



HAL
open science

A modeling approach to develop high-protein extruded snacks, using legume (pulse) flours (Projet AIC 'Protex' 2016-2018)

Magdalena Kristiawan

► To cite this version:

Magdalena Kristiawan. A modeling approach to develop high-protein extruded snacks, using legume (pulse) flours (Projet AIC 'Protex' 2016-2018). *Aliments Modèles et Modèles d'Aliments (AMMAC - CEPIA INRA)*, Institut National de Recherche Agronomique (INRA). UAR Département Caractérisation et Elaboration des Produits Issus de l'Agriculture (1008)., Mar 2016, Paris, France. hal-02793973

HAL Id: hal-02793973

<https://hal.inrae.fr/hal-02793973>

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

AIC – PROTEX:

A modeling approach to develop high-protein extruded snacks, using legume (pulse) flours

Problème d'application AMMAC : Itinéraire multi-étape



Porteur:

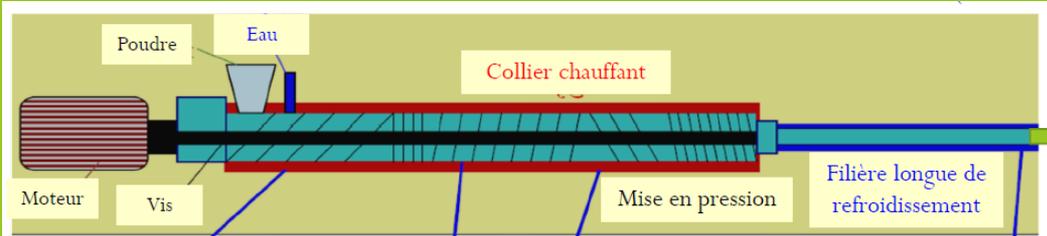
Magdalena Kristiawan (BIA-MC2)



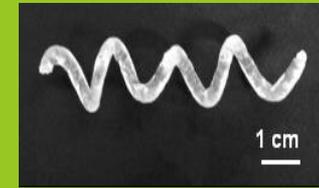
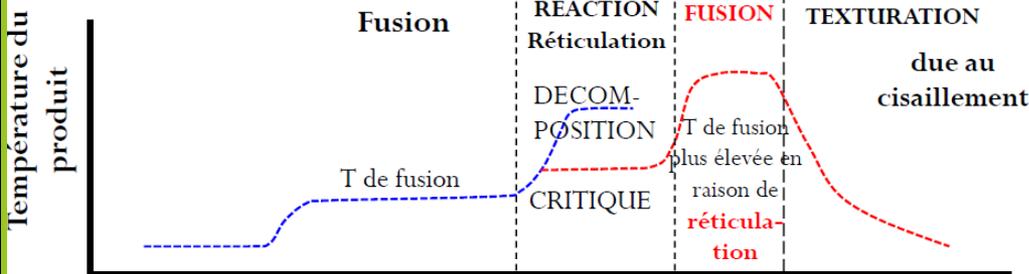
Contexte: Elaboration d'aliments à base de protéagineux (amidon-protéine) par extrusion

Matières Premières: Demande des Protéines Végétales ↗

Extrusion-cuisson: Procédé de transformation polyvalent et efficace



Mélange intime 'poudre-plastifiant' Transformation: T ~170°C T ~130°C Refroidissement T ~10°C
Tp ~ 70°C

