



Carrefours de l'innovation
agronomique



Améliorer la qualité nutritionnelle des aliments

5 novembre 2019 | Espace de conférence IRIS | PARIS

Associer blé et légumineuses, du champ aux gâteaux moelleux : variabilité matières premières / modification des procédés / ingénierie reverse

Anne-Flore MONNET,
David BLUMENTHAL,
Camille MICHON



Marie-Hélène JEUFFROY



Les UMR GENIAL et AGRONOMIE sont des unités mixtes de recherche  INRA SCIENCE & IMPACT et  AgroParisTech appartenant à l' université PARIS-SACLAY

Le projet FlexiProcess : intégratif et pluridisciplinaire

- Monté après deux échecs à l'ANR, recyclage en recentrant sans perdre les aspects « filière », « intégratif » et « pluridisciplinaire »
- Merci au Carnot Qualiment, à la DS AgroParisTech et au MESRI qui nous ont fait confiance et nous ont financés



Carrefours de l'innovation
agronomique



5 novembre 2019
Espace de conférence IRIS | PARIS

Contexte général : les challenges actuels

Assurer à la population une alimentation répondant à ses besoins quantitatifs et qualitatifs dans les conditions d'un développement durable



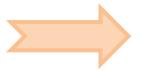
Demande en protéines animales

Externalités négatives de l'élevage intensif



Diminuer la quantité consommée

1,3 g/kg/jour consommé vs. 0,8 g d'apport conseillé



Augmenter la part des protéines végétales

blé, légumineuses (lentille, pois chiche, pois cassé)



Qualité protéique : composition en acides aminés indispensables / besoins.

Moindre qualité des sources végétales mais complémentarité possible

Millenium Ecosystem Assessment (2005); Gerber et al. (2013); santé : Bernstein et al. (2010); Bouvard et al. (2015) ; Walker et al. (2005)



