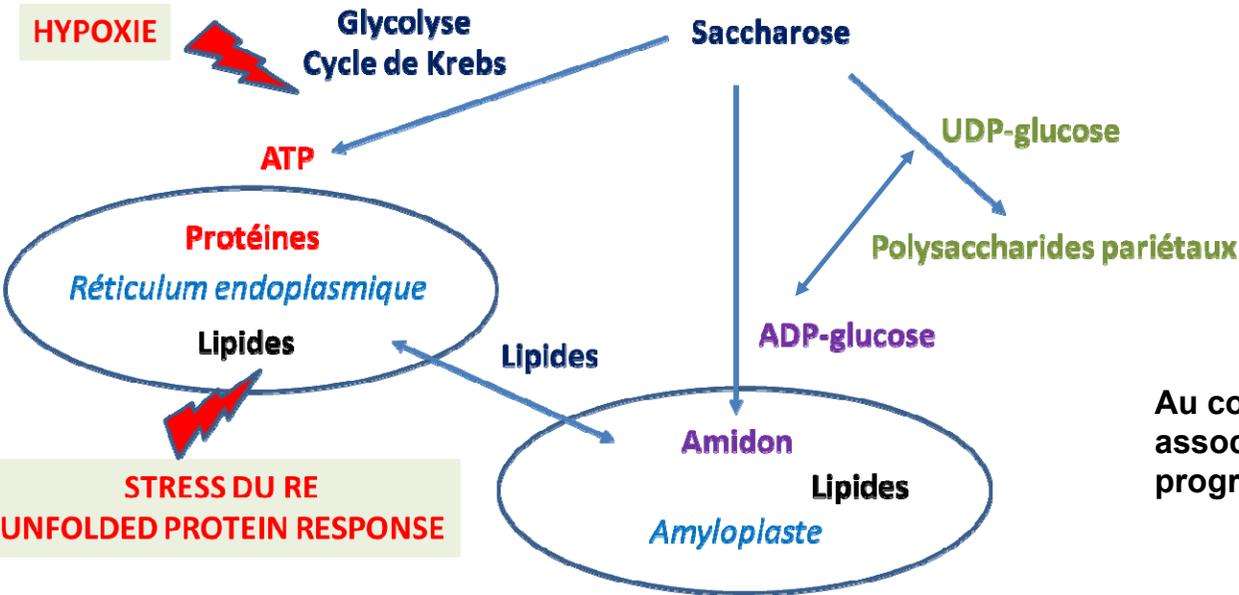


Protéines, amidon, lipides et polysaccharides pariétaux sont étroitement associés dans un réseau métabolique

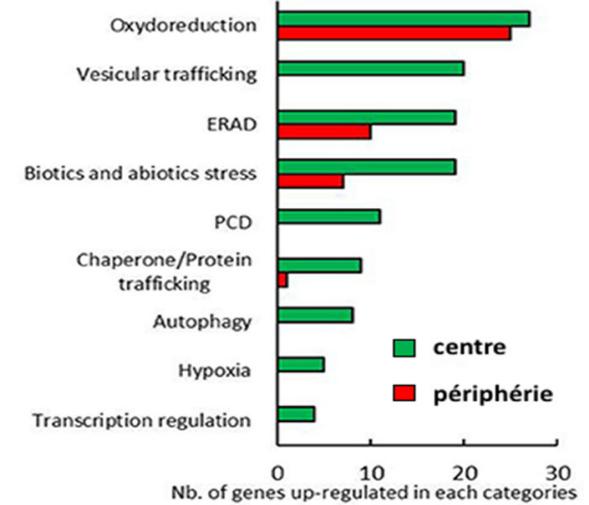
/Proteins, starch, lipids and cell wall polysaccharides are closely associated in a metabolic network under the control of a developmental stress

Cas de l'albumen amyacé

Interactions métaboliques



Gayral et al, Front Plant Sci., 2017



Au cours du développement de l'albumen de maïs, les gènes associés au stress biotiques/abiotiques, à la mort cellulaire programmée, à l'hypoxie, à l'autophagie sont fortement exprimés