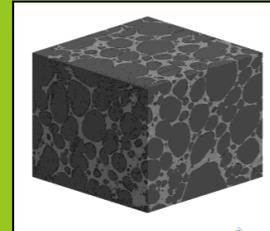


STRUCTURE FINALE

Amorphe dense

Expansion détermine la structure alvéolaire

XRT-ESRF

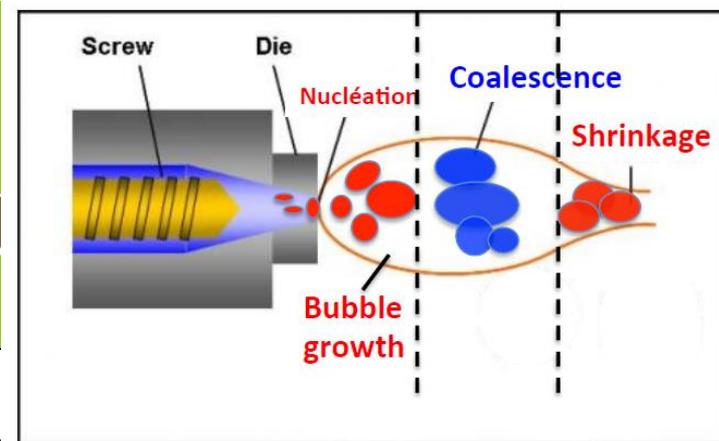


Amorphe cellulaire

+ Phénomènes méconnus lors d'expansion

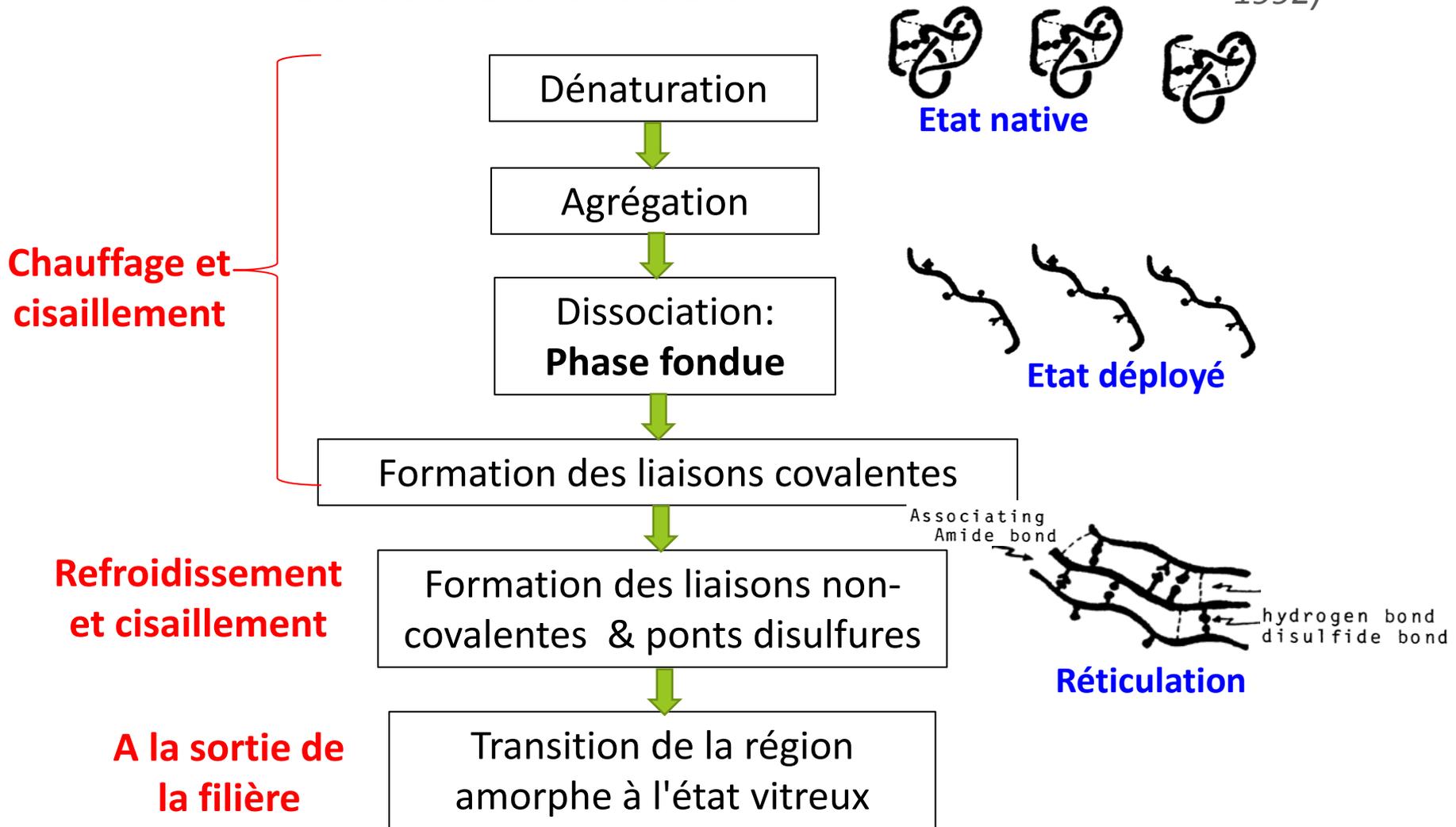
Transformation des protéines dans l'extrudeuse