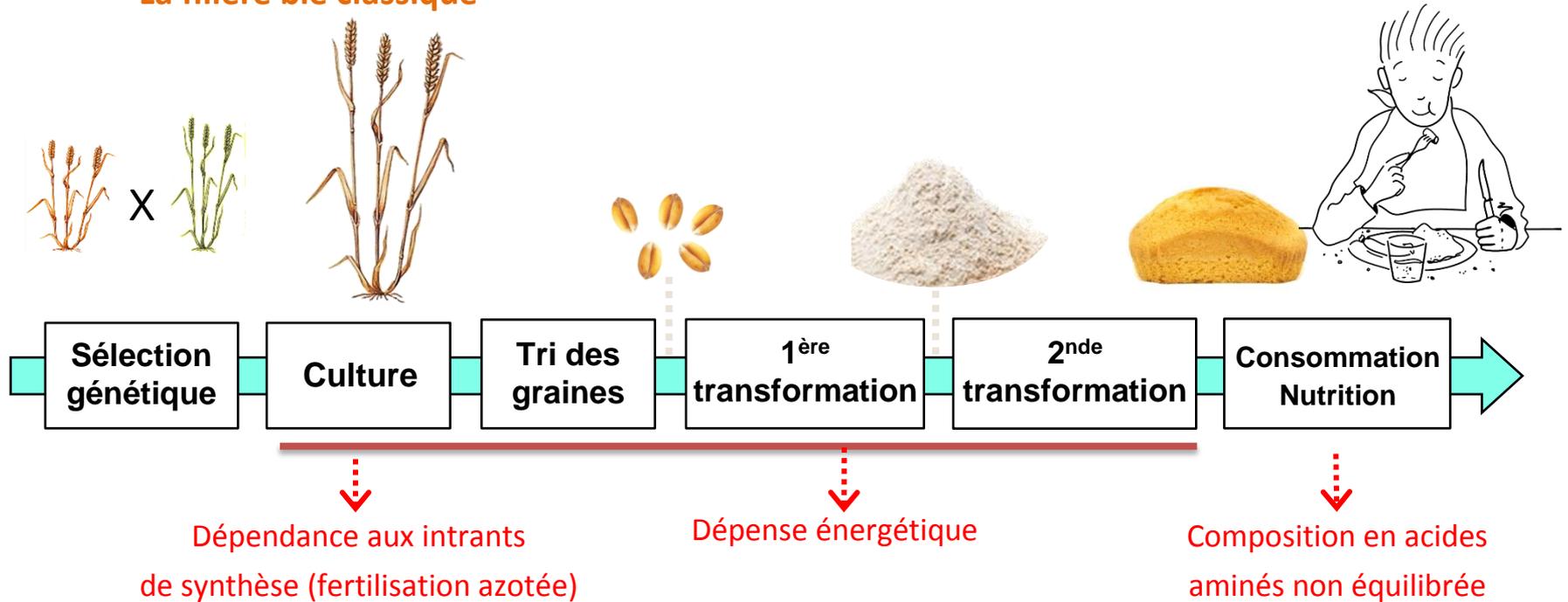
Carrefours de l'innovation
agronomique



5 novembre 2019
Espace de conférence IRIS | PARIS

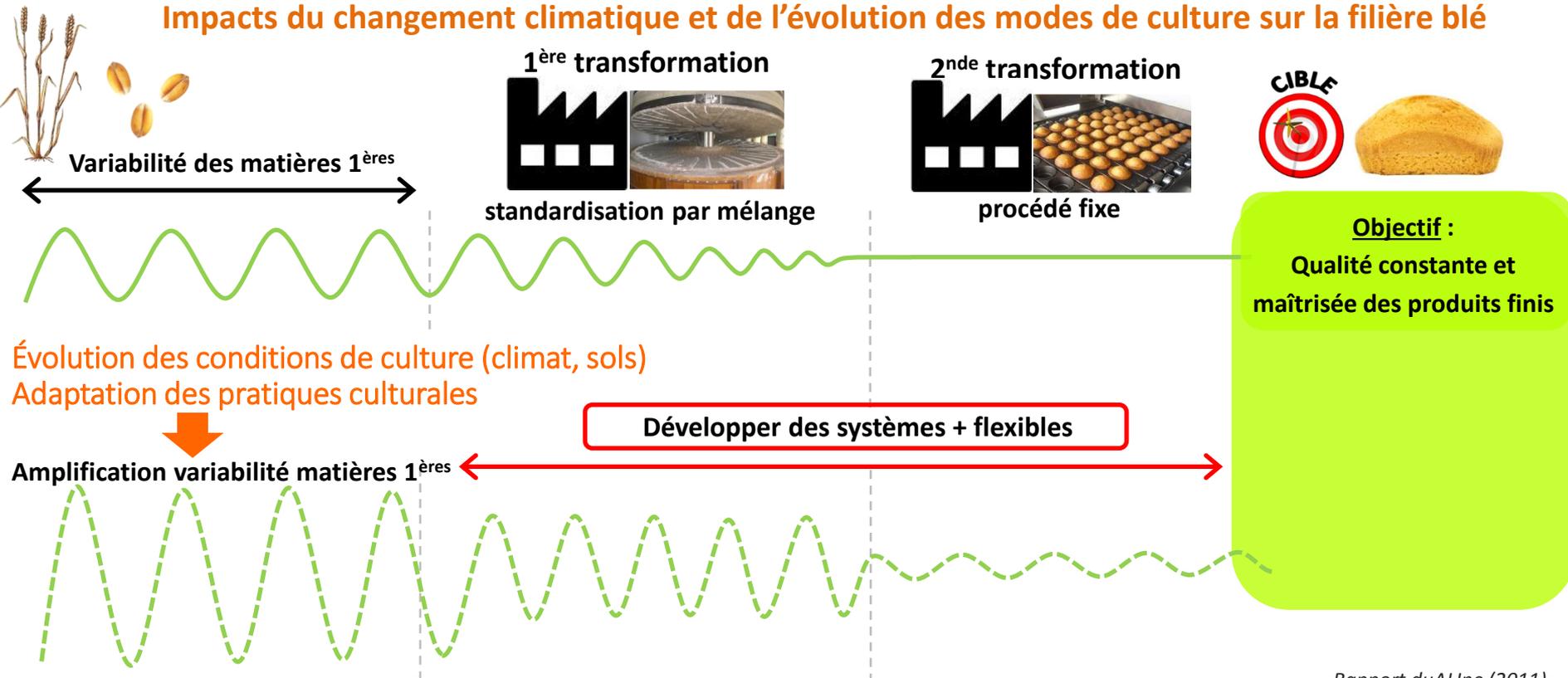
Contexte général : durabilité de la filière blé

La filière blé classique



Contexte général : durabilité de la filière blé

Impacts du changement climatique et de l'évolution des modes de culture sur la filière blé



Rapport du AULoc (2011)