Stress développemental

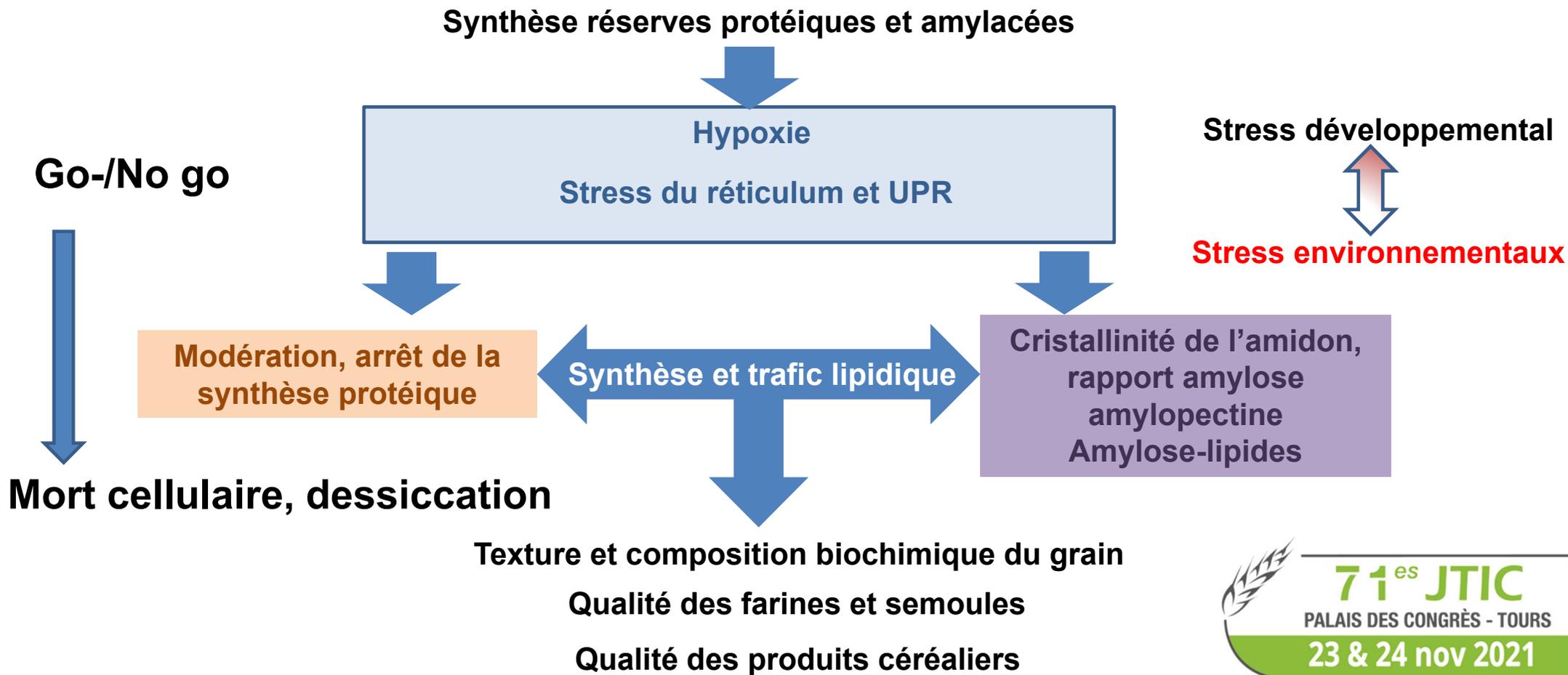
Ce sont les mêmes gènes qui sont induits au cours d'un stress environnemental thermique, hydrique, etc.)