Variables de sortie
T+, P, visco... connues
Logiciel Ludovic®



Modifications structurelles des protéines au cours d'extrusion

(adapté de Mitchell & Areas 1992)



Extrusion donne la naissance à un grand nombre de structures possibles, en raison de la réactivité des protéines

Liaisons formées au cours de la réticulation des protéines

(Liu & Hsieh, 2008)

Type d'interaction	Interaction spécifique	Acides aminés	Agents dénaturants ou chaotropiques
Covalente	Ponts disulfures	Cystéine /cystine 	Agents oxydant ou réducteurs: Na ₂ SO ₃ , TNT, l'acide performique, 2-mercaptoéthanol
Non covalente neutre	Liaisons H ₂	Asparagine, glutamine, thréonine, sérine, cystéine	Agents forts de liaison H ₂ : Urée
Non covalente neutre	Interactions hydrophobes	Tyrosine, tryptophane, phénylalanine, proline, méthionine, leucine, isoleucine, valine, alanine, glycine	Détergents ioniques et non ioniques: thiourée, Triton, CHAPS
Non covalente électrostatique	Acide hydrophile Basique hydrophile	Acide aspartique, lysine , arginine, histidine, acide glutamique 	Solutions acides, alcalines ou salines

Céréalières

Légumineuses

Comportement protéines en extrusion =

f(caractéristiques intrinsèques AA, interactions/autres constituants)

Traitement thermomécanique peut réduire disponibilité des acides aminés

Effets des variables d'extrusion encore méconnus / mal maîtrisés

Rappel des objectifs

- **Objectifs**

- Etudier les mécanismes physiques expliquant l'**impact de l'enrichissement de protéines de légumineuses** sur le procédé d'extrusion de snacks amylicés et leur **structure, propriétés mécaniques** et **propriétés fonctionnelles**

☞ (Texture, Nutrition, Mastication)

- **Etendre le modèle phénoménologique d'expansion** afin de prédire les structures macro et cellulaire
- Développer des snacks adaptés **à la mastication humaine**

- **Modèles d'aliments: Mousses solides denses et alvéolaires**

- Farine de pois jaunes décortiqués
- Mélanges 'Amidon de pois ' et «'Isolat de protéine de pois'

Partenaires: INRA (**BIA**, **IATE**, **CSGA**) & Externe

M. Kristiawan (BIA)

Modélisation d'**expansion**,
Modélisation mécanique (**FEM**)

A. Boire (BIA): Protéines végétales,
Structure – Dynamique macromolécules
biologiques - Propriétés fonctionnelles

G. Della Valle (BIA): Extrusion,
Rhéologie, Modélisation d'**expansion**

J. Gueguen (DRE Emeritus, BIA)
Expertise on protéines végétales

S. Guessasma (BIA)

Modélisation mécanique (**FEM, DEM**):
Structure – Texture

C. Salles & C. Septier (CSGA)
Structure - Mastication

D. Lourdin (BIA)

Physico chimie des bio-polymères

V. Micard (SupAgro-IATE): Céréaliers
& protéiques: **Structure – nutrition**

JE. Maigret (BIA)