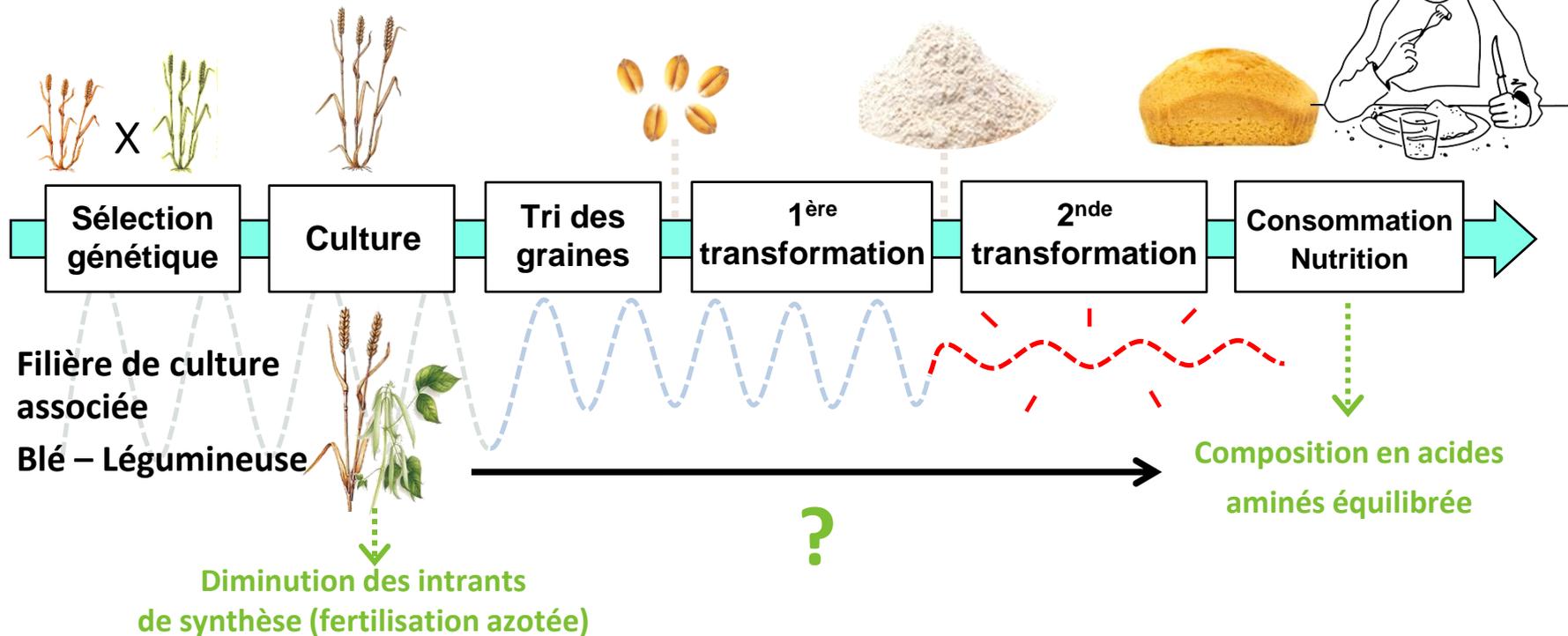
Carrefours de l'innovation
agronomique



5 novembre 2019
Espace de conférence IRIS | PARIS

Contexte général : durabilité de la filière blé

Développement de pratiques agro-écologiques



Voisin (2014) ; Young & Pellet (1994)



Carrefours de l'innovation
agronomique



5 novembre 2019
Espace de conférence IRIS | PARIS

Le projet FlexiProcess : contribution à la durabilité des filières blé et légumineuses

Objectif et partenaires

UMR Agronomie Grignon

UMR IATE Montpellier

UMR GMPA Grignon
UNH Clermont-Ferrand

UMR GENIAL Massy

Sélection
génétique

Culture
associée

Tri des
graines

1^{ère}
transformation

2^{nde}
transformation

Consommation
Nutrition



Objectif : développer des produits
céréaliers avec légumineuse, sensoriellement appréciés
et nutritionnellement équilibrés, tout en contribuant à rendre
l'ensemble de la filière céréalière plus durable.

Variabilité en sortie
de culture ?

Degré de tri ?

1^{ère} transformation
commune ?



Hypothèses sur les
propriétés des farines



Carrefours de l'innovation
agronomique



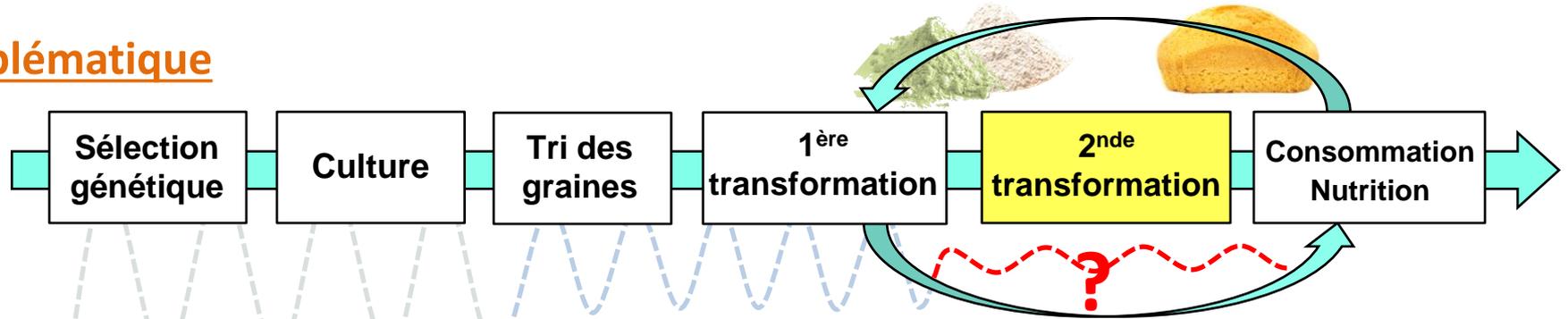
5 novembre 2019

Espace de conférence IRIS | PARIS

Le projet FlexiProcess : problématique et stratégie

Comment maîtriser la qualité de gâteaux enrichis en farine de légumineuse en fonction des variations de composition des matières premières ?

