

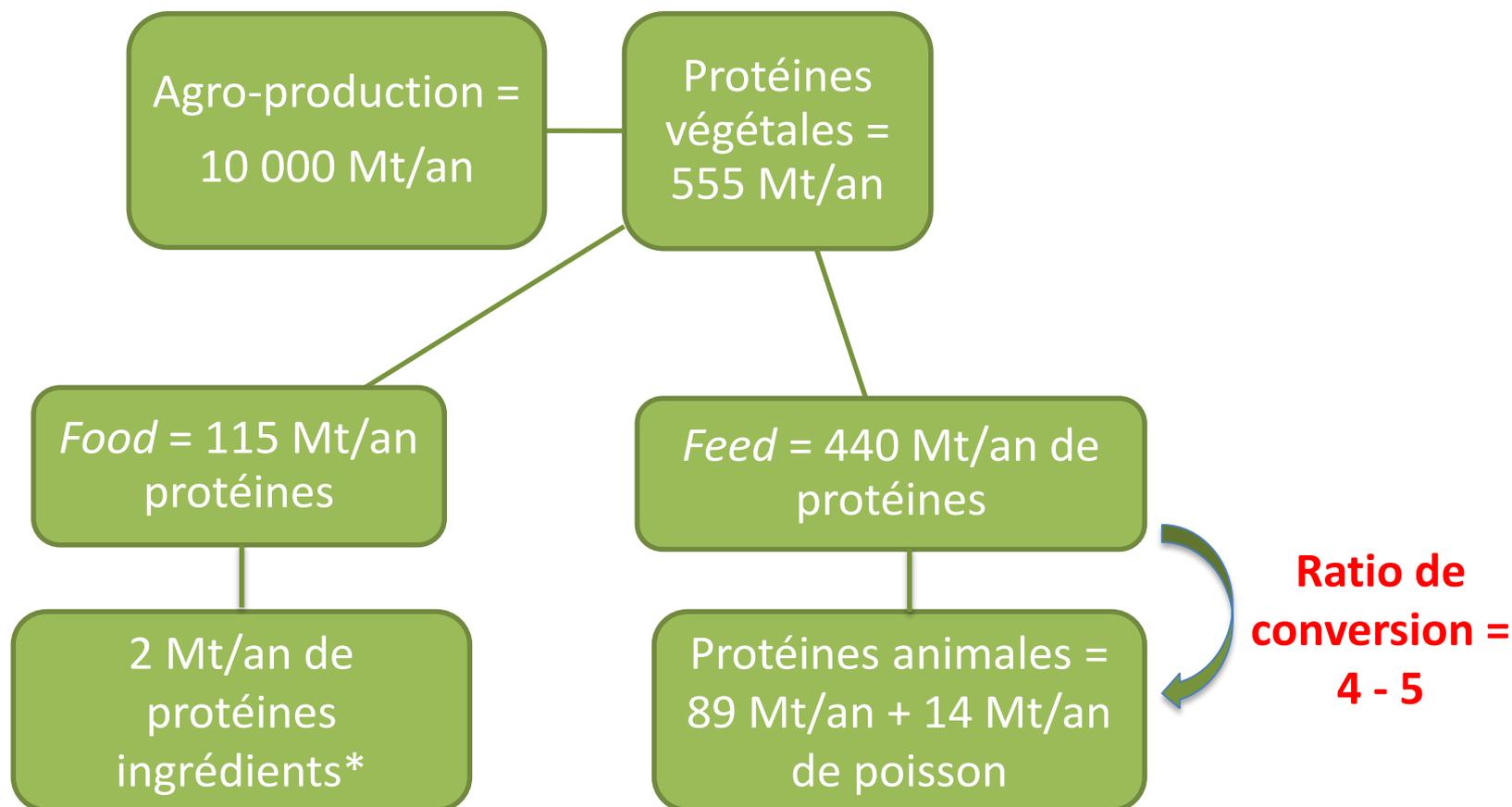
**Les innovations technologiques dans la
transformation des protéines végétales :
*Quels atouts pour les légumineuses ?***



Michel Lopez



Bilan matière protéique mondiale



* 56% **soja**, 43% blé et moins de 1% pour le **pois**, riz, pomme de terre, colza, fèverole, lupin, tournesol, algues,



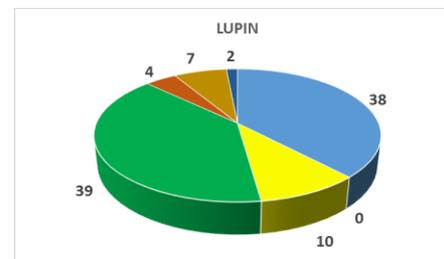
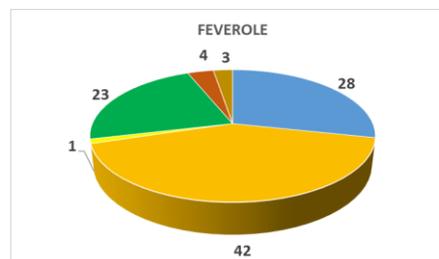
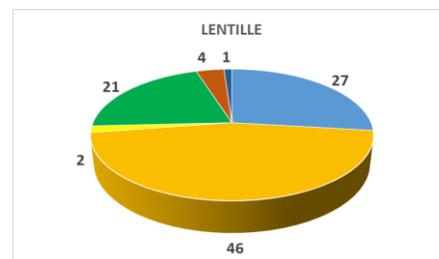
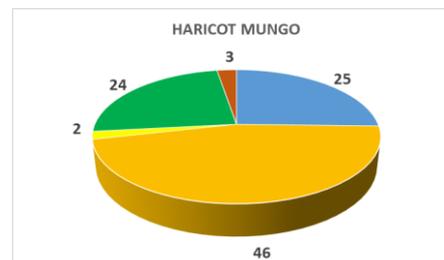
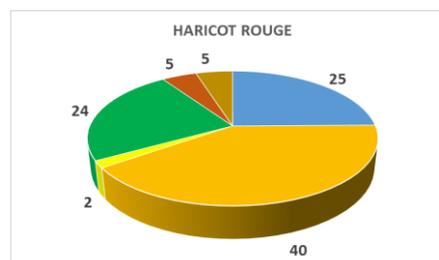
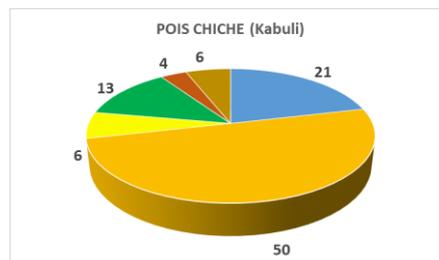
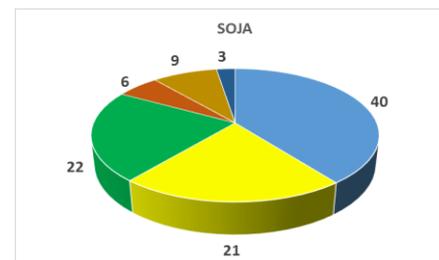
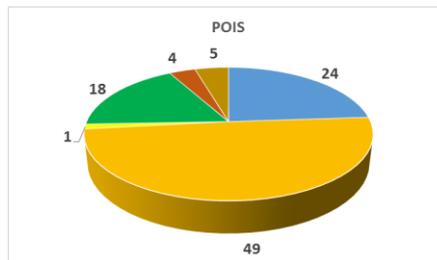
Diversité des grains de légumineuses

Forme

Composition



Protéines Amidon Lipides Cendres Sucres Autres



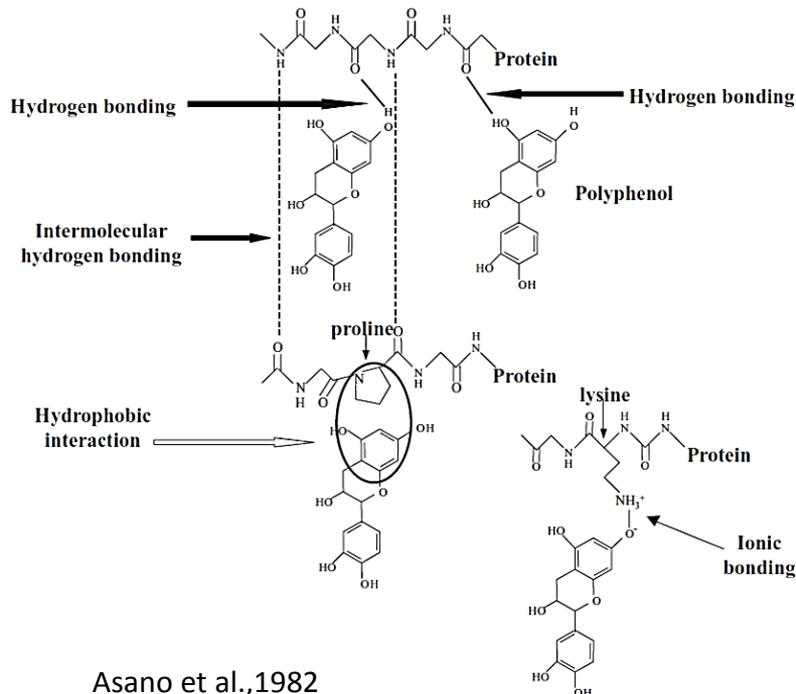
Macro & micro-constituants des légumineuses

MACRO-NUTRIMENTS

- Lipides
- Polysaccharides
- Protéines :
 - P. du métabolisme
 - Protéines de réserve
 - Inhibiteurs de protéases
 - Lectines

MICRO-CONSTITUANTS

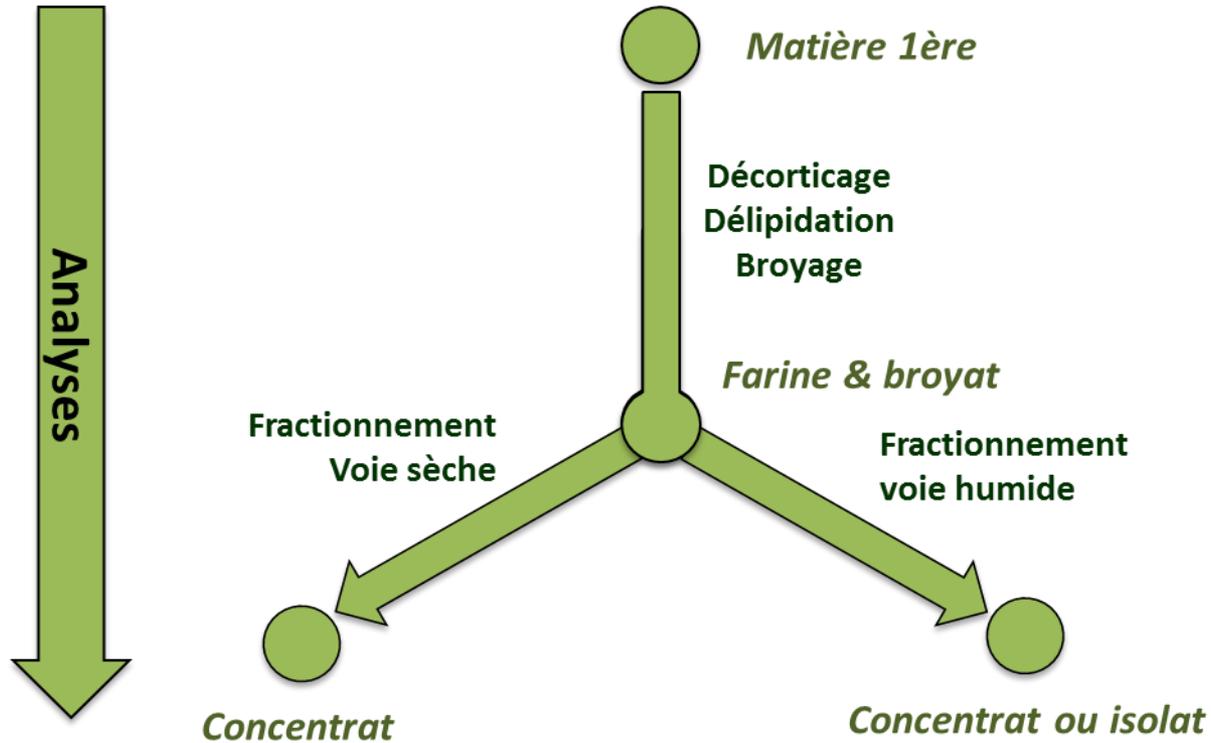
- α -galactosides
- Acide phytique
- Polyphénols
- Tannins
- Acide chlorogénique
- Phytoestrogènes
- Saponines
- Alcaloïdes
- Hétérosides cyanogéniques
- ...