Extrusion & instrumentation

**A. Emin (Karlsruhe Institute of
Technology)**: Conception des aliments
extrudés: Instrumentation, Modélisation

A.L. Réguerre (BIA)

Microscopie, Analyse des images

S. Chevallier (ONIRIS-GEPEA)

Microtomographie rayons X

Méthodes et Ressources

Modélisation: Approche multi-échelle

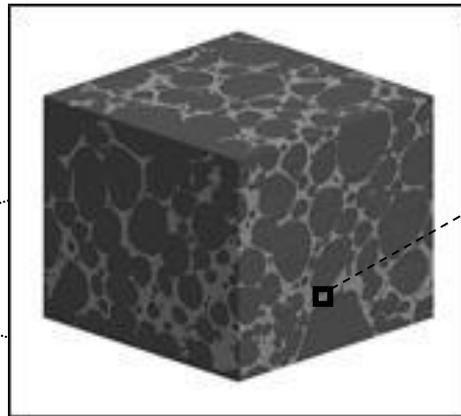


Macro-échelle

Snacks entiers

- Indices d'expansion
- Facteur d'anisotropie

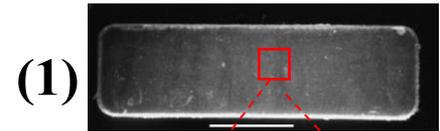
Tomographie RX



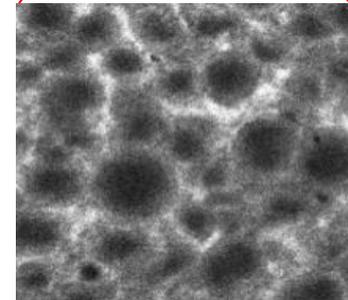
Méso-échelle

Mousses cellulaires

- Porosité
- Finesse



(1)



(2)

MCBL

Micro-échelle (Parois cellulaires)

- (1) Matériau bio-composite dense
- (2) Morphologie du réseau amidon-protéines
 - Loi constitutive = f (composition, morphologie, & Interface d'amidon-protéine)

Méthodes et Ressources

Modélisation phénoménologique d'expansion (BIA, KIT, ONIRIS)

« à partir de l'approche développée par Kristiawan et al., TIFS, 2016 (Projet AIC QualExp) »

Structure macro

Croissance des bulles

$$\frac{1}{R} \frac{dR}{dt} \propto \frac{p_{vs}}{\eta_m}$$

1) $VEI \gg \frac{r_{fondue}}{r_{mousse}}$

2) $SEI = \frac{\text{Surface mousse}}{\text{Surface filière}}$

Anisotropie d'expansion

$AF > 1$ Longitudinal

$AF = 1$ Isotrope

$AF < 1$ Radial

$$3) AF = \frac{VEI}{SEI^{3/2}}$$

MODELE GENERAL D'EXPANSION

1) $VEI \ \& \ SEI = \alpha \cdot (\eta_m / \eta_0)^n$

$\alpha, n = f(\text{Eau}\%, T^\circ\text{C}, \text{Energie SME kWh/t}, \eta_E \text{ Pa.s})$

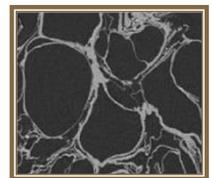
$\eta_m \ \& \ \eta_E = \text{viscosité de cisaillement \ \& \ de \ élongationnelle de fondu}$ } = f(formulation & procédé)

2) Scale down de structure macro à celle cellulaire

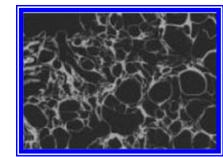
Anisotropie $AF = f(\text{Finesse cellulaire } F)$

$$F = \sqrt{\frac{\left(\frac{250}{MWT}\right)^2 + \left(\frac{1}{MCS}\right)^2}{2}}$$