Problématique



Stratégie

1. Acquisition de connaissances

Variations des matières 1ères non contrôlées

Variations des leviers de procédé contrôlés



2. Construction d'un outil d'aide à la conduite du procédé

Intégrant la complexité des effets

Objectif : maîtriser la qualité des cakes



3. Application

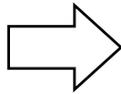
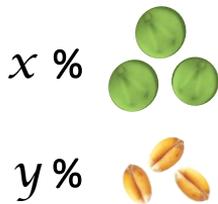
Corriger le procédé pour atteindre une cible donnée



1. Acquisition des connaissances

Quelles variations de la matière première induites
au stade « culture » ?

« On sait ce
que l'on sème »



stock d'azote du sol, fertilisation azotée, climat, ...



« On ne sait pas
ce que l'on récolte »

de 80% pois - 20% blé
à 15% pois - 85% blé

- Intérêt d'inclure la variation de la proportion de mélange blé/pois dans l'outil pour en maîtriser l'effet : M_1

Cholez & Magrini (2014)



Carrefours de l'innovation
agronomique



5 novembre 2019
Espace de conférence IRIS | PARIS

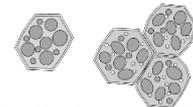
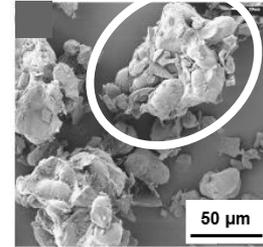
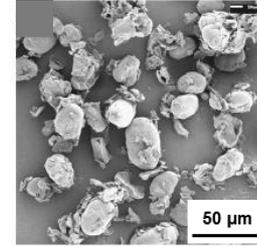
1. Acquisition des connaissances

Quelles variations de la matière première induites au stade « 1^{ère} transformation » ?

Population de grains d'amidon +/- enrobés
= **fraction fine**

Population de cellules entières, groupées ou fragmentées
= **fraction grossière**

Technologie de co-fragmentation à définir



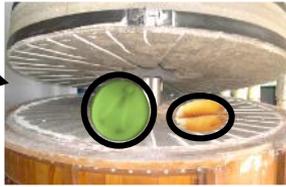
Barrera et al. (2007); Greffeuille et al. (2017);
Moiraghi et al. (2013); UMR IATE

- granulométrie de la farine de blé
- granulométrie de la farine de pois

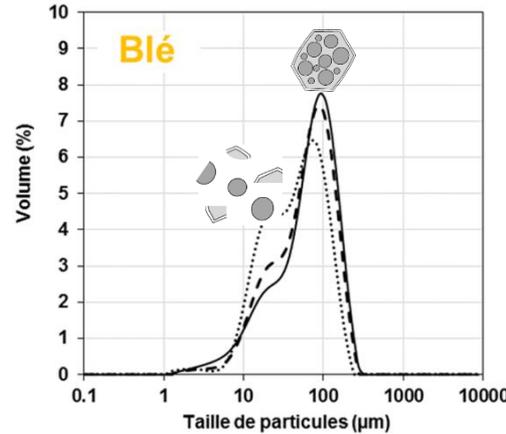
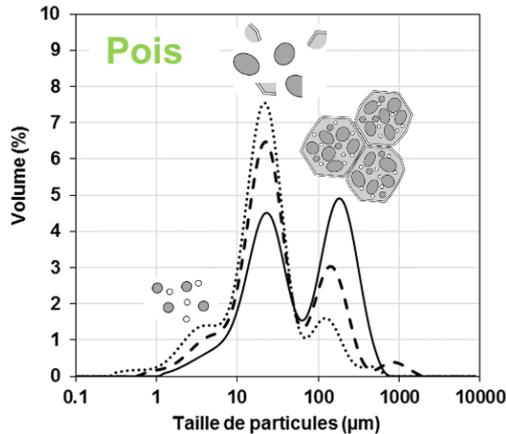
M₂
M₃

