



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)*



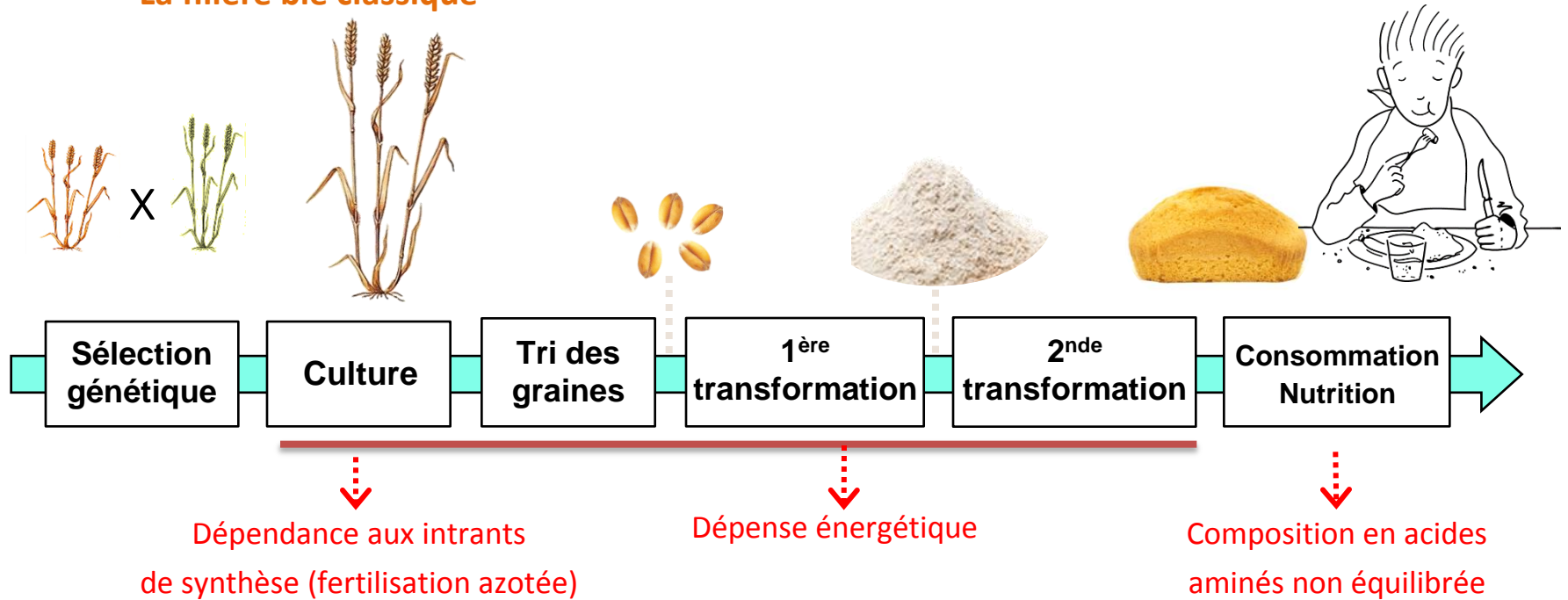
Carrefours de l'innovation  
agronomique