Asano et al., 1982

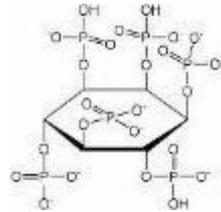
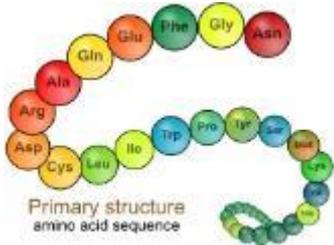


Stratégies d'extraction des protéines

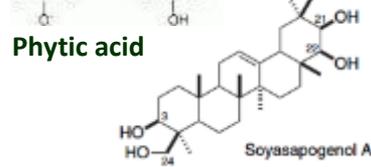


4 propriétés qui caractérisent les protéines

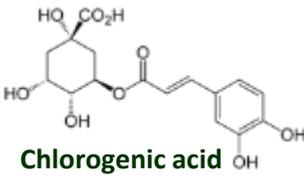
Nutritionnelle



Phytic acid

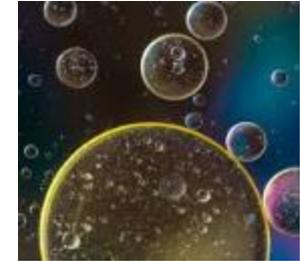


Soyasapogenol A

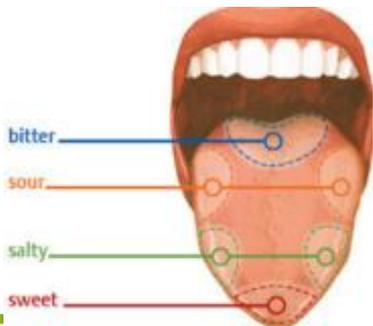


Chlorogenic acid

Fonctionnelle



Organoleptique



Revendications & étiquetage

Items for communication	raw material	process
Food Allergens (8 in USA, 14 in Europe, 27 in Japan...)	✓	✓
Anti nutritional factors	✓	✓
Bio activities (more than 30 linked to peptides)		✓
Clean label		✓
GMO free	✓	
Organic	✓	✓
Plant origin	✓	
Protein purity		✓

Les enjeux actuels et les verrous à lever autour de l'extraction des protéines de légumineuses



Les enjeux actuels et les verrous à lever autour de l'extraction des protéines de légumineuses

- Diversité des espèces de légumineuses vs **processabilité**
- Améliorer les qualités **organoleptiques** des CP/IP
- Améliorer les qualités **nutritionnelles** des CP/IP
- Améliorer les qualités **fonctionnelles** des CP/IP
- Améliorer le **contrôle microbiologique** des CP/IP
- Fonctionnalisation & propriétés des **ingrédients**
- **Coût de production** des CP/PI & valorisation des fractions

Chaque changement apporté au fractionnement par voie sèche ou humide des graines de légumineuses influence positivement voire négativement ces différents critères.



Fractionnement par voie sèche des graines de légumineuses

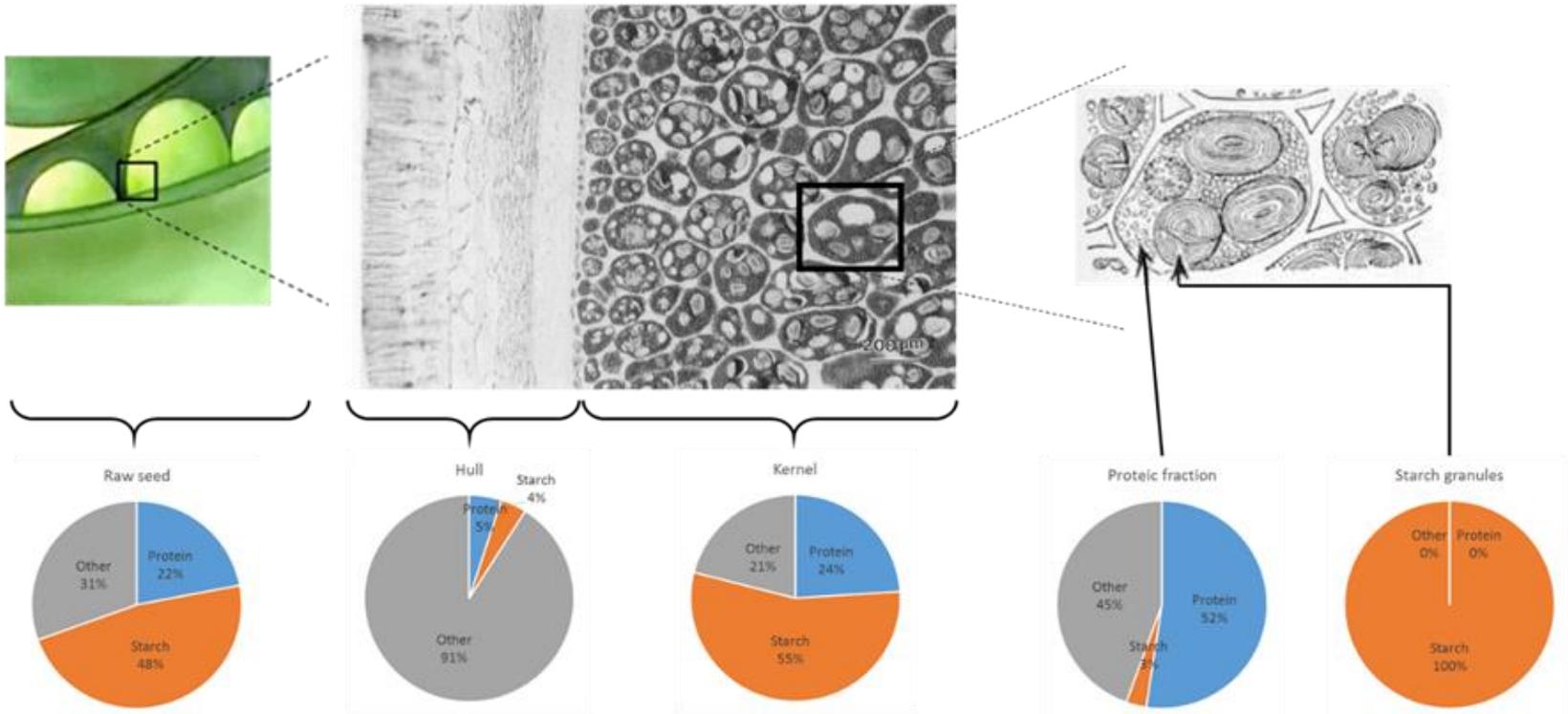


Fractionnement par voie sèche

L'exemple du pois

Morphology
(macroscopic scale)

Histology
(microscopic scale)

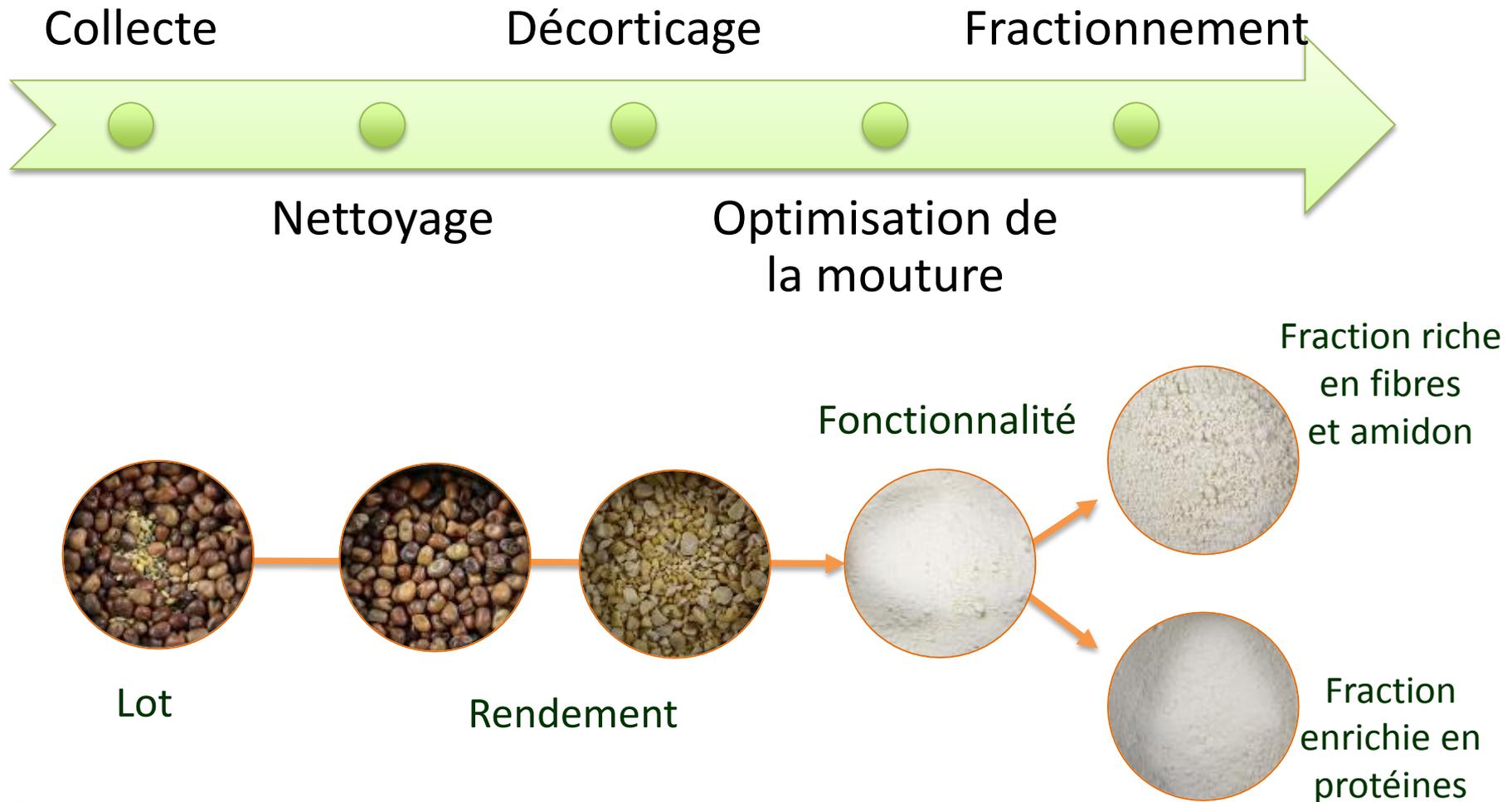


Le fractionnement par voie sèche met à profit l'hétérogénéité du matériel végétal pour produire des ingrédients différents par leur composition et/ou leur fonctionnalité.