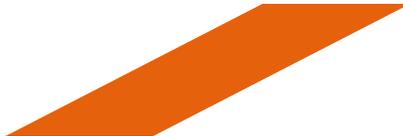


* PCD: programmed cell death ERAD: ER-associated protein degradation (proteasome)

D'une cascade métabolique à une cascade de la qualité des céréales

From a metabolic to a cereal quality cascade





**Deuxième partie :
Microstructure du grain, facteurs
génétiques/environnementaux et
implication sur la qualité des
produits**

**Second part:
Grain microstructure, genetic and
environmental factors & impact on
products' quality**





Dans le grain de blé, des interactions amidon-protéines-(lipides) sont sous contrôle génétique et impacte leur résistance mécanique

In wheat grain, part of the interactions between starch granules-proteins (lipids) are under genetic control and impacts mechanical properties

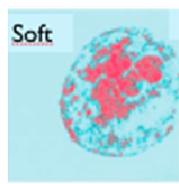


Blé tendre
(T. aestivum)
Génome **AABBDD**

2 classes de dureté
fonction locus **Ha**
Localisé sur **CH5D**
Présence *puroindolines A et B* 'sauvages'

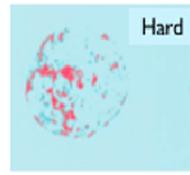
au moins une puroindoline mutée

Soft +



Absence d'adhésion entre la matrice protéique et les granules d'amidon

Hard ++



Adhésion matrice protéique-granules d'amidon

Darlington et al., 2000



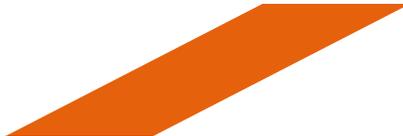
Blé dur (ou *T. durum*)
Génome **AABB**
Absence Chromosome D
Absence puroindolines A et B

R. mécanique +++
Adhésion matrice protéique-granules d'amidon



71^{es} JTIC
PALAIS DES CONGRÈS - TOURS
23 & 24 nov 2021

Lullien-Pellerin et al., 2020; Chantret et al., 2005; Morris, 2002; Turnbull and Rahman, 2002.....

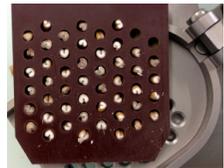


Les conditions environnementales impactent la microstructure de l'albumen et la résistance mécanique des grains

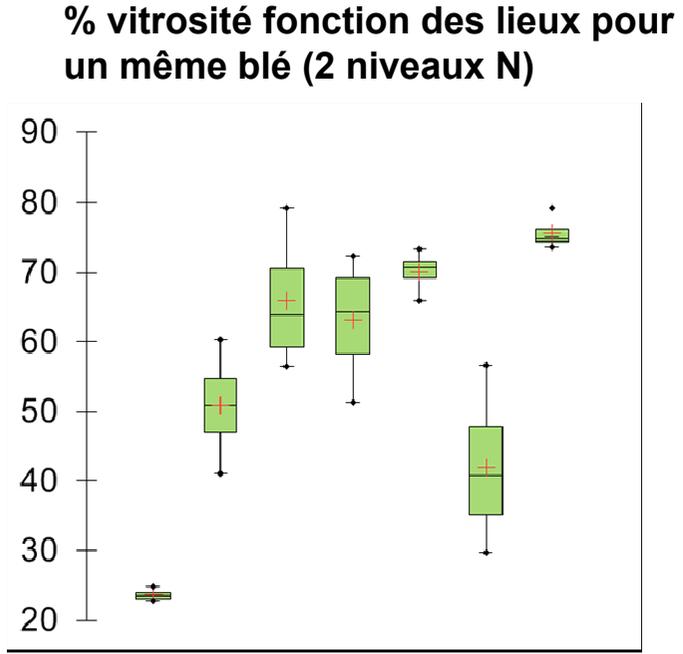
The environmental conditions impact the endosperm microstructure and its mechanical properties

Vitrosité (=1/porosité) varie en fonction :
du lieu >>de l'année>> de l'apport azoté

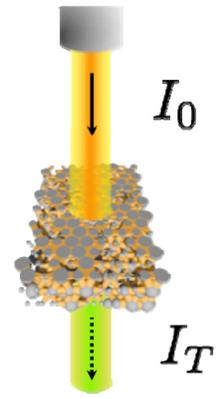
Evaluation de la vitrosité par le Farinotome de Pohl



Vitreux-----Farineux (poreux)



Quantification de la vitrosité via une mesure de lumière transmise (loi Beer Lambert)
Chichti et al., 2018