5 novembre 2019  
Espace de conférence IRIS | PARIS

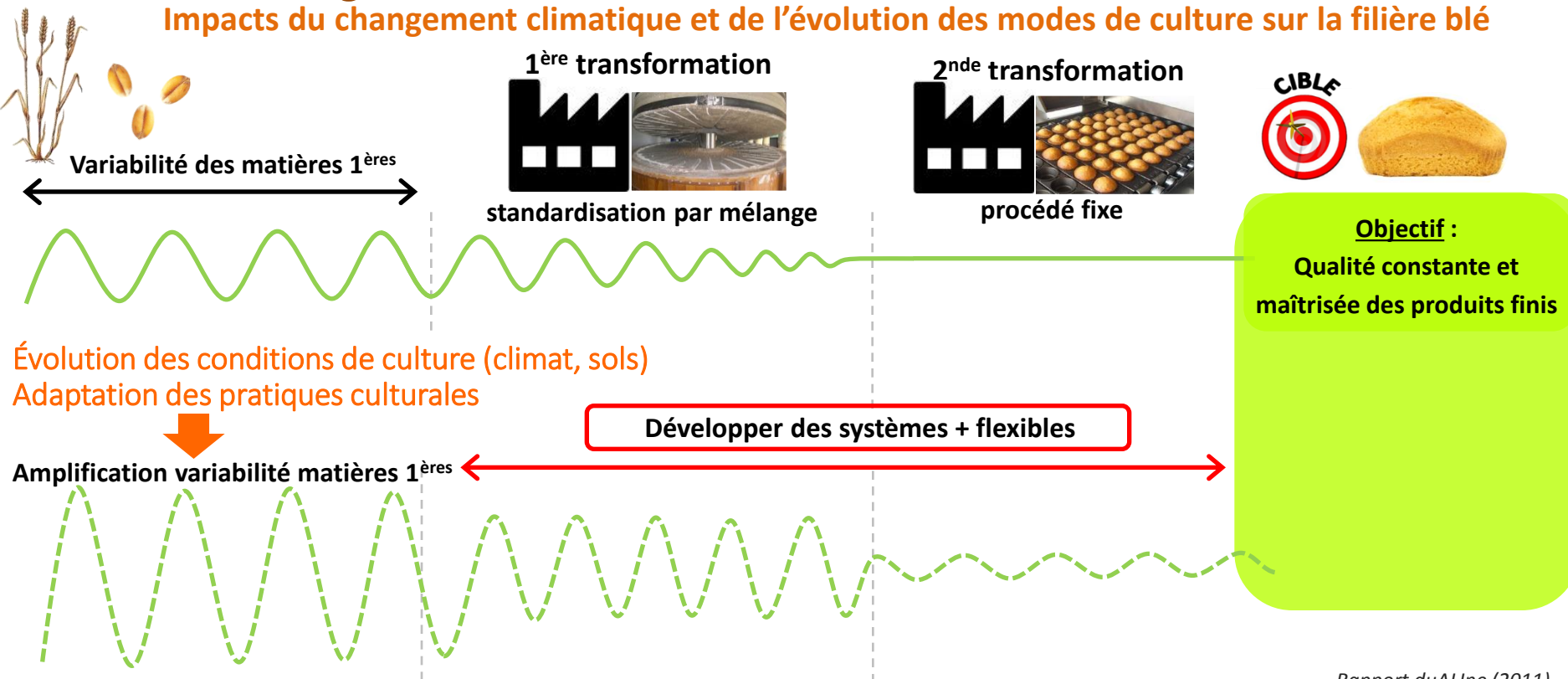
# Contexte général : durabilité de la filière blé

## 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



**Objectif :**  
Qualité constante et maîtrisée des produits finis

Rapport du AULoc (2011)