Monnet et al. 2019,
Cereal Chemistry 96, 465–477

Graines de forme, taille et dureté différentes



Répartition en taille des grains de farine mesurée par granulométrie laser



Carrefours de l'innovation
agronomique

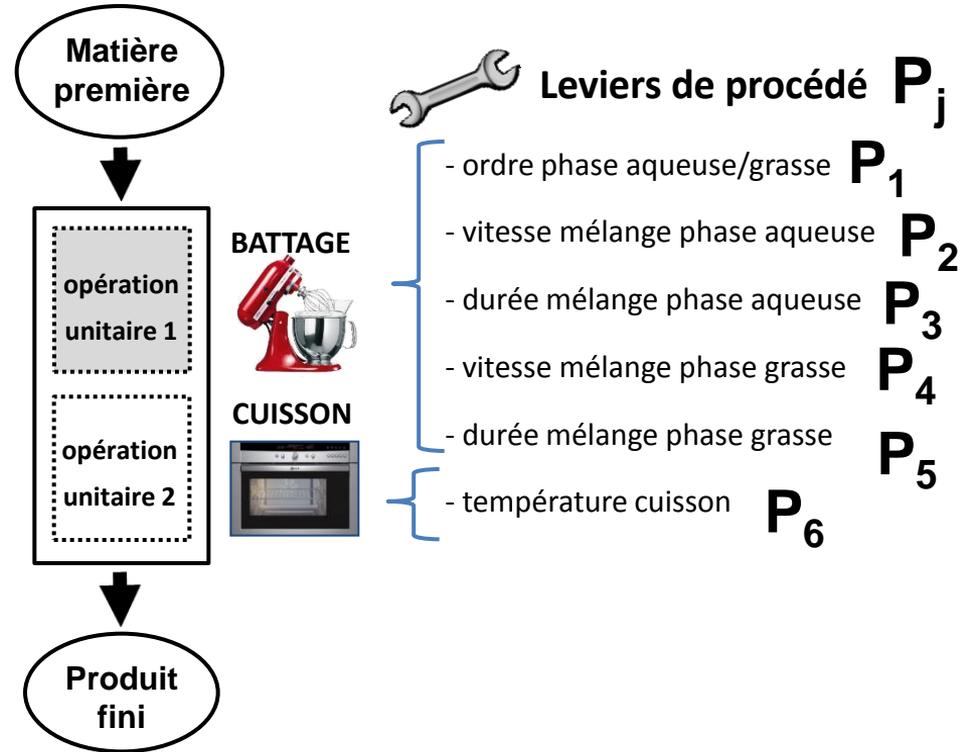


5 novembre 2019

Espace de conférence IRIS | PARIS

1. Acquisition des connaissances

Quels leviers « procédé » ?



1. Acquisition des connaissances

Quelles caractéristiques cibles ?

Propriétés mesurées instrumentales :
Structure & propriétés mécaniques

Propriétés sensorielles :
Texture, saveur

Masse volumique
Indice de symétrie

S₁
S₂



Fermeté de la mie

S₃



Taille des alvéoles

S₄

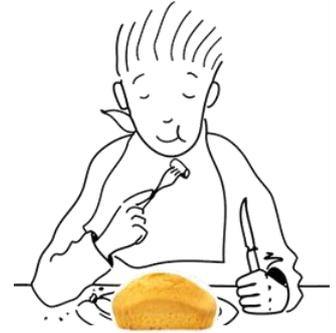
Épaisseur des parois

S₅



Couleur de la mie

S₆



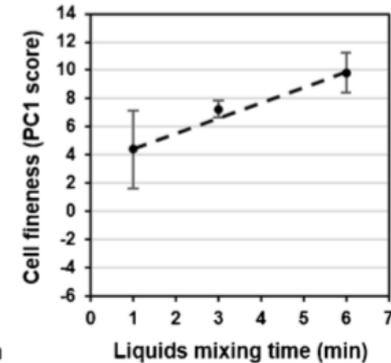
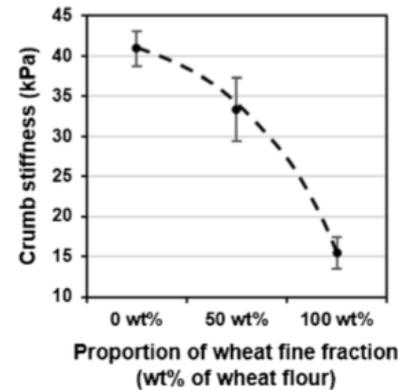
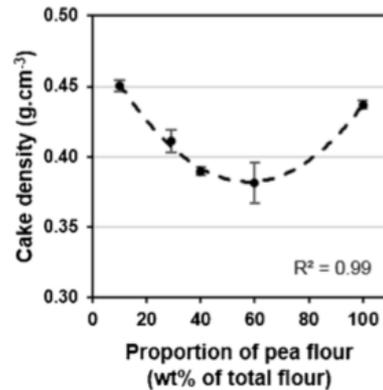
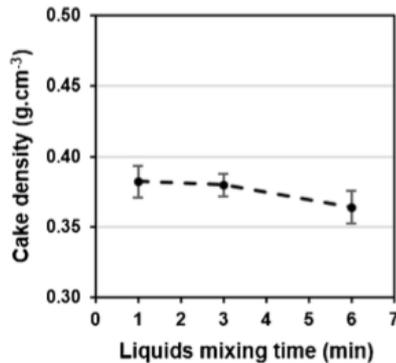
2. Construction de l'outil d'aide à la conduite du procédé Définition d'un plan d'expériences optimal

Plan d'expériences pour toutes les modalités = 19683 expériences*

* Plan factoriel complet à 3 niveaux



→ Nécessaire de sélectionner les variables de procédé les plus influentes



Monnet et al., 2019, Food and Bioprocess Technology 12, 625–635.