71^{es} JTIC
PALAIS DES CONGRÈS - TOURS
23 & 24 nov 2021

Découplage des effets conjoints de la génétique et de l'environnement sur la résistance mécanique/dureté des grains

Separating genetics & environmental factors in endosperm mechanical properties/grain hardness



Couples de lignées isogéniques pour la dureté
Même fond génétique (« jumeaux »)
Sauf pour les puroindolines

Présente sous forme 'sauvages'

→ **Soft**
+

Ou présence d'une puroindoline mutée

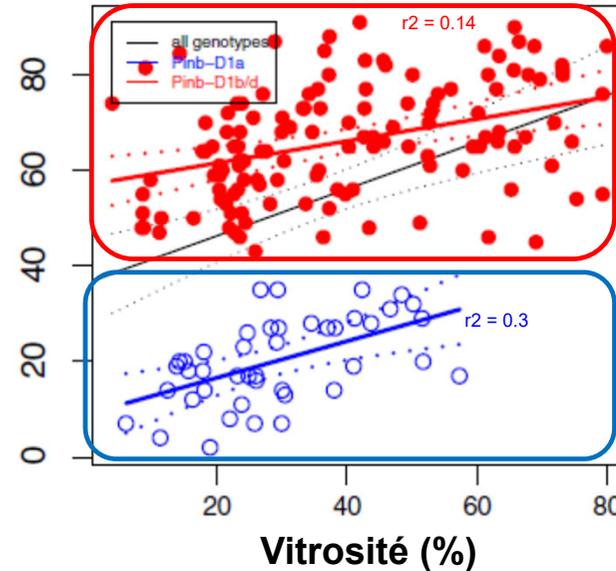
→ **Hard**
++

Culture sur plusieurs lieux et années



Oury et al., 2015
Collab. GDEC, AgroParisTech, UFS, Projet FSOV Valeur Meunière

Dureté NIRS = mesure indirecte de résistance mécanique du grain liée à la granulométrie des particules générées



Hard
NIRS moyen = 62
Vitrosité moy = 41,5 %

Soft
NIRS moyen = 21
Vitrosité moy = 29 %

71^{es} JTIC
PALAIS DES CONGRÈS - TOURS
23 & 24 nov 2021

Découplage des effets conjoints de la génétique et de l'environnement sur la résistance mécanique/dureté des grains

Separating genetics & environmental factors in endosperm mechanical properties/grain hardness



Couples de lignées isogéniques pour la dureté
Même fond génétique (« jumeaux »)
Sauf pour les puroindolines

Présente sous forme 'sauvages'

→ **Soft**
+

Ou présence d'une puroindoline mutée

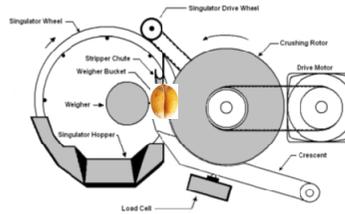
→ **Hard**
++

Culture sur plusieurs lieux et années

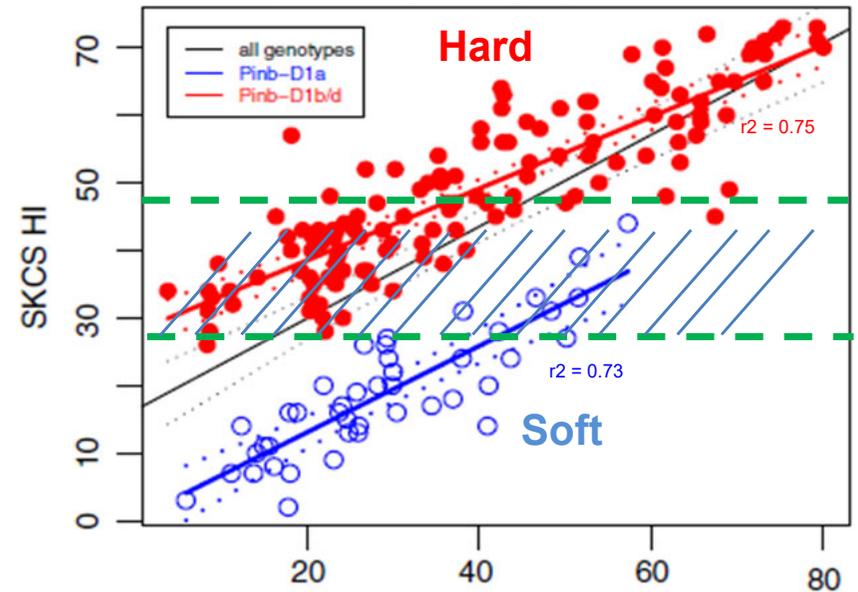


Oury et al., 2015

Single kernel characterization system (SKCS)