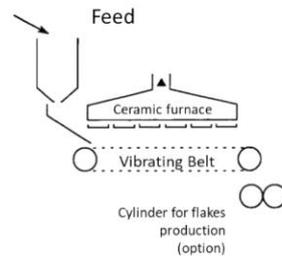
Fractionnement par voie sèche

Les étapes du procédé

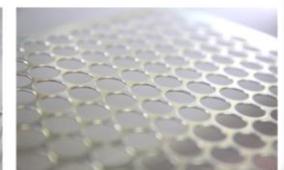
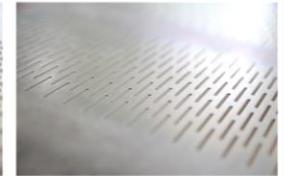
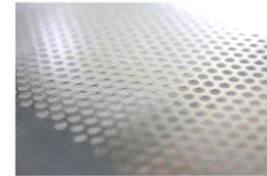


Techniques de préparation des graines

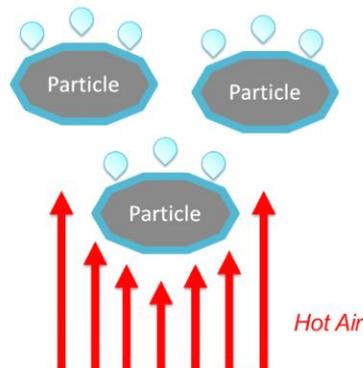
Micronizing (micronizing company®)



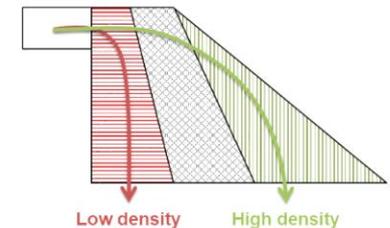
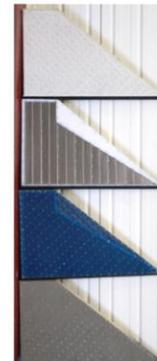
Seed cleaner – SLN3 (Pfeuffer®)



Fluid bed dryer – TG 200 (Retsch®)



Densimetric table – LAK (Westrup®)



Technologies de décorticage des graines

Stone mill and stone dehuller (Alma®)

Impact dehuller (Alma®)

Whitening/Shelling Machine (Schule®)

Knife mill - SM300 (Retsch®)

Roll crusher (Satake®)

Gravity classifier ZIGZAG – MZM 1-40 (Hosokawa-Alpine®)

Préparation & décorticage des graines



Avantages

- Amélioration organoleptique
- Réduction des Facteurs antinutritionnels
- Réduction de la charge microbologique



Limites

- Risque de modification des protéines
- Formation de composés de Maillard
- Coût énergétique

Decontamination

Traitements thermiques flash

Ozonation

Plasmas froids

Traitements à lumière pulsée



Processabilité



Organoleptique



V. Nutritionnelle



V. Fonctionnelle



Contrôle microbio.



Propriété ingrédients



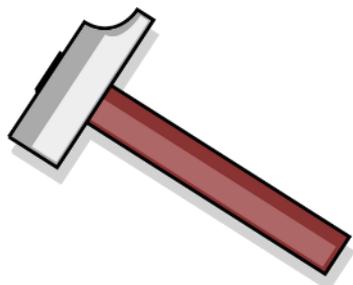
Coût de production



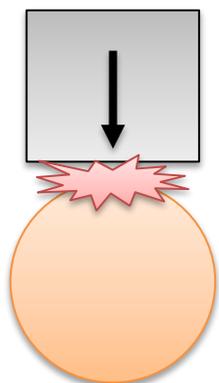
Réduction granulométrique

Comment casser la matière?

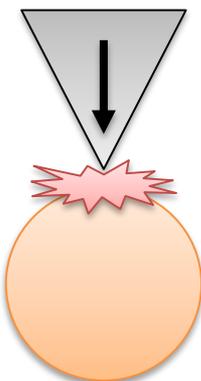
Plusieurs sollicitations mécaniques envisageables



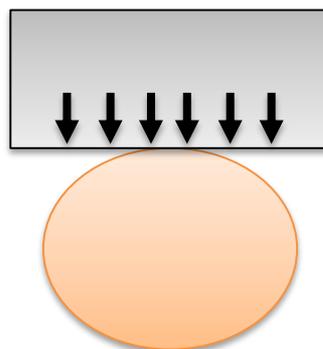
Impact



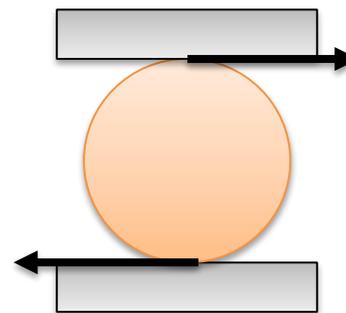
Découpe



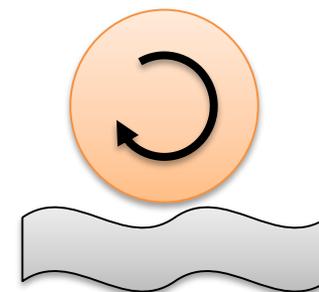
Compression



Cisaillement



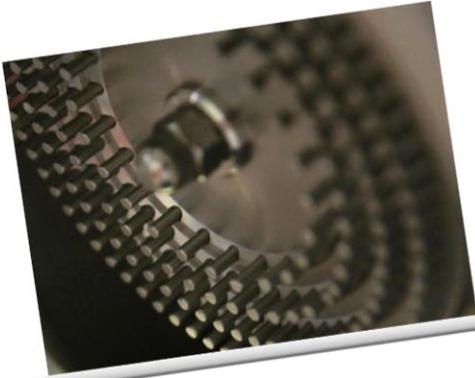
Abrasion



Chaque broyeur est une combinaison de 1 ou plusieurs sollicitations

Technologies de broyage

Pin mill - 100 UPZ (Hosokawa-Alpine®)



Beater mill - 100 UPZ (Hosokawa-Alpine®)



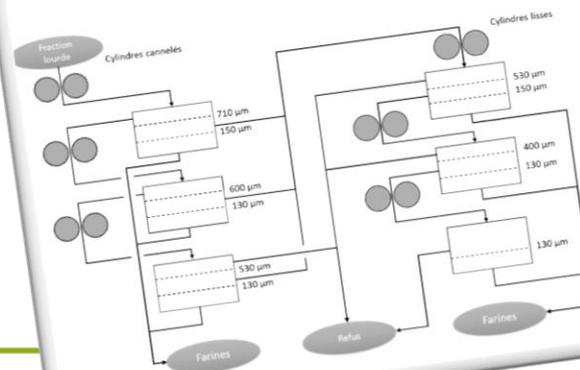
Knife mill - SM300 (Retsch®)



Impact mill - 70 ZPS (Hosokawa-Alpine®)

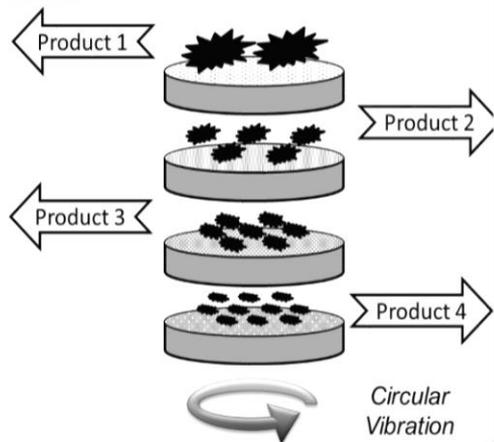


Roll mill - MLU 202 (Bühler®)

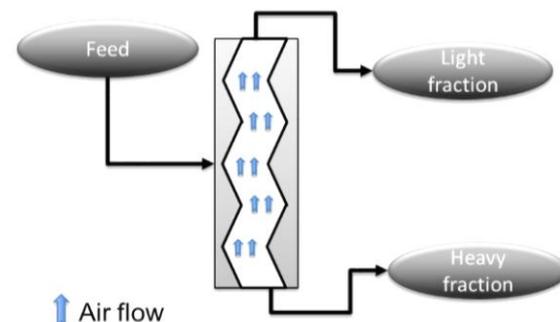


Technologies de fractionnement des farines

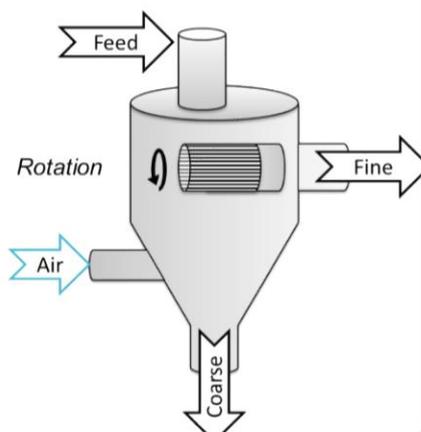
Vibration round screener
VRS600 (Allgaier®)



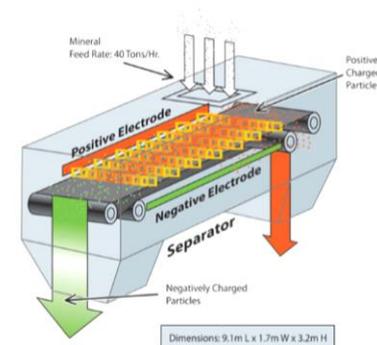
Gravity classifier ZIGZAG –
MZM 1-40 (Hosokawa-Alpine®)



Air classifier - 70 ATP (Hosokawa-Alpine®)



Electrostatic separation (STET®)

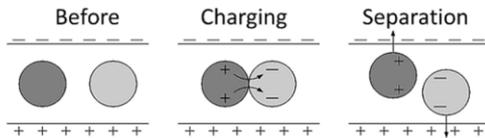


Technologie de rupture

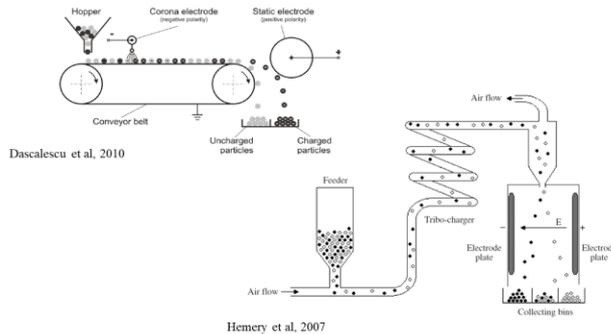
Electroséparation

Particles can be electrostatically charged according to their chemical composition

New concept →
Particles classification according to their charging ability and thus composition



Huge increase of literature since 2007
→ Different design available



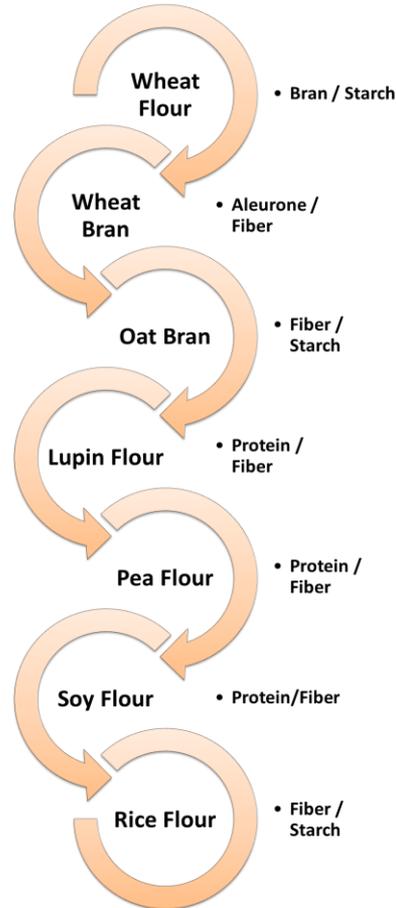
Many promising results available in academic sources