→ **Plan d'expériences optimal = 56 expériences = 8 jours**



Carrefours de l'innovation
agronomique

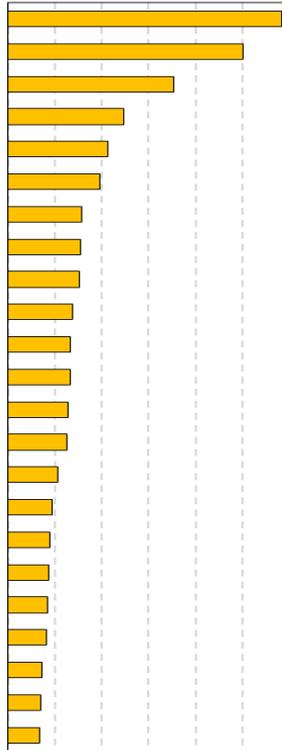


5 novembre 2019
Espace de conférence IRIS | PARIS

2. Construction de l'outil d'aide à la conduite du procédé

Classement des 23 effets du modèle multicritère multi-contraintes

Significativité
de l'effet :



1. Proportion de pois
2. Température de cuisson
3. Vitesse phase grasse
4. Durée phase grasse
5. Proportion de fraction fine blé
6. Vitesse phase grasse x Durée phase grasse
7. Vitesse phase aqueuse x Vitesse phase grasse
8. Vitesse phase aqueuse
9. Proportion de fraction fine pois
10. Proportion de pois x Proportion de fraction fine blé
11. Proportion de pois x Vitesse phase grasse
12. Proportion de pois x proportion de fraction fine pois
13. Proportion de pois x Vitesse phase aqueuse
14. Vitesse phase aqueuse x durée phase grasse
15. Proportion de fraction fine blé x vitesse phase aqueuse
16. Proportion de fraction fine pois x proportion de fraction fine blé
17. Vitesse phase grasse ²
18. Proportion de fraction fine blé x Durée phase grasse
19. Proportion de fraction fine pois x Température cuisson
20. Durée phase grasse x Température cuisson
21. Durée phase grasse ²
22. Proportion de pois ²
23. Proportion de fraction fine pois x Vitesse phase aqueuse

2 variables subies
(variabilité matière première)

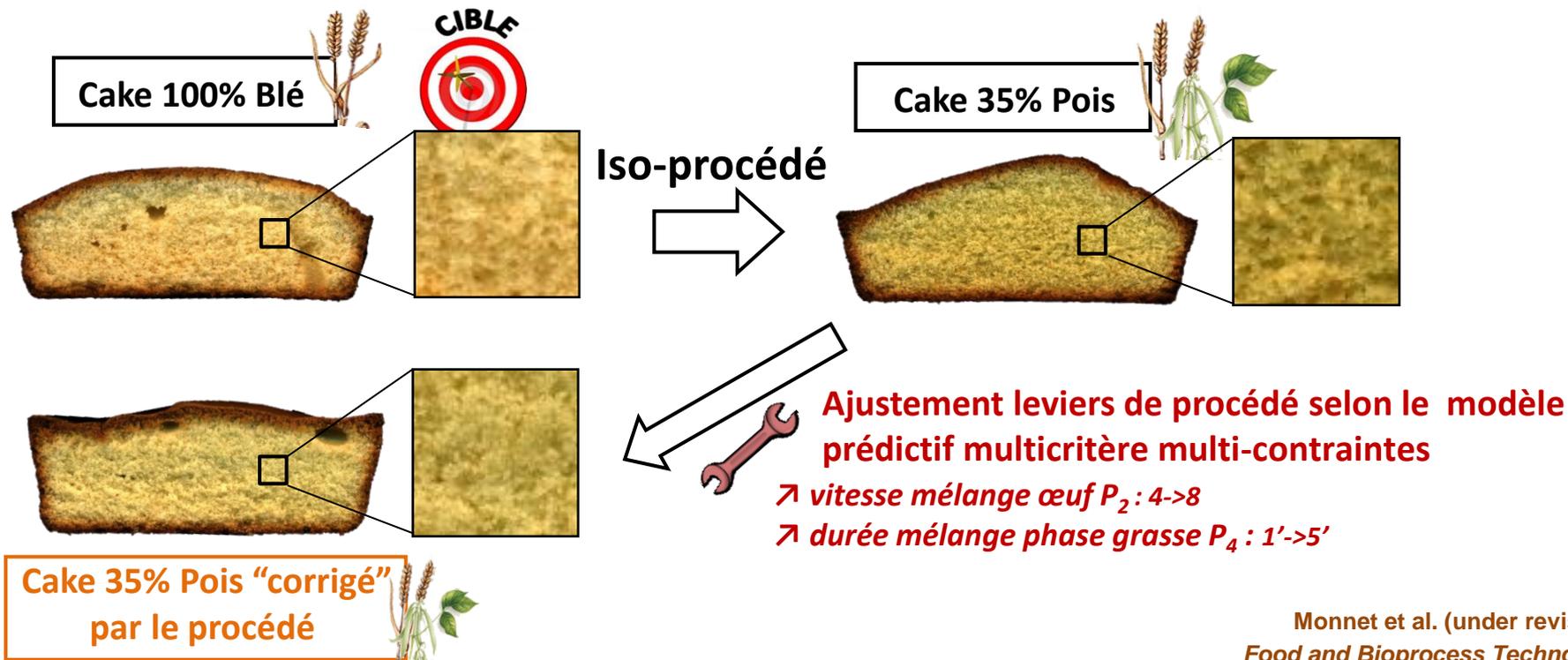
3 variables pilotable
(procédé)