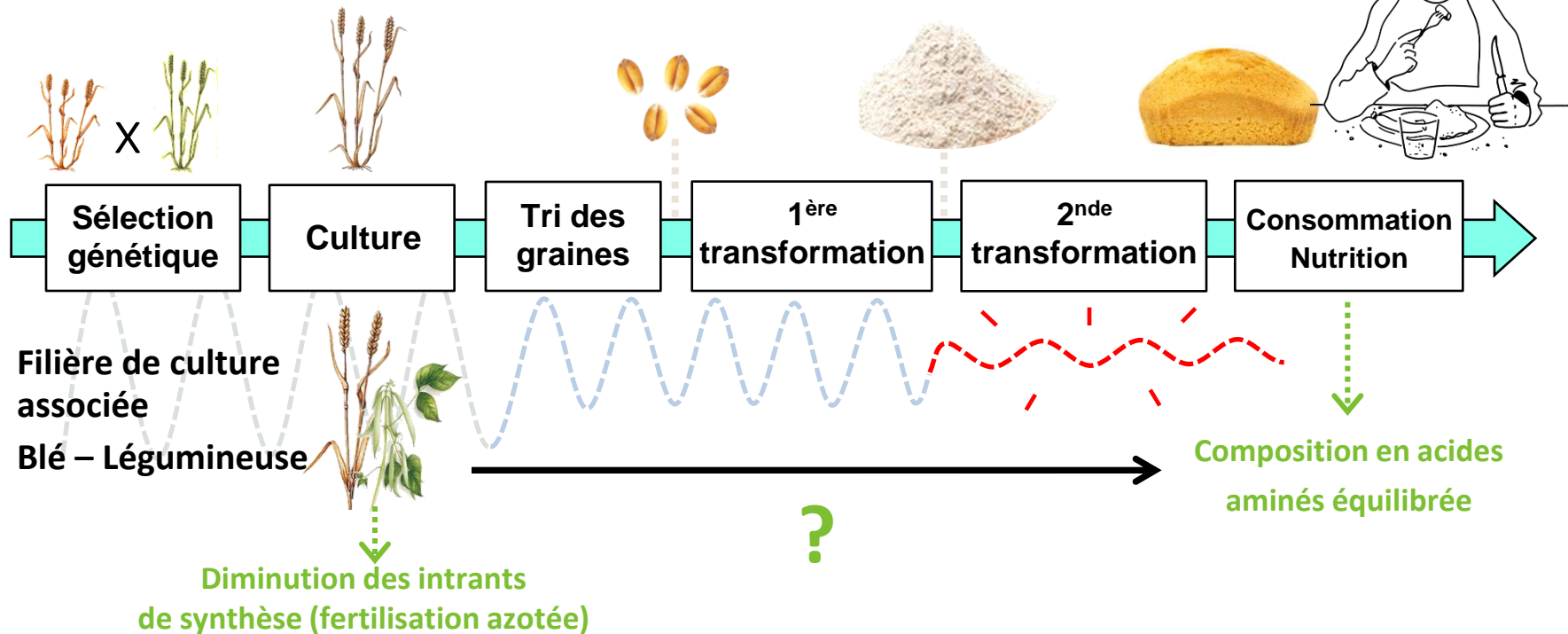
Carrefours de l'innovation  
agronomique



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<sup>ère</sup>  
transformation

2<sup>nde</sup>  
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<sup>ère</sup> transformation  
commune ?



Hypothèses sur les  
propriétés des farines



Carrefours de l'innovation  
agronomique



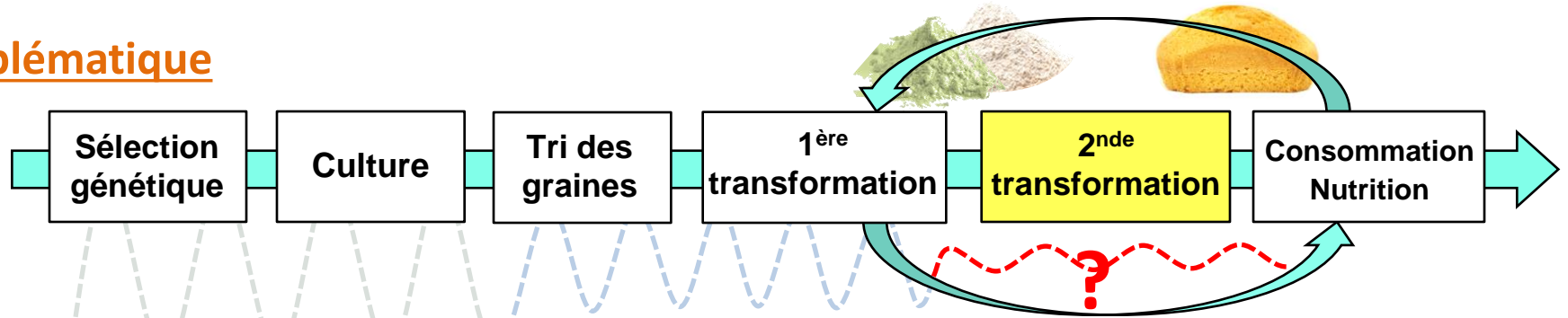
5 novembre 2019

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 1<sup>ères</sup> 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