Dureté SKCS =
une mesure directe de la résistance mécanique à l'écrasement du grain entier



Vitrosité (%)

71^{es} JTIC
PALAIS DES CONGRÈS - TOURS
23 & 24 nov 2021

Découplage des effets conjoints de la génétique et de l'environnement sur la résistance mécanique/dureté des grains

Separating genetics & environmental factors in endosperm mechanical properties/grain hardness



Couples de lignées isogéniques pour la dureté
Même fond génétique (« jumeaux »)
Sauf pour les puroindolines

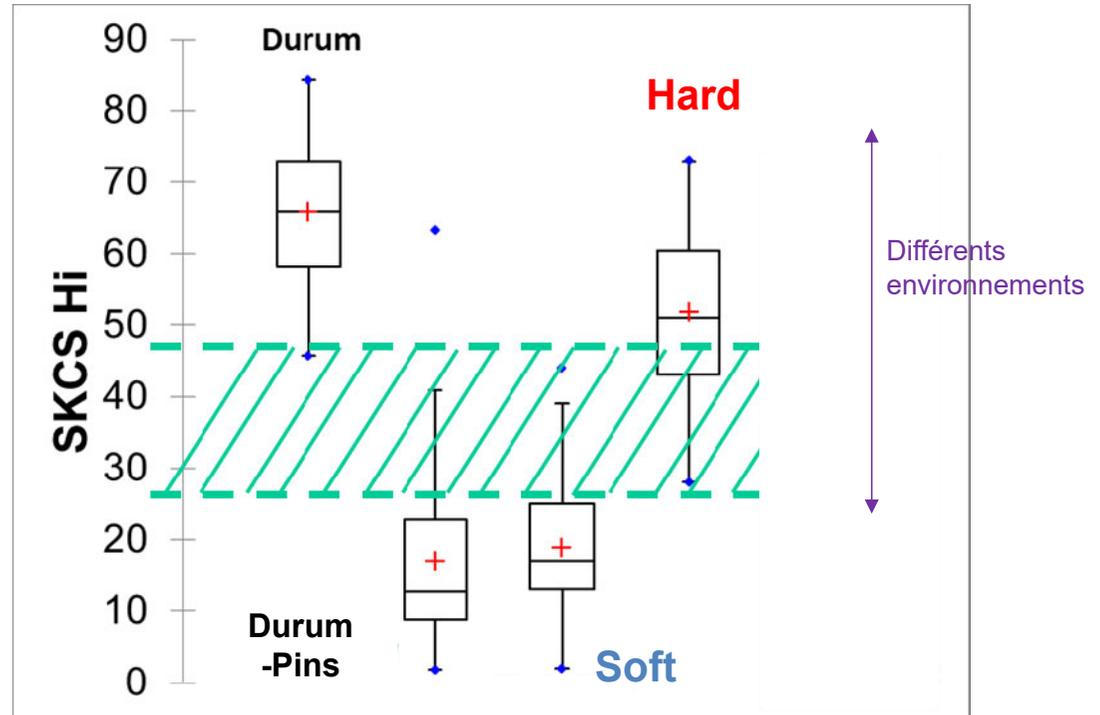
Présente sous forme 'sauvages' → **Soft** +

Ou présence d'une puroindoline mutée → **Hard** ++



Blé dur (ou *T. durum*)
Génome AABB
Absence Chromosome D
Absence puroindolines A et B
R. mécanique +++

Introduction des gènes codant les puroindolines sous forme 'sauvages' = **Durum-Pins** (collab. C. Morris, USDA-ARS, Washington State U., Pullman, U.S.A., [in memoriam](#))