Monnet et al., 2019, Food and
Bioprocess Technology 12, 625–635.



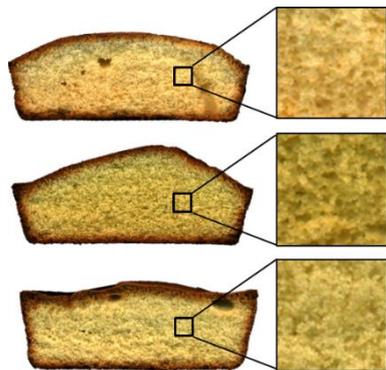
3. Application : correction des propriétés instrumentales

Vérification de l'efficacité du modèle pour corriger une variation de composition de la farine



3. Application : correction des propriétés instrumentales

Vérification de l'efficacité du modèle pour corriger une variation de composition de la farine



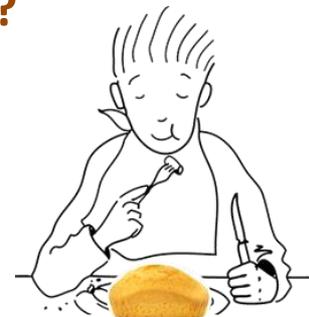
	MASSE VOLUMIQUE (G.CM ⁻³)	INDICE DE SYMETRIE (-)	RIGIDITE (KPA)	FINESSE D'ALVEOLES	EPAISSEUR DE PAROIS	CLARTE L*
100% BLE	0,39	<u>6,7</u>	25	<u>-0,2</u>	<u>0,9</u>	84,6
35% POIS	0,39	7,5	37	-4,8	1,2	79,6
35% POIS CORRIGE	0,43	<u>5,4</u>	28	<u>3,7</u>	<u>-2,4</u>	83,2

À partir de Monnet et al. (under revision)
Food and Bioprocess Technology



3. Application : la correction est-elle perçue sensoriellement ?

- Analyse Descriptive Quantitative, 11 panelistes, 16 descripteurs sensoriels générés (aspect, texture, saveur et arômes)



Perception sensorielle effective des différences mesurées instrumentalement :

- ✓ *Fermeté au toucher et en bouche ↔ Fermeté instrumentale*
- ✓ *Couleur de la mie ↔ Clarté instrumentale*