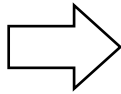
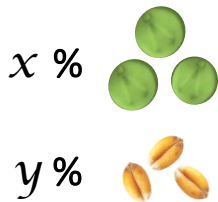




# 1. Acquisition des connaissances

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

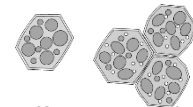
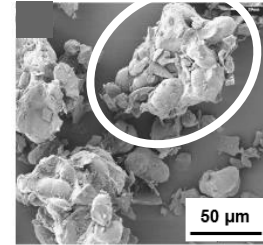
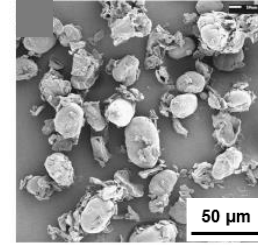
# 1. Acquisition des connaissances

## Quelles variations de la matière première induites au stade « 1<sup>ère</sup> 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

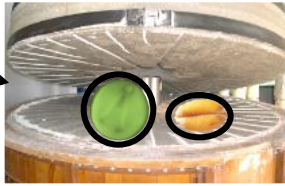
- granulométrie de la farine de blé

- granulométrie de la farine de pois

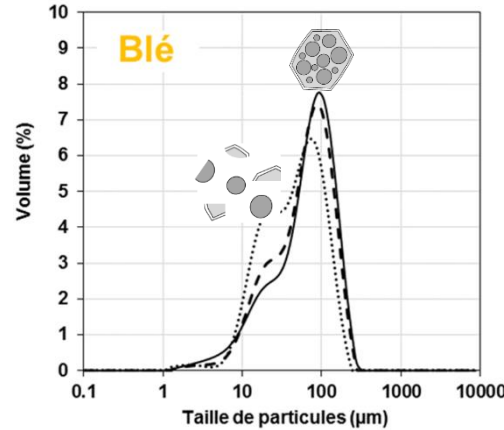
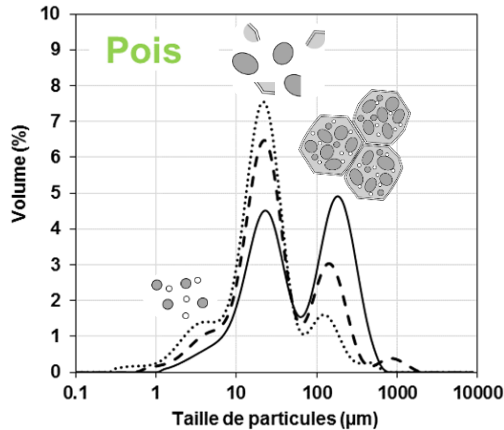
**M<sub>2</sub>**  
**M<sub>3</sub>**