MCS = Taille moyenne de cellule
MWT = Epaisseur moyenne de parois

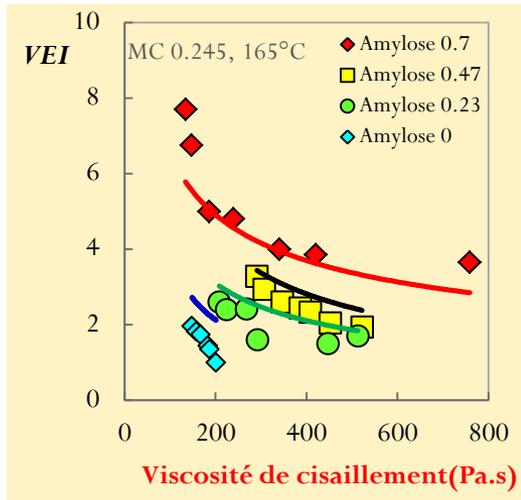


$F < 1 \rightarrow$ Grossière



$F > 1 \rightarrow$ Fine

Amidons de maïs
Kristiawan et al. 2016



Méthodes et Ressources

Modélisation mécanique: structure \Leftrightarrow texture (**BIA**)

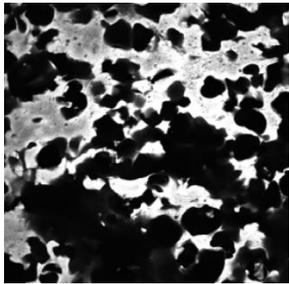
Calcul **des propriétés mécaniques** par « Méthode des Eléments Finis »

« à partir de l'approche développée par Guessasma et al., TIFS, 2011 »

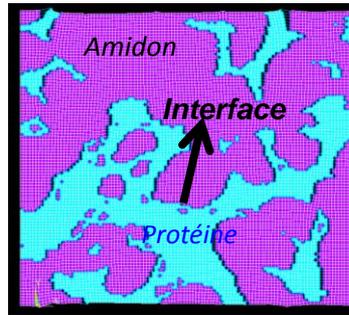
Micro-échelle

Composite

MCBL



Amidon / Zeine



Module élastique =
f(composition,
rigidité d'interface, ...)

Sortie

/ Entrée

Maillage

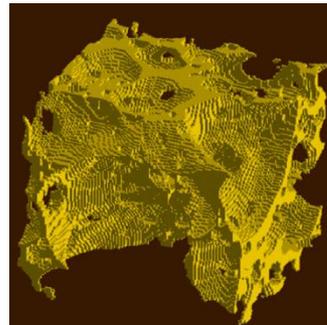
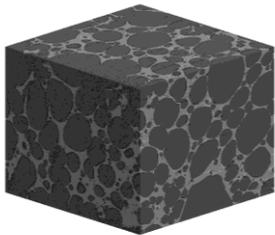
Simulation
d'essais
mécaniques

Homogénéisation

Meso-échelle

Mousse Cellulaire

XRT-ESRF



Module élastique=
f(densité relative)

Raffinage du modèle
Gibson-Ashby

Méthodes et Ressources

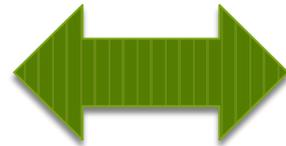
Modélisation phénoménologique

‘Structure’

<=>

‘Nutrition’

- Macrostructure
- Microstructure
- Supramoléculaire



- **Solubilité des protéines**
(*Interaction protéine-protéine*)
(% des liaisons **covalentes** & **non-covalentes** créés par *extrusion*)
- **Digestibilité in-vitro**
 - Amidon (**BIA**-**CSGA**)
 - Protéine (**‘en option’**)

} IATE

« à partir de l’approche développée pour ANR-PASTALEG »