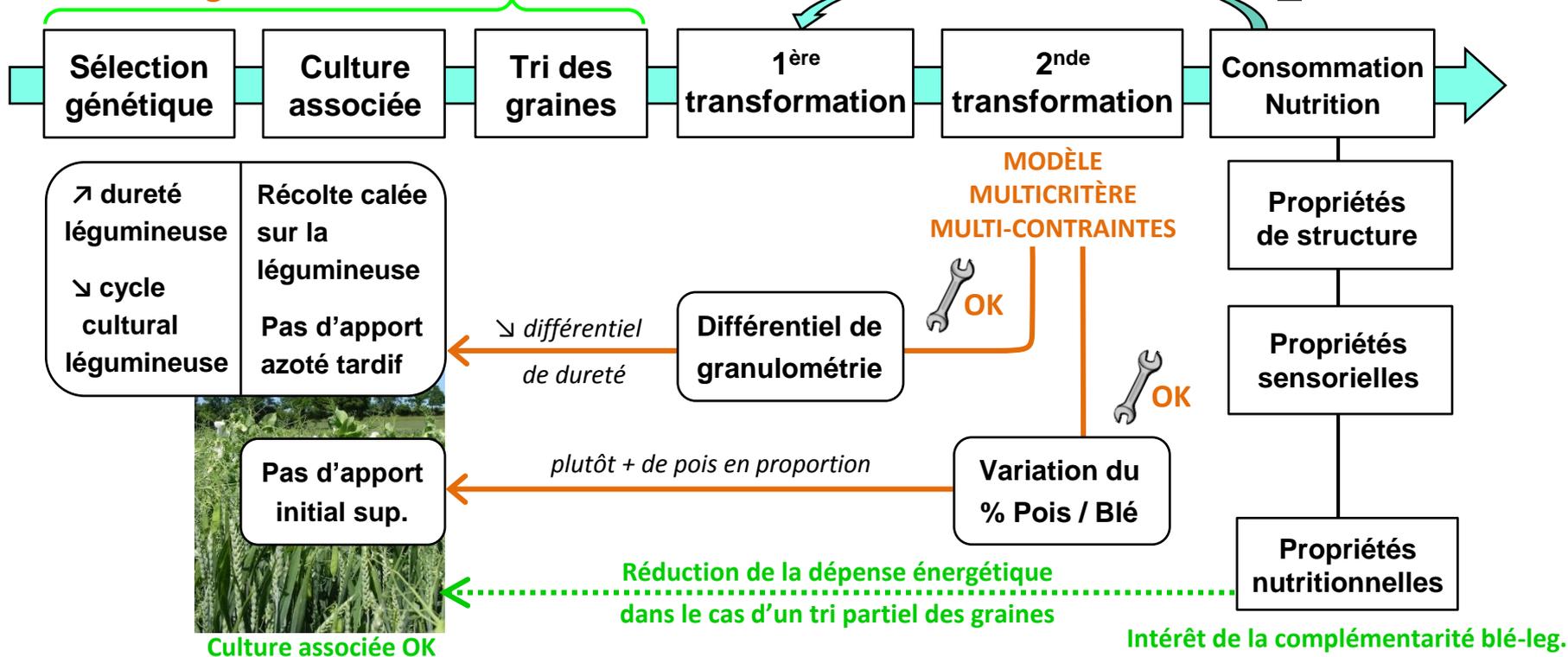
Perceptions d'arôme légumineuse et sensation asséchante dans les cakes 35% pois : non pris en compte dans la construction de l'outil

→ A travailler par l'aromatisation ou le dosage d'humectant



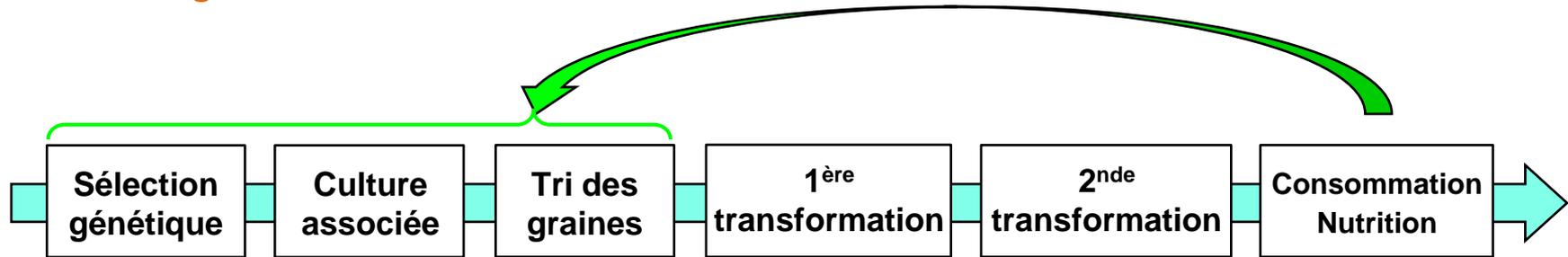
Conclusion générale

Vers l'ingénierie reverse



Conclusion générale

L'ingénierie reverse à l'échelle de la filière

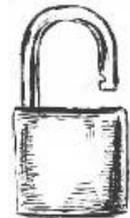


- ✓ Preuve de l'intérêt d'une approche intégrative à l'échelle de la filière
- ✓ Preuve de concept pour les démarches d'ingénierie reverse à l'échelle d'une filière

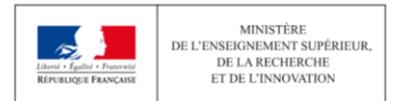
Des verrous à lever pour stimuler le développement des filières de culture associée

Rémunération des agriculteurs, débouchés suffisants

Acceptation du consommateur vis-à-vis d'une composition variable



Merci
pour votre attention



Carrefours de l'innovation
agronomique



5 novembre 2019
Espace de conférence IRIS | PARIS