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

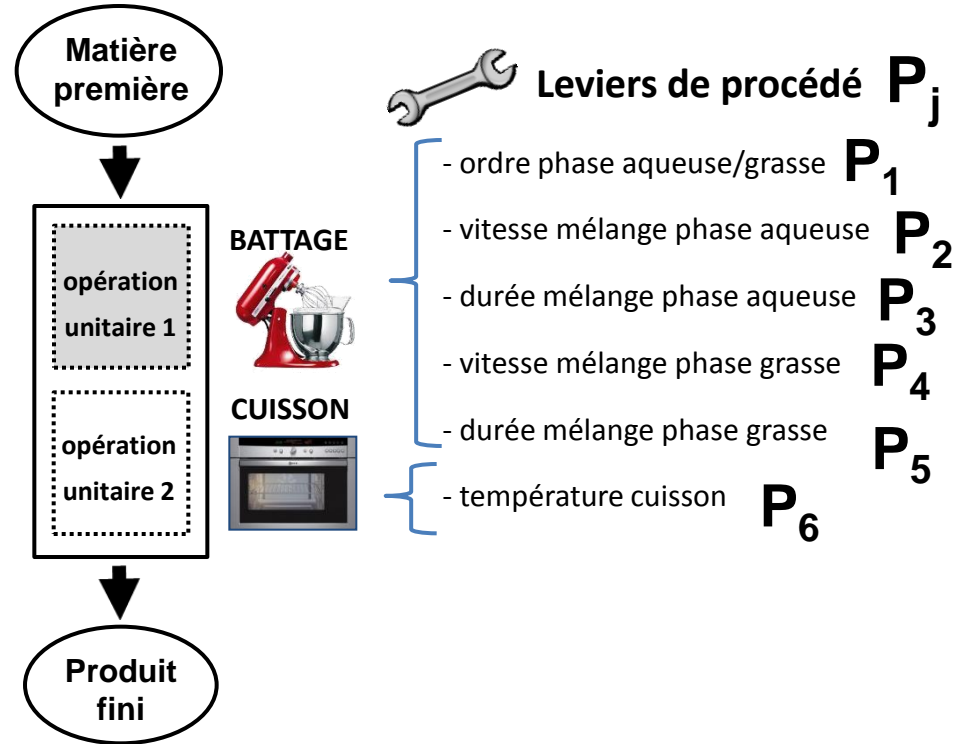


5 novembre 2019

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

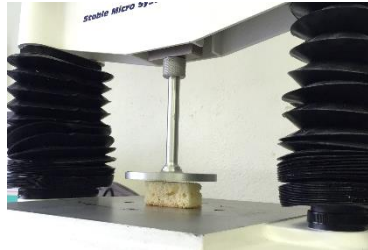
Masse volumique  
Indice de symétrie

**S<sub>1</sub>**  
**S<sub>2</sub>**



Fermeté de la mie

**S<sub>3</sub>**



Taille des alvéoles

**S<sub>4</sub>**

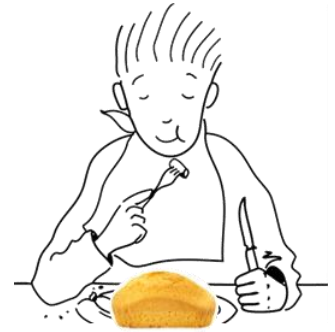
Épaisseur des parois