Méthodes et Ressources

Etudes de Mastication *in vitro* (CSGA)

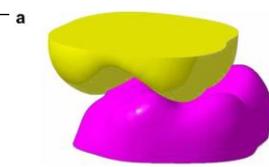
« à partir de l'approche développée par Salles et al., J.Food Eng., 2007 »

Degré de Fragmentation

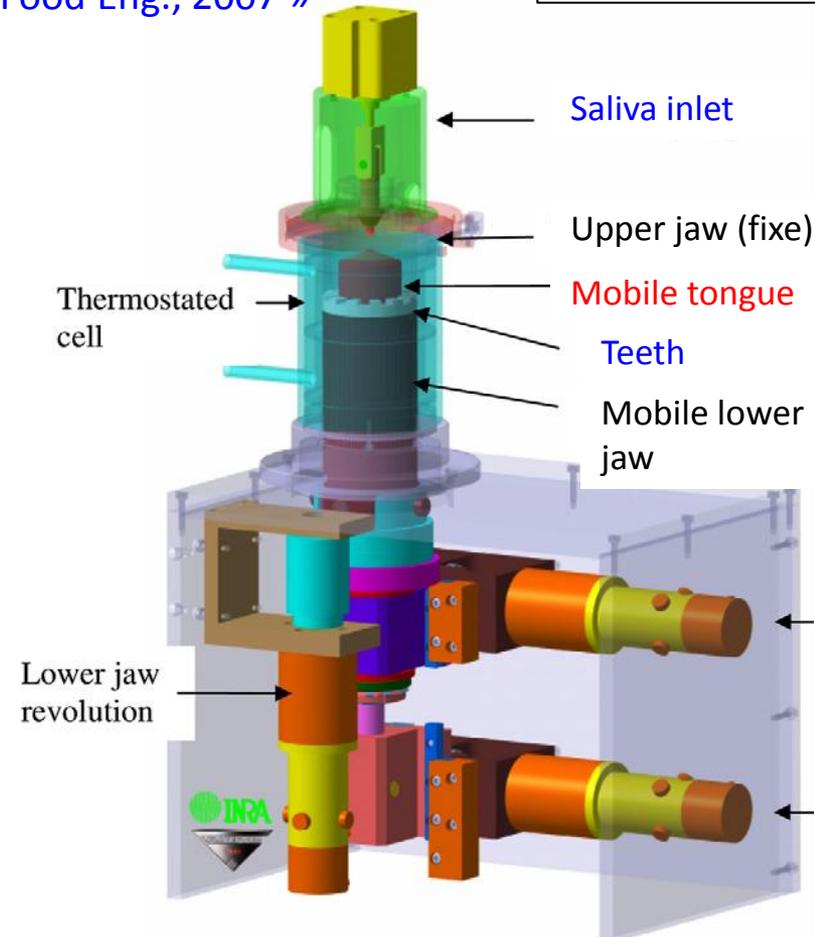
f =

- Force et Vitesse de compression & de cisaillement
- Débit continu de la salive
- Nombre de cycle de mastication
- Quantité d'aliment

Molars arrangement (upper & lower jaw)



Molars of lower jaw



Modélisation phénoménologique:

Structure (Fragments) \Leftrightarrow Salive \Leftrightarrow Libération nutriments

Applications et Perspectives

Domaines potentiels d'application

- Extrusion en milieu sec (teneur en eau $< 35\%$ b.h.) pour fabrication:
 - Aliments innovants **équilibrés** en « **amidon-protéine** », avec **digestibilité et forme modulés**
 - Aliments amylicés **riche en protéine** pour **Aquaculture** et Animaux de compagnie

Perspectives

- Conception des aliments extrudés en utilisant l'approche de **l'ingénierie inverse**
 - ☞ Couplage entre « modèles d'aliments » et « modèle mécanique 1D d'extrusion »

Merci pour
votre attention



Discussion....