Lullien-Pellerin, 2020

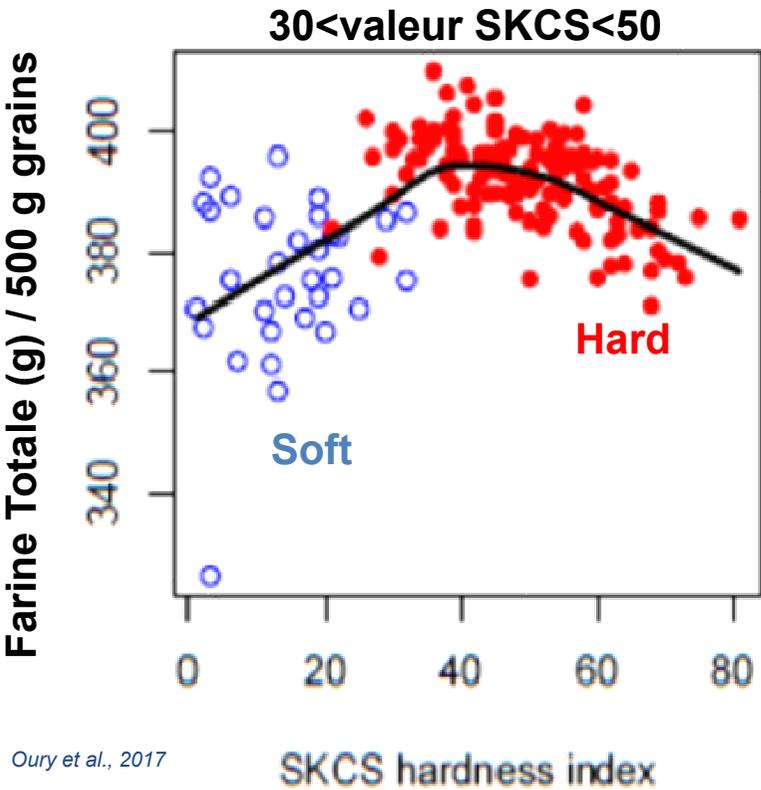




Quelles conséquences sur le comportement des grains au fractionnement et les propriétés des produits ?

What are the consequences for the grain behavior and product properties

Identification d'un optimum de rendement en farine totale



Oury et al., 2017

	Energie KJ/Kg Farine	Amidon endommagé (%)
Soft Farineux (poreux)	80	1,9
Soft Vitreux	105,9	2,2
Hard Farineux (poreux)	85,7	3,4
Hard Vitreux	169,3	5,2

La vitrosité des grains :

- favorise le rendement en farine pour les blés de type soft uniquement
- entraîne des dépenses d'énergie supérieures au broyage
- entraîne une augmentation de l'amidon endommagé des farines

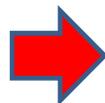
71^{es} JTIC
 PALAIS DES CONGRÈS - TOURS
 23 & 24 nov 2021

Conclusions, **Perspectives**

La biosynthèse des composés et des assemblages fonctionnels est sous le contrôle d'un stress développemental qui contribue à la mort cellulaire de l'albumen

Ce stress développemental met en jeu les mêmes gènes que ceux impliqués dans la réponse aux stress environnementaux

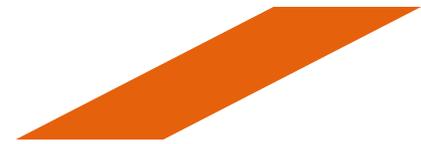
Pour maîtriser l'impact des changements climatiques sur la qualité des céréales, il faut:

 **Comprendre les mécanismes associés au stress développemental et ses modifications au cours des stress environnementaux (thermiques, hydriques, CO₂)**

La qualité des céréales n'est pas gérée uniquement par les protéines, mais par l'ensemble des composants biochimiques du grain, dont les interactions impactent fortement la texture des grains et in fine la qualité des produits céréaliers

 **Mieux évaluer l'impact des différents composants biochimiques et de leurs interactions sur la qualité des céréales**





Merci de votre attention !
Thank you for your attention !