**S<sub>5</sub>**



Couleur de la mie

**S<sub>6</sub>**



Carrefours de l'innovation  
agronomique



5 novembre 2019  
Espace de conférence IRIS | PARIS

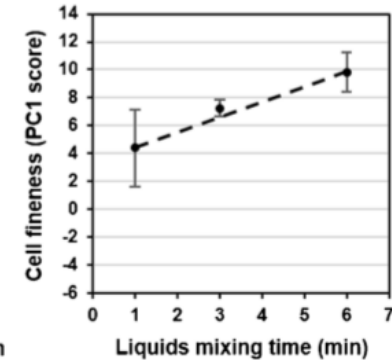
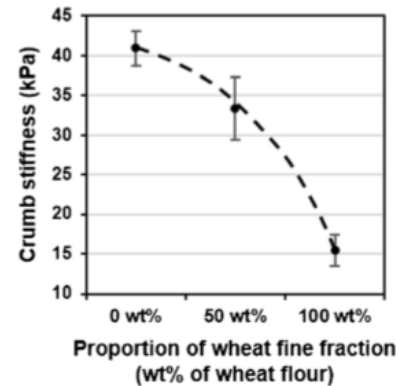
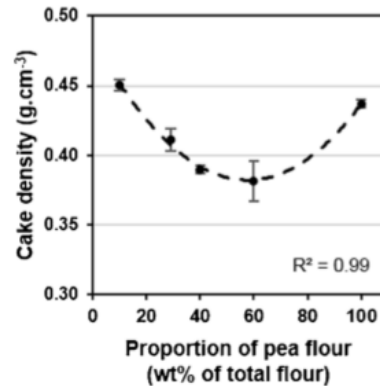
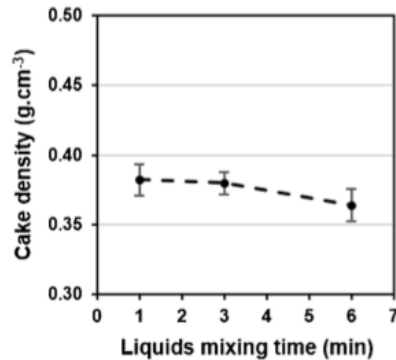
## 2. Construction de l'outil d'aide à la conduite du procédé Définition d'un plan d'expériences optimal