Electrostatic separation at industrial scale

Classification by electrostatic properties

Recent technology but mature in fly ash industry

Coarse and fine particles



Oat Bran

Electrode 1
Protein → 19%
Total fiber → 22%
Starch → 47%

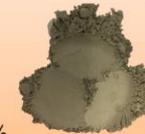


Protein → 18%
Total fiber → 19%
Starch → 53%

Electrode 2
Protein → 14%
Total fiber → 9%
Starch → 66%

Sunflower meal

Electrode 1
Protein → 27%
Total fiber → 51%



Protein → 41%
Total fiber → 33%

Electrode 2
Protein → 51%
Total fiber → 23%

Lupin flour

Electrode 1
Protein → 30%
Total fiber → 43%



Protein → 33%
Total fiber → 36%

Electrode 2
Protein → 48%
Total fiber → 19%

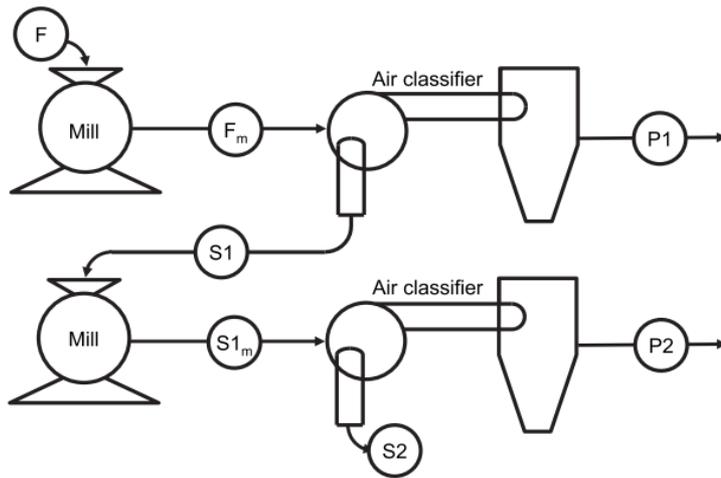
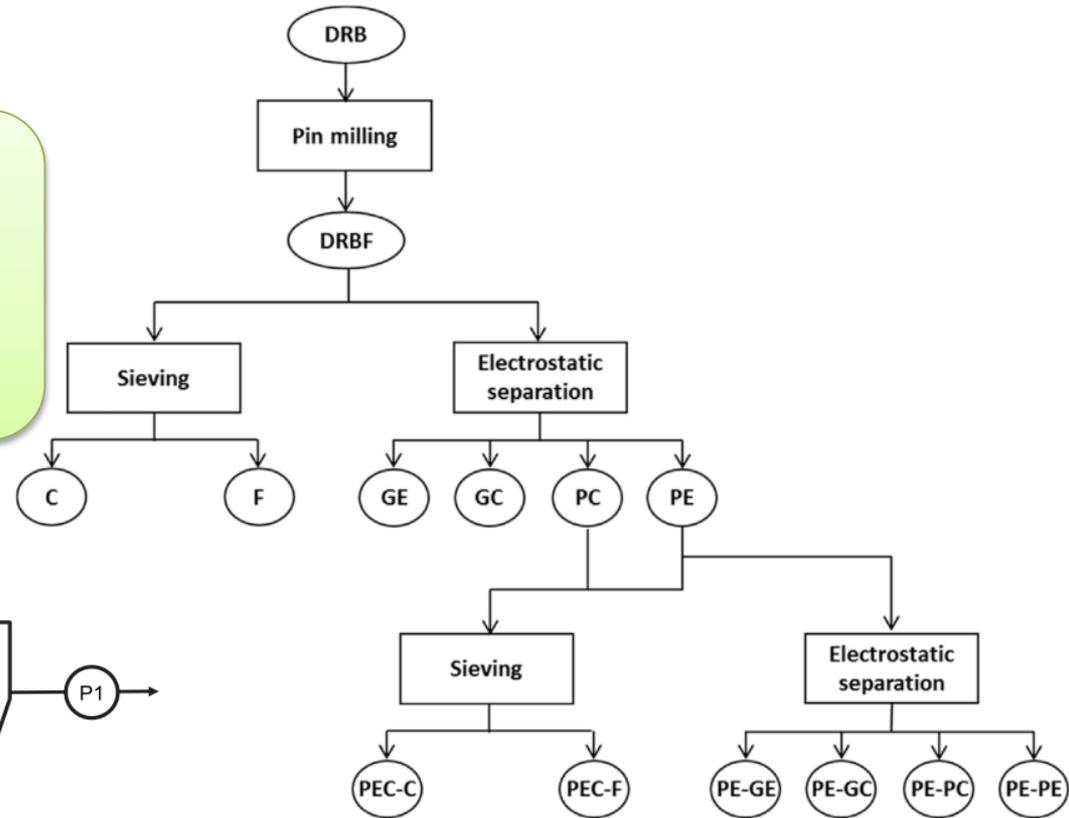


STO
EQUIPMENT + TECHNOLOGY



Stratégies de fractionnement

- Ces procédés combinent des technologies variées.
- Ces procédés sont compatibles avec des productions industrielles



Production & fractionnement des farines

Avantages

- Stratégie de déconstruction
- Sans eau
- CP = fraction fine - turboséparation
- Faible CAPEX et OPEX
- Procédés robustes
- Clean label / Bio
- Réduction de la quantité de matière avant fractionnement par voie humide

Limites

- Pureté e.g. amidon
- Teneur en lipide réduit l'aptitude au fractionnement
- Connaissances empiriques
- Coût énergétique du fractionnement

Turboséparation de farine de féverole

Fraction fine

- 29% de la farine
- 61% de protéines



Fraction lourde

- 71% de la farine
- 19% de protéines



Processabilité

Organoleptique

V. Nutritionnelle

V. Fonctionnelle

Contrôle microbio.

Propriété ingrédients

Coût de production

Extraction des lipides et des micro-constituants de farines de légumineuses

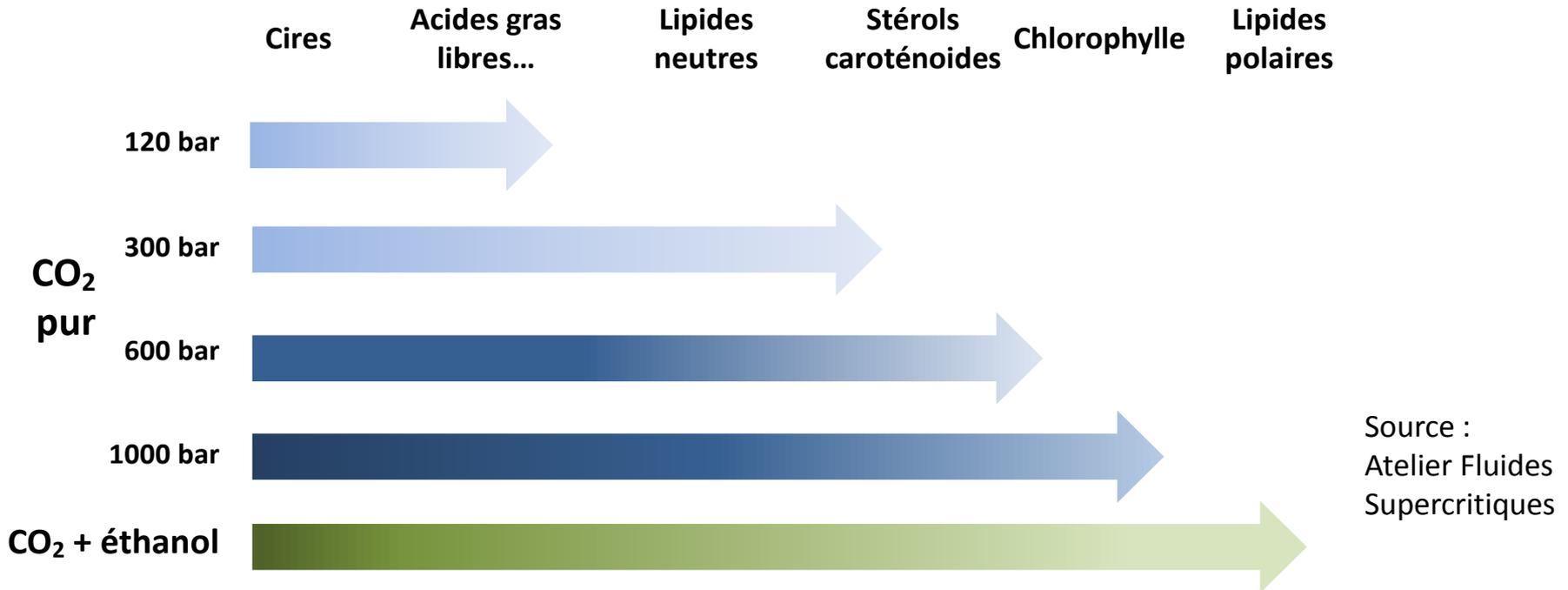


Extraction des lipides et des micro-constituants avec des solvants

- **Extraction à l'hexane** → élimination des lipides
- **Extraction à l'alcool** → élimination des polyphénols et des saponines
- **Extraction des lipides favorisée par des traitements microonde, ultrason ou champs électriques pulsés**
- **Extraction aux CO₂ supercritique**
- **Solvants obtenus par des procédés « vert »**
- **Liquides ioniques**
- ...



Extraction au CO₂ supercritique



• Avantages



- Délipidation de tourteaux & farines
- Réduction de la flore
- Elimination des *Off-flavours*
- Production 10 kt/an pour 1€/kg

• Risques



- Dénaturation des protéines



Extraction sans solvant

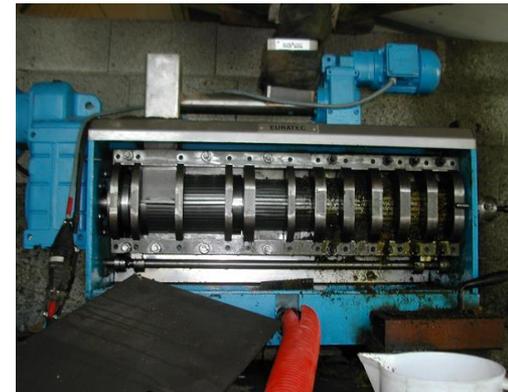
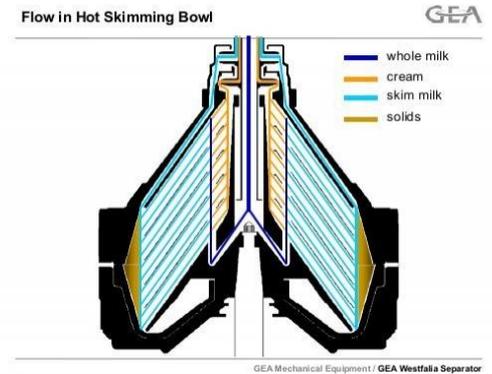
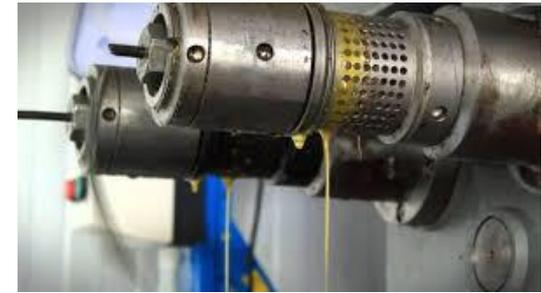
- **Délipidation mécanique**

- Pression à froid
 - température 50-60°C
 - réduction de la consommation d'énergie
 - ~11-18% de lipides résiduels dans le gâteau de pressage
- Ecrémeuse – centrifugeuse à assiettes

- **Délipidation en milieux aqueux**

- Extraction simultanée des fractions lipidique et protéique
- Requière de casser l'émulsion pour séparer prot./lip.
- Faible dénaturation des protéines
- Elimination de composés indésirables solubles dans l'eau
- Combinaison avec des prétraitements e.g. enzymes

Source : Z. Mouloungui – Laboratoire de Chimie Industrielle



Hot topics around lipid & micro-constituents removal



Avantages

Délipidation sans solvant

- Clean label / Bio
- Réduction charge microbiologique (bactofugation)
- Technologies matures

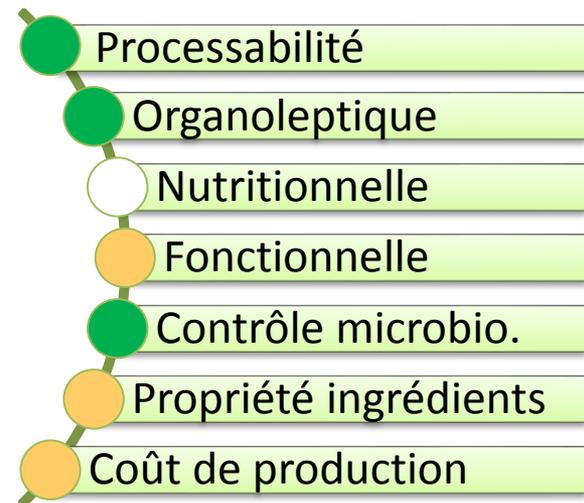


Limites

- Délipidation moins performante / procédés avec solvants

Extraction enzymatique aqueuse

- Respectueux de l'environnement
- Extraction simultanée des fractions lipidiques et protéiques
- Faible dénaturation protéique
- Moindre efficacité / solvants