**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  
agricole

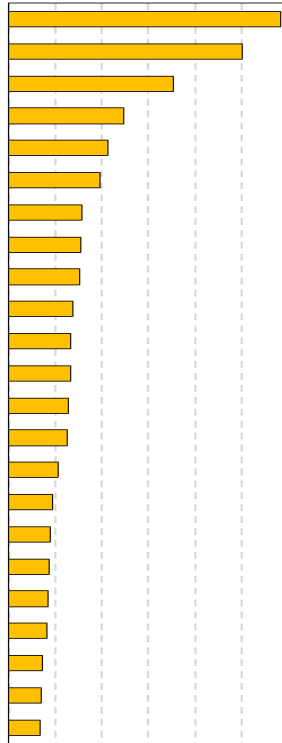


5 novembre 2019  
Espace de conférence IRIS | PARIS

## 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 <sup>2</sup>
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 <sup>2</sup>
22. Proportion de pois <sup>2</sup>
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.



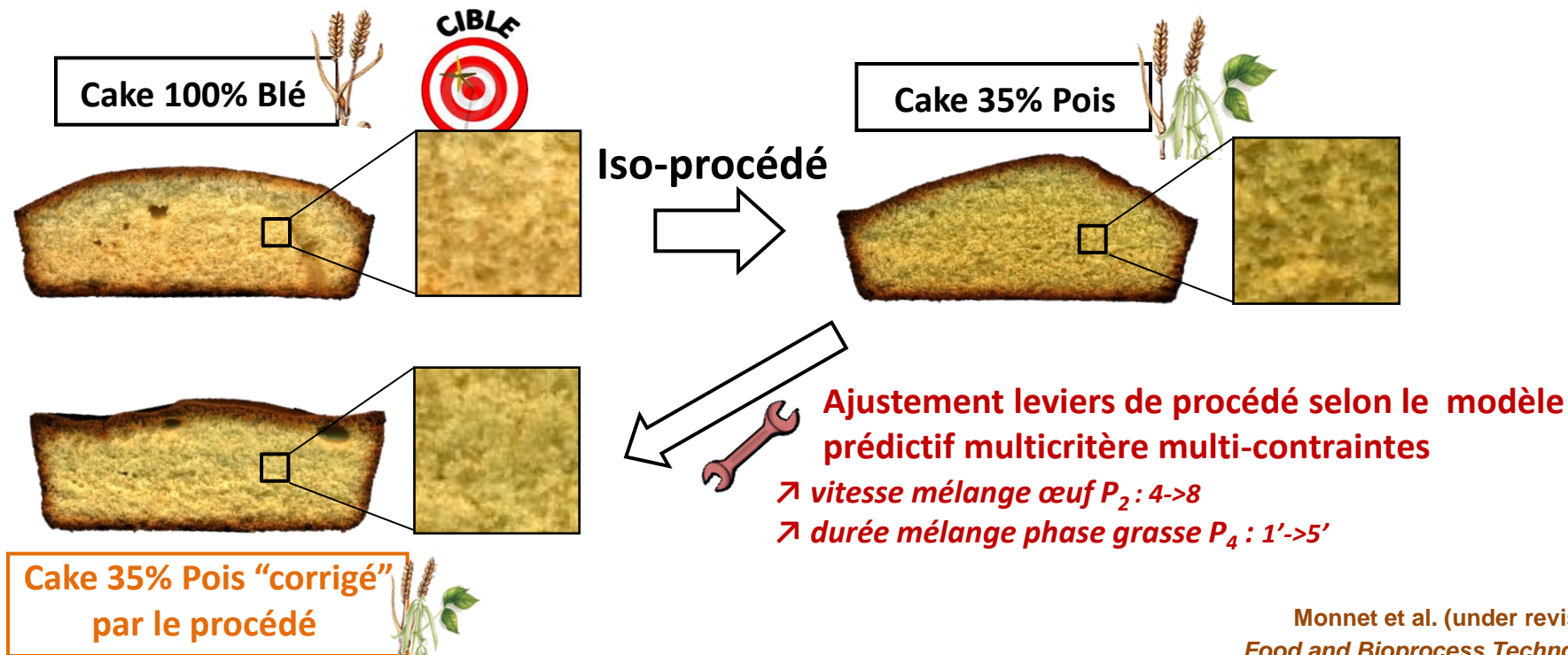
Carrefours de l'innovation  
agricole



5 novembre 2019  
Espace de conférence IRIS | PARIS

### 3. Application : correction des propriétés instrumentales

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



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



Carrefours de l'innovation  
agronomique

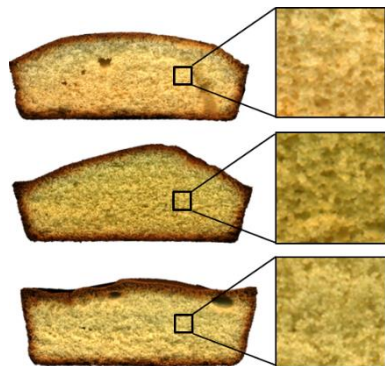


5 novembre 2019  
Espace de conférence IRIS | PARIS



### 3. Application : correction des propriétés instrumentales

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



|                     | MASSE<br>VOLUMIQUE<br>(G.CM <sup>-3</sup> ) | INDICE DE<br>SYMETRIE<br>(-) | RIGIDITE<br>(KPA) | FINESSE<br>D'ALVEOLES | EPAISSEUR<br>DE PAROIS | CLARTE<br>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<br>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*