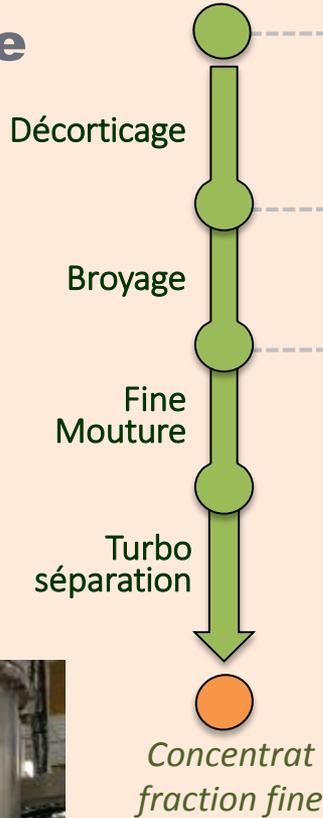


Fractionnement par voie humide vs qualité des CP/IP de légumineuses



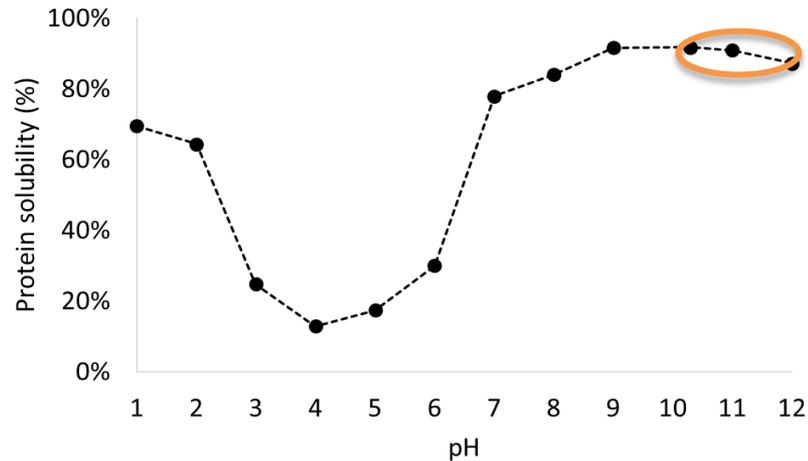
Fractionnement sec/humide

Voie sèche



Fractionnement par voie humide

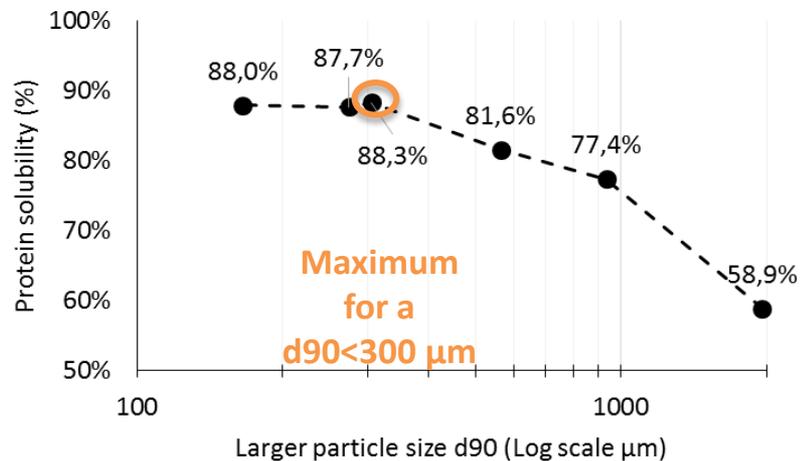
Etape de solubilisation



Féverole

Maximum de solubilité : pH 9 - 10

Minimum de solubilité : pH 4



Cuve d'extraction



Séparation Solid/Liquid

Tricanteur



Flottweg, Alpha Laval

Centrifugeuse à assiettes



GEA, Alpha-Laval

Hydrocyclone

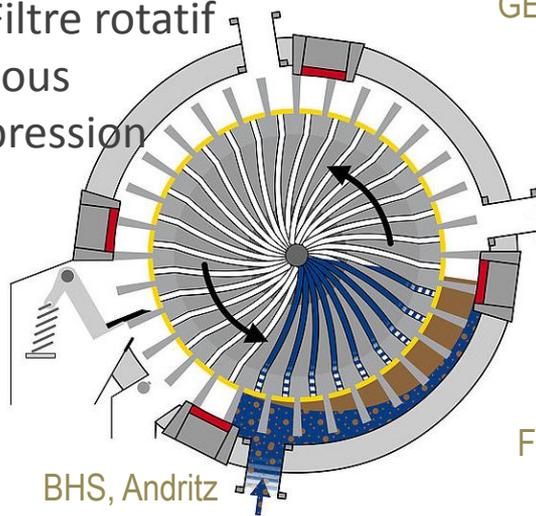


Essoreuse



BMA, Robotel

Filtre rotatif sous pression

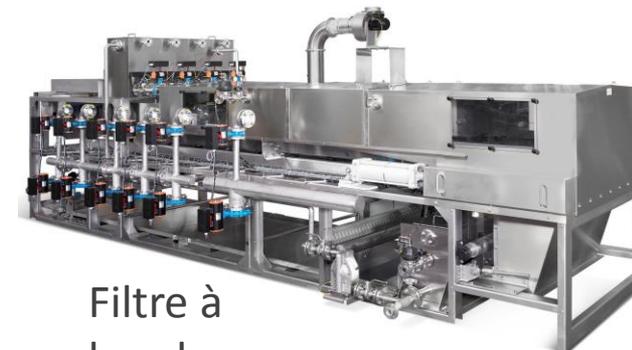


BHS, Andritz

Filtre presse



Faure, BHS, Alfa Laval, Andritz,



Filtre à bande

Andritz, Flottweg

Membranes



Tami industries, Noyons



Pall-Exekia, Bazet

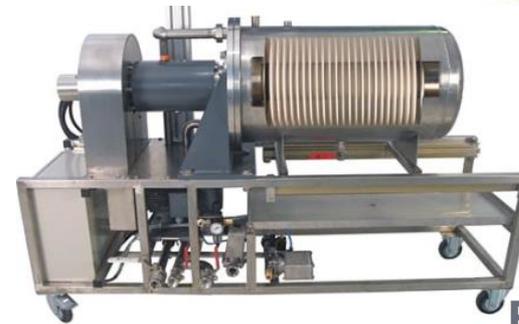
Filtration tangentielle



Membranes tubulaires



Membranes spirales



Filtration dynamique



2 Padovan, Andritz

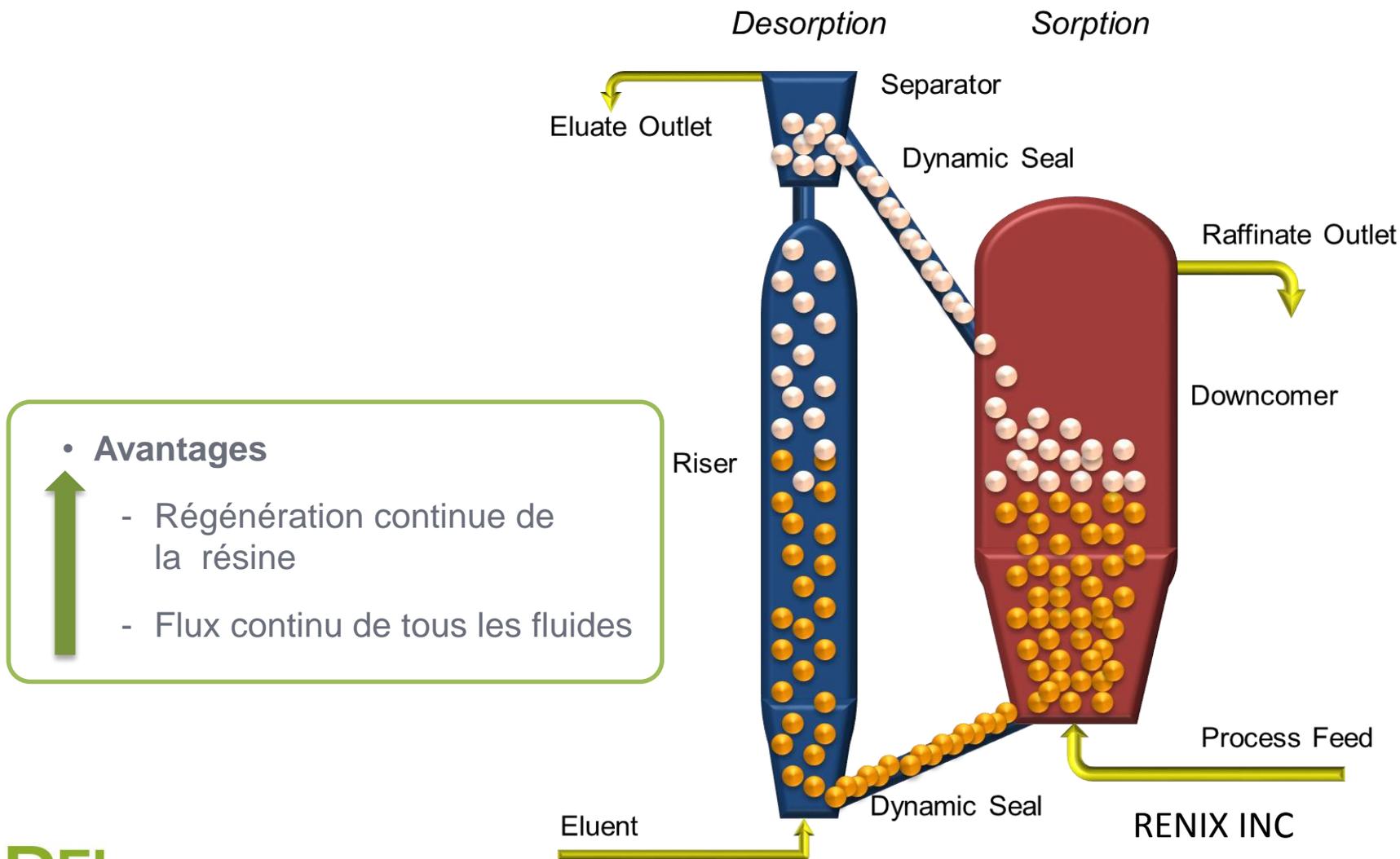


3



Technologie de rupture

Chromatographie en lit fluidisé



• Avantages

- Régénération continue de la résine
- Flux continu de tous les fluides



Réduction des bactéries et spores



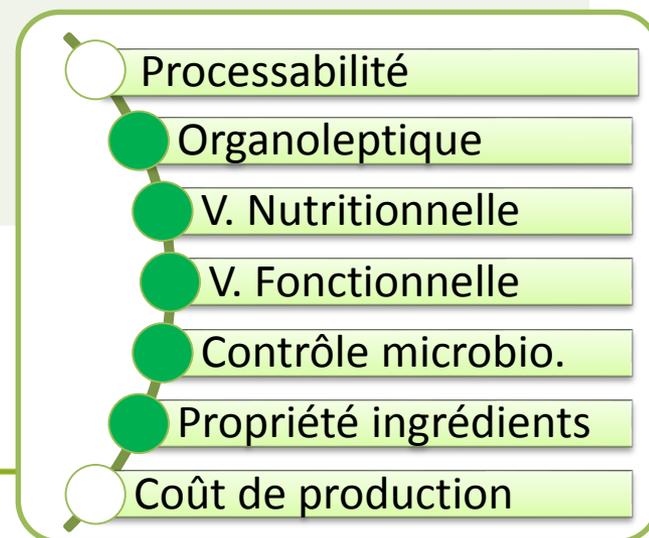
Traitement thermique :
impacte la fonctionnalité
des protéines



Bactofugation ou **microfiltration**:
impact négatif sur le rendement
d'extraction des protéines

Hot topics around wet fractionation

	<u>Avantages</u>	<u>Limites</u>
Thermo. & pH	<ul style="list-style-type: none"> • Compatible avec la nutrition humaine et l'alimentation animale • ↓ risque de contamination μbio • Procédés simples et robustes • ↑ taux d'extraction des protéines • ↓ OPEX / CAPEX 	<ul style="list-style-type: none"> • Impact sur la fonctionnalité des IP • Impact sur la digestibilité • ↑ Teneur en sels des CP/IP
Membrane	<ul style="list-style-type: none"> • MF : <ul style="list-style-type: none"> – ↓ flore microbienne – ↓ fibres & ↓ lipides • UF : <ul style="list-style-type: none"> – ↑ pureté & fontionnalité des CP/IP – Préserve structure native des protéines – Compatible <i>clean label</i> / Bio – ↓ cendres 	<ul style="list-style-type: none"> • Demanding process follow up • ↑ CAPEX • ↑ OPEX • MF : ↓ taux d'extraction protéique • UF : ↑ durée + consommation d'eau



Technologies de séchage & Optimisation de la propriété des poudres



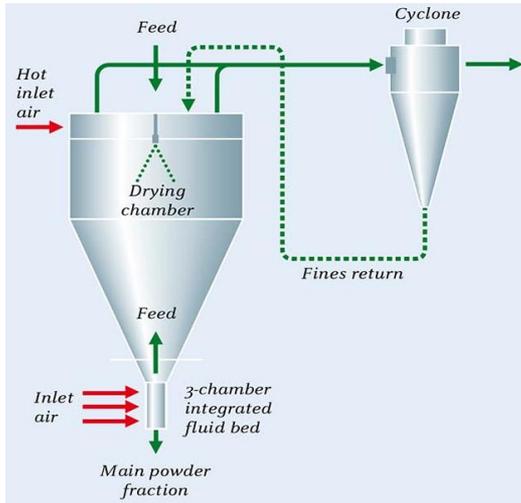
Classification des technologies de séchage

Selon les caractéristiques du produit à sécher

Caractéristique du produit		<i>Ebullition</i>	<i>Entrainement (différence de pression partielle)</i>	<i>Sublimation</i>
Pulvérisable		ND	Atomisation Lit fluidisé	Lyophilisateur
Non-pulvérisable mais pompable	Thermosensible	Sécheur sous vide en batch ou continu	ND	
	Non-thermosensible	Sécheur à cylindre	Sécheur sous courant d'air chaud Sécheur à claies en batch ou continu	
Pâteux et friable		Sécheur sous vide à palettes	Sécheur à tambour rotatif Sécheur à claies	
Haute viscosité et collant		Sécheur sous vide à haute force de cisaillement Sécheur à cylindre	Sécheur sous courant d'air chaud à haute force de cisaillement	

Technologies de séchage

Tour d'atomisation



GEA – Sicca Dania – Alfa Laval...