Carrefours de l'innovation  
agronomique

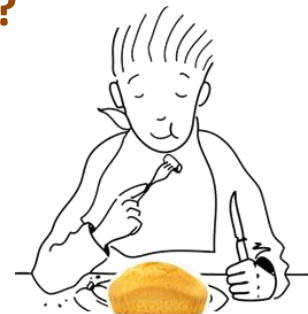


5 novembre 2019  
Espace de conférence IRIS | PARIS



### 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*

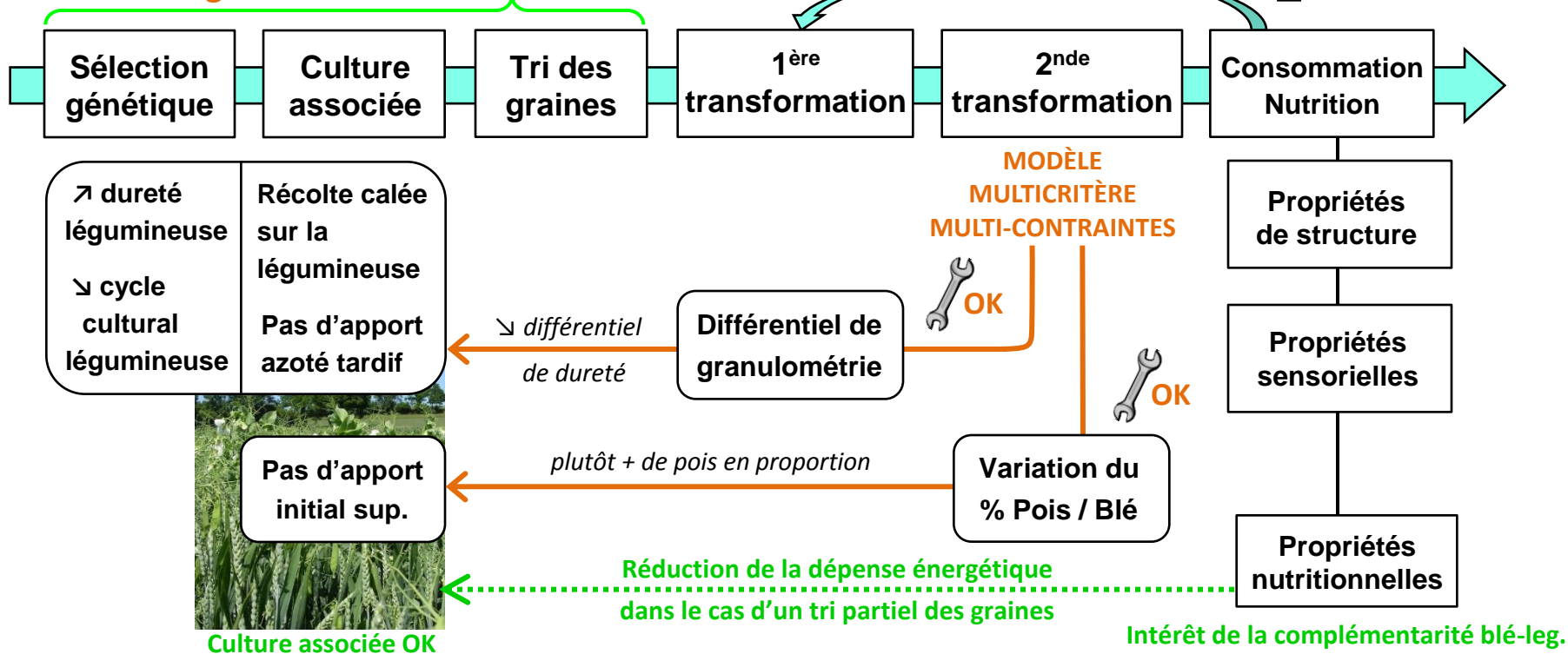
**Perceptions d'arôme légumineuse et sensation asséchante dans les cakes 35% pois : non pris en compte dans la construction de l'outil**

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



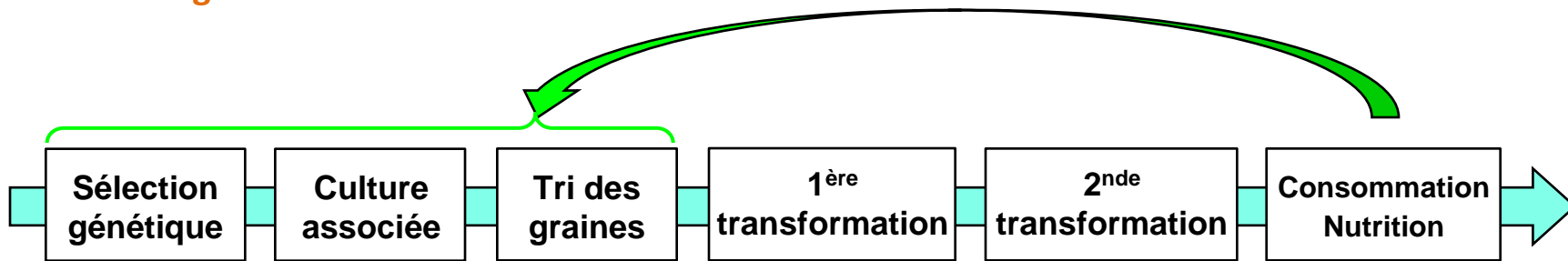
# Conclusion générale

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