Sécheur sous vide continu



LIST

Sécheur à cylindre



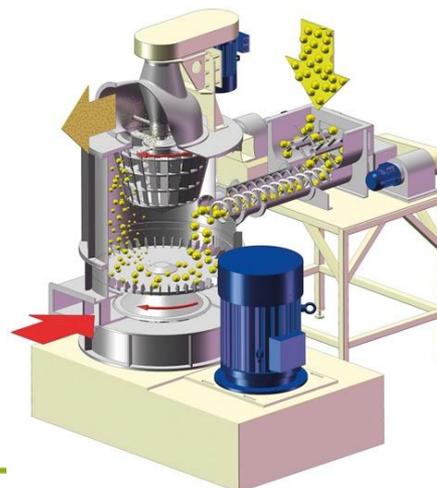
GOUDA ANDRITZ

Sécheur sous courant d'air chaud



WOMM

Sécheur par attrition

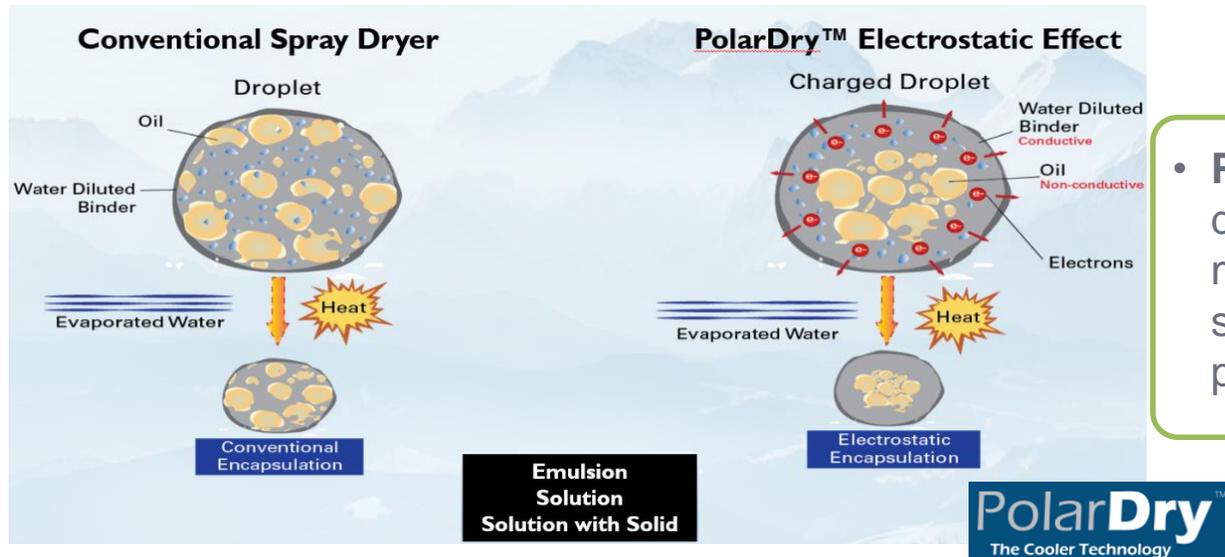


HOSOKAWA



Technologie de rupture

Pulvérisation par buse électrostatique (Electrostatic Spray Dry Systems)



- **Principe** : La polarisation des gouttelettes induit la migration du solvant vers la surface tandis que le principe actif reste au centre.

• Avantages

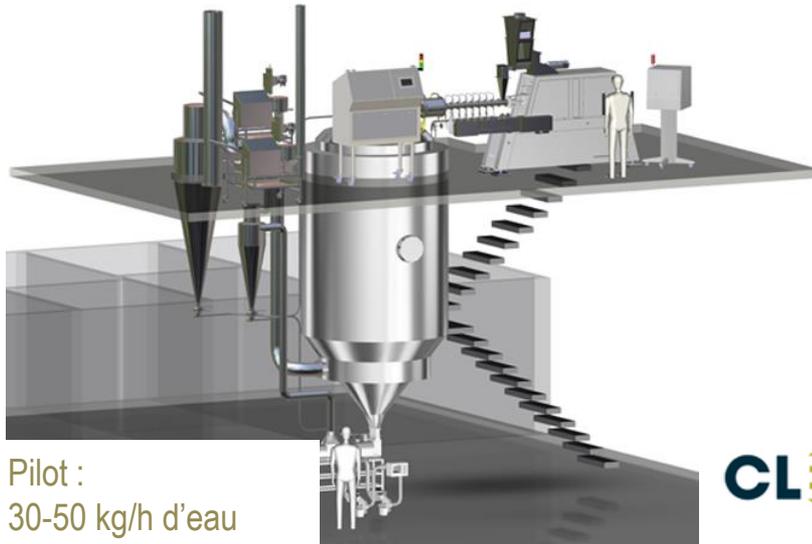
- Séchage à température ambiante jusqu'à **80°C**
- Permet une excellente **encapsulation**
- Permet une **agglomération** contrôlée
- **Pas d'oxydation**

• Limites

- Environnement **N₂**
- Recyclage **N₂**
- Dimension des unités de production (100 kg/h d'évaporation)

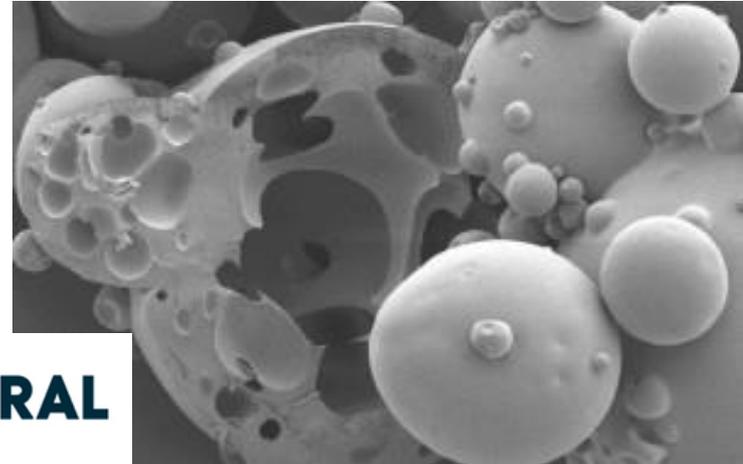
Technologie de rupture

Extrusion Porosification (EPT)



Pilot :
30-50 kg/h d'eau

CLEXTRAL



• Principe & 3 étapes :

- Augmentation de la viscosité du produit
- Aération du produit par mélange et injection de gaz dans l'extrudeur
- Séchage statique ou continu du produit

• Avantages



- Adapté aux produits visqueux (>100mPa.s)
- Porosification de la poudre
- Amélioration des propriétés fonctionnelles
- ↓ coût énergétique



Optimisation de la propriété des poudres

Optimisation des poudres au regard des applications visées

- Extraction
- Ingrédient
- "ressenti" des consommateurs

Densité	Coulabilité	Dispersibilité	Solubilité
Agglomération	Mouillabilité	Séchage	Gonflement
Couleur	Sédimentation	Compressibilité	Extractabilité des protéines



2 poudres
= PSD
= composition
≠ forme



10 sec

20 sec

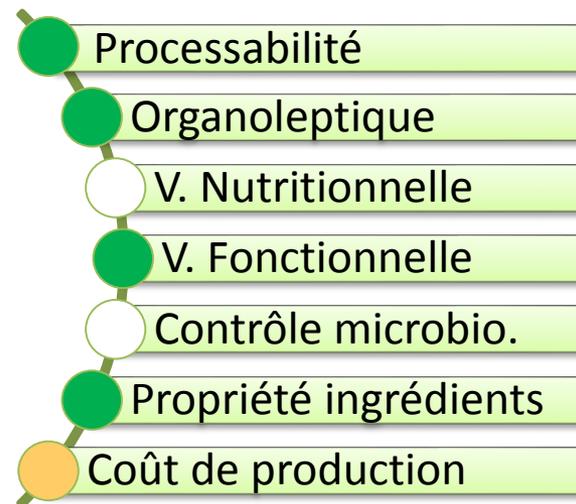
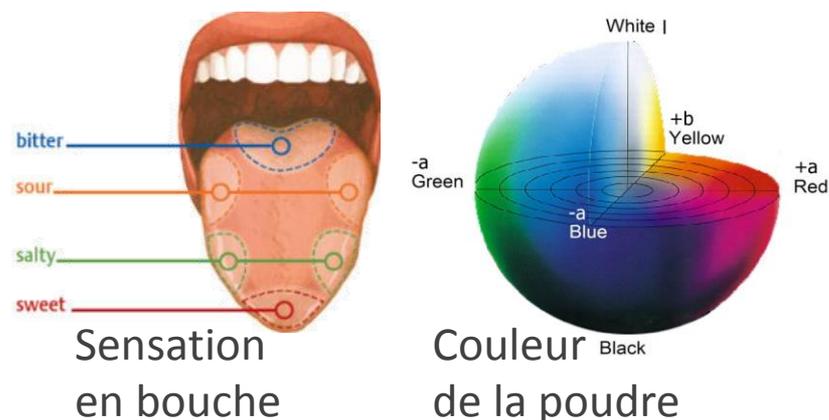
3 H



Séchage & propriété des poudres

- **Definition de la stratégie de séchage**
 - Définir les spécifications du **produit fini** (granulométrie, densité, poudre agglomérée, ...)
 - Définir la technologie adaptée à la **concentration du produit** (évaporateur à flots tombants, osmose inverse, évaporateur à film fin,...)
 - Evaluer le comportement du produit concentré
 - Choisir une technologie de séchage en fonction des **capacités de production** (batch ou continu)
 - Réaliser des essais de séchage sur les technologies choisies pour trouver le **meilleur compromis**

Propriétés organoleptiques

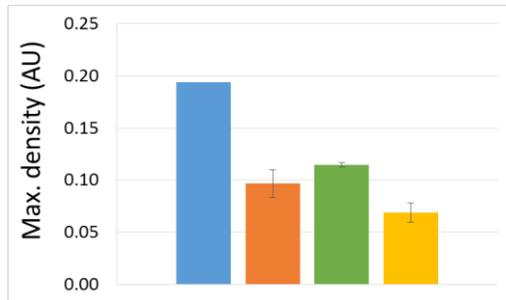
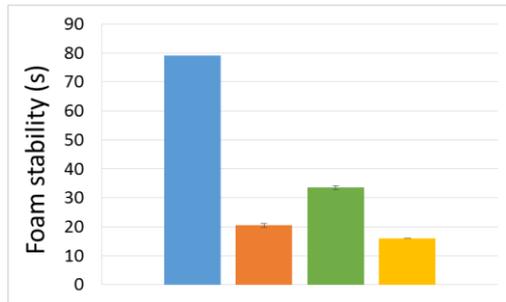
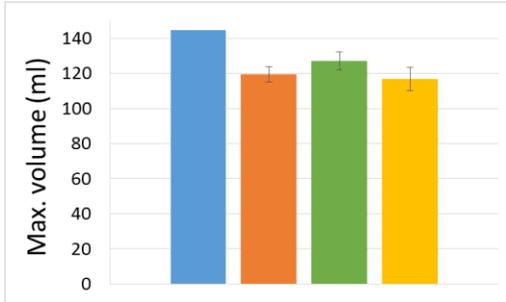


**Fractionnement sec et humide
de graines de légumineuses
vs qualités fonctionnelles
et nutritionnelles des CP/IP**
La féverole

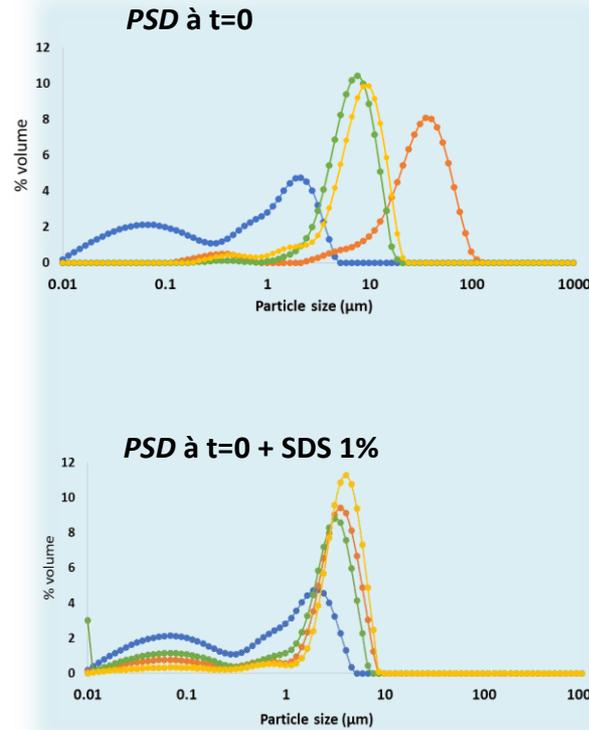


Fonctionnalité des CP/IP de féverole

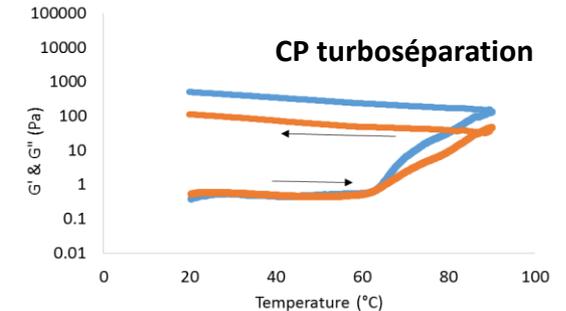
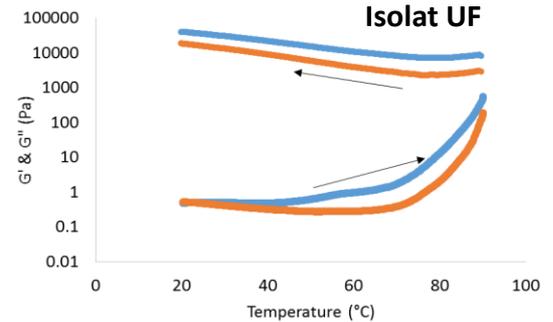
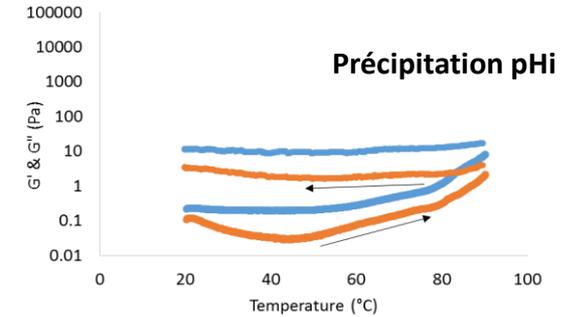
Pouvoir moussant



Pouvoir émulsifiant



Pouvoir gélifiant



Blanc d'oeuf

Na-caséine

isolat UF

Isolat phi

Fraction fine turboséparation

Elastic modulus G'

Viscous modulus G''



CP/IP de féverole

Facteurs antinutritionnels

	Protéine (%MS)	facteurs antitrypsique / Protéine (UTI.g ⁻¹)	Polyphénol / Protéine (%)	Vicine + Convicine / Protéine (%)
Farine décortiquée	32.30%	6.8	1.46%	1.56%
Fraction fine turboséparation	65.10%	5.6	1.23%	1.55%
Isolat pH	94.00%	2.3	0.04%	0.04%
Isolat UF	89.40%	7.0	0.28%	0.17%



Qualités nutritionnelles & fonctionnelles des CP/IP

La féverole

Fractionnement sec → Fraction fine CP

- ☺ Pas d'eau – Peu d'étapes – Technologies robustes – Doublement de la teneur en protéines (Fraction fine turboséparation)
- ☹ ↓ pureté protéique – ↓ taux d'extraction - ↓ fonctionnalités

Fractionnement humide → isolat pH

- ☺ Technologies robustes - ↑ pureté protéique - ↑ taux d'extraction protéique - ↓ FAN
- ☹ ↑ étapes vs voie sèche - ↓ fonctionnalités
↑ Cendres %

Fractionnement humide → isolat UF

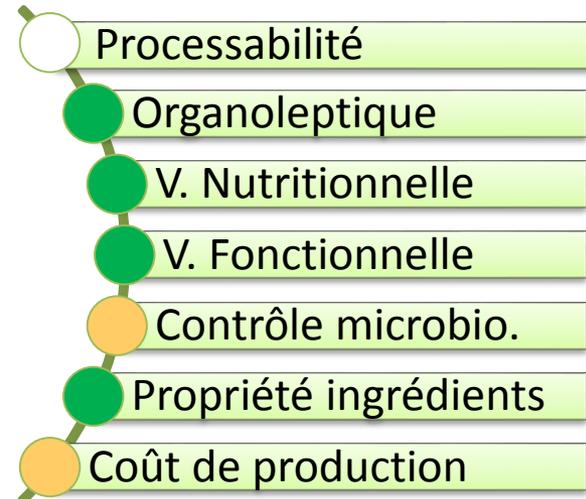
- ☺ ↑ pureté protéique – ↑ extraction prot. ↑ fonctionnalités
- ☹ ↑ nbre d'étapes - ↑ CAPEX-OPEX
↑ Temps développement des procédés

Equilibre économique

Fonctionnalités des IP vs taux d'extraction & contrôle µbio

Isolats protéiques de légumineuses vs protéines laitières ou d'oeuf

Propriétés organoleptiques



Stratégies d'amélioration de l'arome et du goût des isolats protéiques de légumineuses



Propriétés organoleptiques des CP/IP de légumineuses

- **Flaveurs désagréables**

- Astringence, amertume
- Texture farineuse
- *Beany flavor*

moisi/terreux, moisi/poussière, vert, cosse de haricot...

- **Stratégies pour réduire les *off-notes***

- **Sélectionner** les matières premières
Sélection variétale, conditions de stockage
- **Prévenir** l'apparition des *off-notes* au cours du fractionnement
Décorticage, désactivation enzymatique, contrôle de la flore ...
- **Éliminer** les *off-notes* après production des CP/IP
Evaporation sous vide,...

- **Masquage**

Sucres, sels, acides, aromatisation, composition de la matrice alimentaire, fermentation...



Prévenir l'apparition des *off-notes*

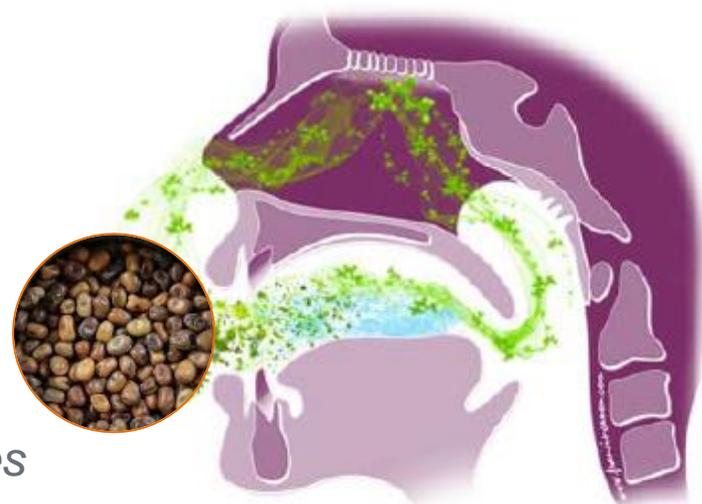
- **Sélection des variétés**
 - ↓ quantité endogène de *off-flavours*
 - ↓ activité lipoxygénase
- **Maitrise de l'oxydation et de la température**
 - Inhibition / inactivation des enzymes
 - Présence d'antioxydants
 - ↓ température ralentit les réactions
 - Conditions de stockage
- **Fermentation**
 - ↓ formation *off-flavours* en réduisant la concentration des précurseurs des molécules volatiles



Eliminer les *off-flavours* dans les CP/IP

Graines & farines

- **Décorticage**
- **Trempage**
 - Lixiviation des *off-flavours*
- **Traitement thermique**
- **Germination**
 - *Off-flavours* masquées ou surexprimées
- **Extraction avec des solvants**
 - Hexane
 - Alcool
 - CO₂ Supercritique
- **Désolvantisation des farines déshuilées**
 - Inactivation des enzymes
 - Coagulation



Éliminer les off-flavours dans les CP/IP

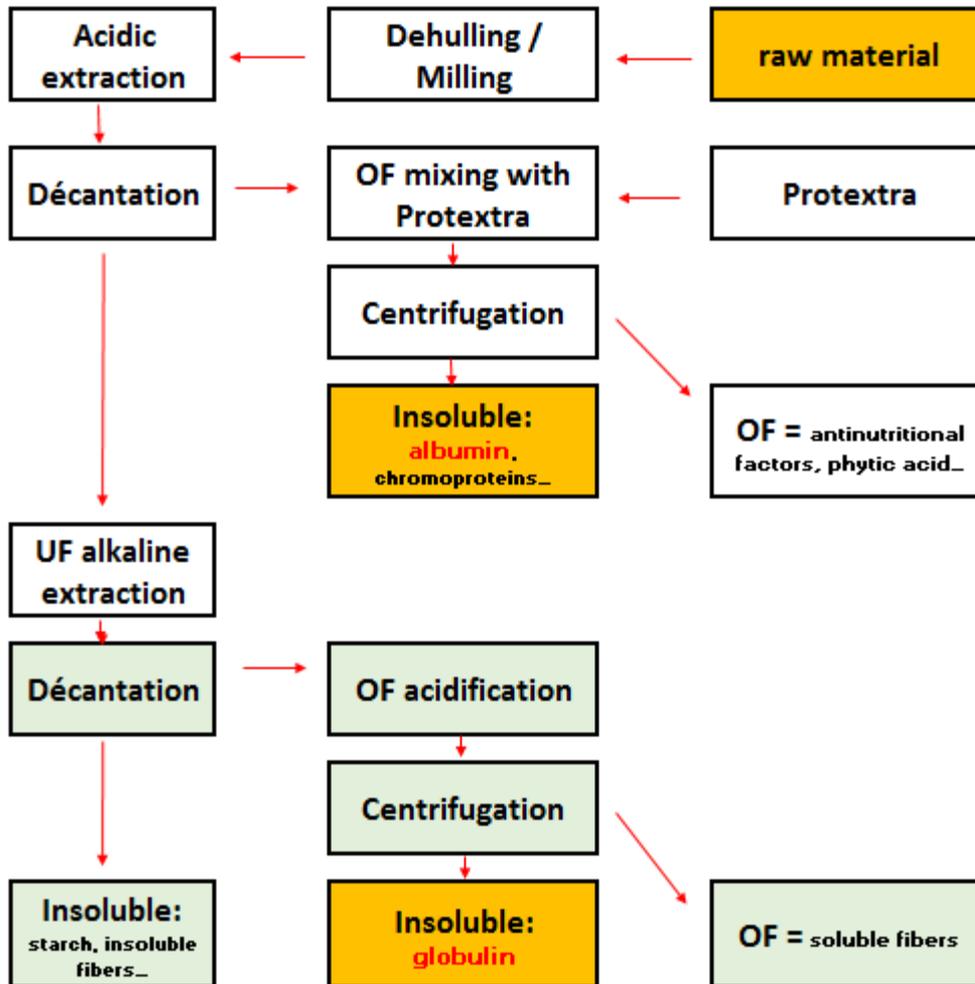
Procédés d'extraction des protéines

- **Lavage acide**
- **Solubilisation**
- **Précipitation des protéines**
 - pH
 - Sels et force ionique
- **Fractionnement mécanique des protéines**
 - Ultrafiltration
 - Chromatographie – chromatographie en lit fluidisé
 - Aspiration sous vide
- **Traitement enzymatique**
 - Action très spécifique pour prévenir la formation de *off-flavours*
- **Fermentation**
 - Réduction de certaines *off-flavours*, production d'agents masquant



Technologie de rupture

Floculent naturel



• Avantages

- Précipitation avec un flocculent naturel (polysaccharides...)
- Fractionnement de la graine entière
- Séparation des albumines et globulines
- Valorisation des co-produits
- ↑ des qualités organoleptiques

Flaveurs des CP/IP de légumineuses

• Stratégie pour améliorer arôme et goût des CP/IP de légumineuses

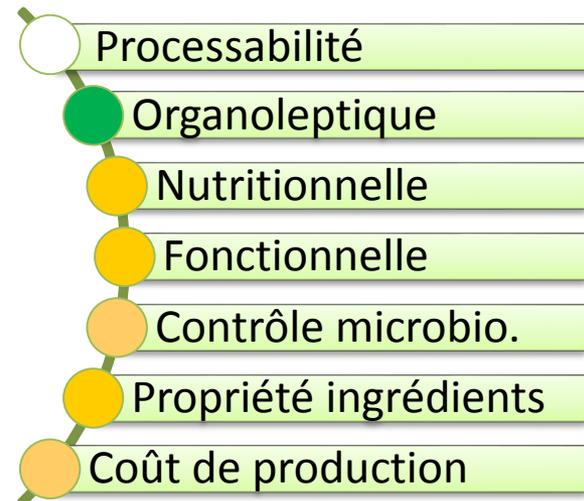
- Une même *off-flavour* n'est pas nécessairement causée par les mêmes composés.
- Les mêmes problèmes de flaveur ne sont pas nécessairement résolus par les mêmes solutions.
- La solution à un problème de goût désagréable dépend de la matrice alimentaire.
- *Off-flavours* & habitudes culturels

Différents mécanismes d'apprentissage

Conditionnement associatif
flaveur-flaveur

Conditionnement associatif
flaveur-nutriment

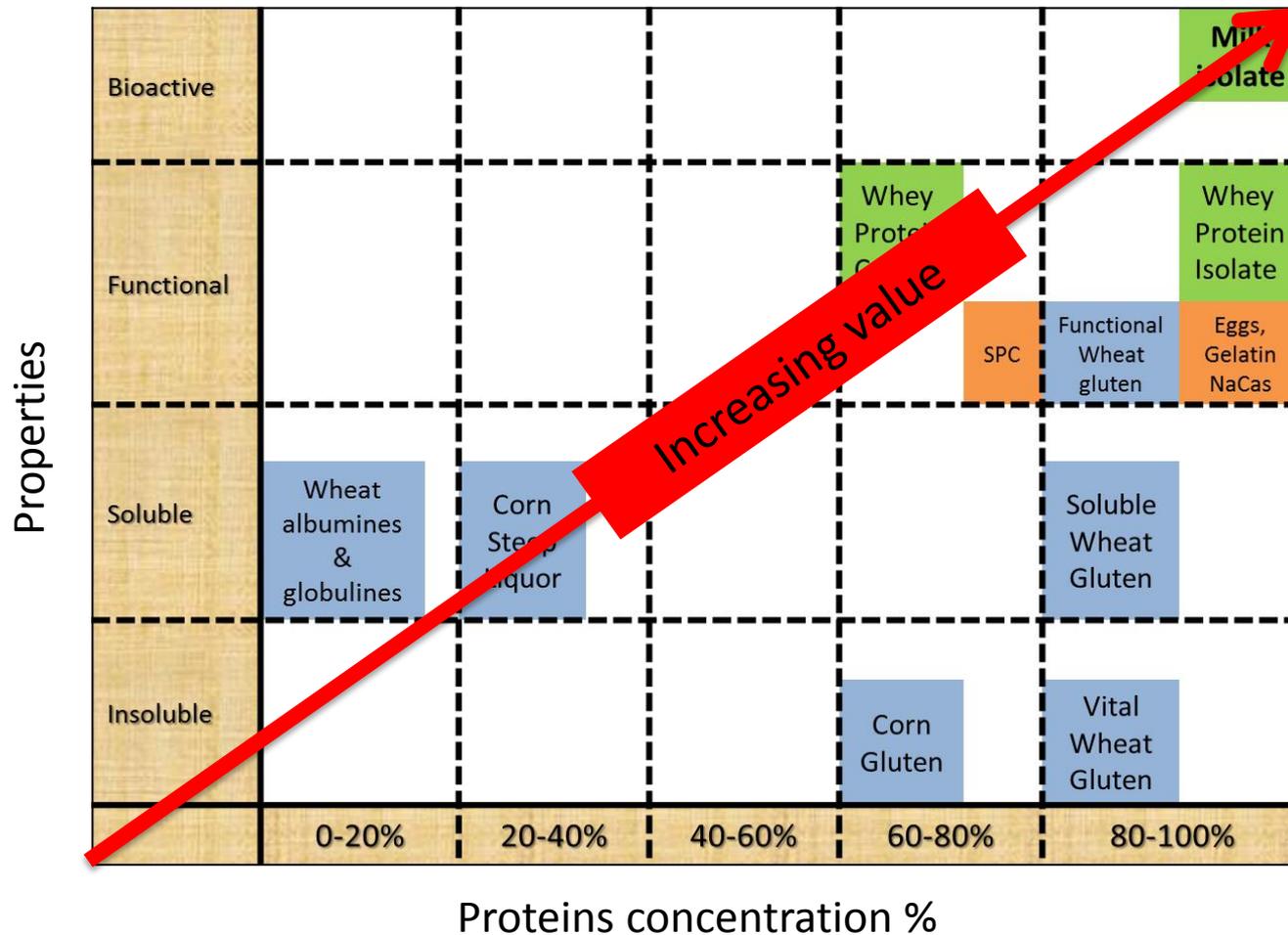
Exposition répétée



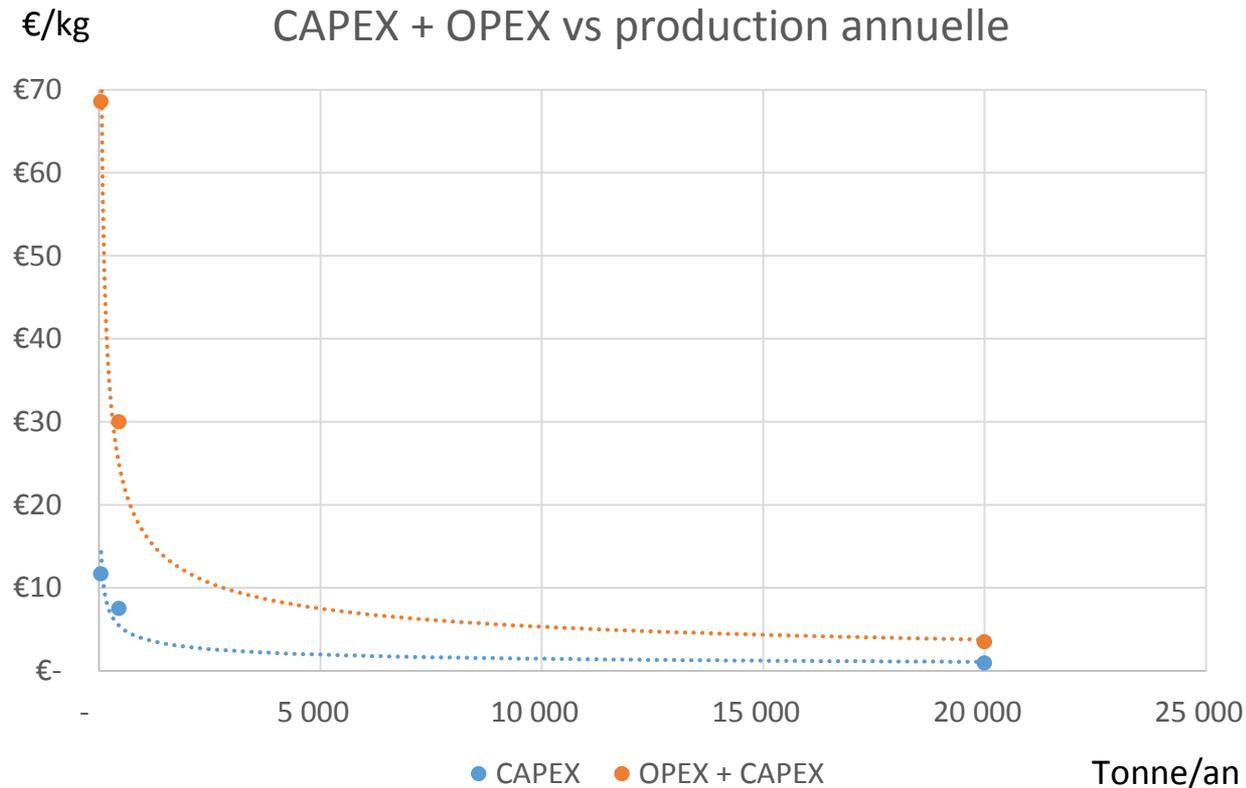
Pulse protéines de légumineuses & modèle économique



Matrice protéique



OPEX - CAPEX



- Il est essentiel de définir le marché cible afin de définir la taille de l'unité de production.



Marché des ingrédients protéiques

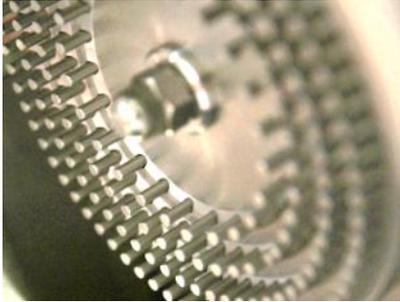
- **Différentes formes :**
 - Farines
 - Concentrats protéiques
 - Isolats protéiques
 - Hydrolysats protéiques
- **>1000 CP/IP produits dans le monde.**
- **35 sources différentes**
- **138 producteurs différents**
- **66 distributeurs**

Raw material	Nb of references	Raw material	Nb of references
Total	1019	unidentified	4
soy	465	alfalfa	3
pea	134	Lentil	3
wheat	123	microorganisms	3
rice	85	oat	3
yeast	42	black bean	2
Hemp	20	chia	2
potato	20	mung bean	2
pumpkin	16	sesame	2
plant proteins	13	broadbean	1
algae	12	carob	1
almond	9	chickpea	1
corn	9	coconut	1
faba bean	9	cottonseed	1
lupin	8	flaxseeds	1
rapeseed	8	mankai	1
sunflower	8	psyllium	1
sacha Inchi	5	water lentils	1



IMPROVE



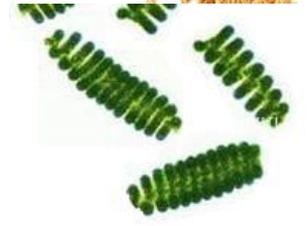


IMPROVE
Institut Mutualisé pour les PROtéines VEgétales



Notre prochaine étape commune

- Si vous êtes intéressés par les protéines du futur, vous devriez nous contacter pour envisager ensemble comment **IMPROVE** pourrait contribuer au succès de vos projets:
 - Graines de légumineuses
 - Graines d'oléagineux
 - Céréales
 - Tubercules
 - Algues
 - Feuilles
 - Coproduits
 - Microorganismes
 - Sources animales alternatives comme les insectes
 - ...



IMPROVE

Make Pulse Proteins strong again!

- **Merci de votre attention**

