



N°352

JUIN 2020

REVUE DES

enil



PROPRIÉTÉS FONCTIONNELLES



REVUE DES ÉCOLES NATIONALES D'INDUSTRIE LAITIÈRE, DE LEURS AMICALES D'ANCIENS ÉLÈVES ET DES ORGANISMES ASSOCIÉS





Le printemps 2020 aura été très perturbé par la pandémie Covid-19 qui nous a tous surpris dans nos habitudes. La filière laitière aura malgré tout poursuivi sa mission pour approvisionner la population confinée, mais dans des conditions difficiles pour assurer la sécurité du personnel.

La crise provoquée par cette pandémie laissera des traces dans nos organisations, il va falloir panser les multiples plaies économiques. Les cours mondiaux qui se raffermiraient, mettent à nouveau les producteurs de lait sous risque, la filière AOP a été violemment impactée, ...

La formation dans les ENIL et la formation continue ont été à l'arrêt pendant plusieurs mois, au point de perdre plus du tiers de l'activité Formation Continue en année pleine.

Il nous faut rester optimistes et relever le défi de la vie qui continue, peut être différemment : télétravail, formation à distance, prise en compte de l'écologie renforcée, ... ?

Ce (déjà) 8^{ème} numéro de la Revue des ENIL dans la version thématique aborde quelques aspects de la problématique des Propriétés Fonctionnelles. Il ne prétend pas être exhaustif et le sujet méritera d'être abordé à nouveau dans un prochain numéro.

A très bientôt,

Didier JOUBERT
Président ANFOPEIL

Sommaire

Les propriétés fonctionnelles.....3

Yves GAUZERE et Leatitia GOUX, ENILBIO Poligny

Propriétés techno-fonctionnelles des fromages.....10

Romain RICHOUX, ACTALIA Produits Laitiers

Fonctionnalité des protéines laitières dans les laits en poudres14

Frank NEYERS, ENILIA Surgères

Les protéines végétales.....19

Hélène BEGUET et Bruno VOLLE, ENIL Mamirolle

Stages ANFOPEIL.....29

Thierry MICHELET, ANFOPEIL

DIRECTEUR DE LA PUBLICATION :

Didier JOUBERT, Président ANFOPEIL

accueil@anfopeil-enil.fr

03 84 37 27 24

PORTAGE DU DOSSIER :

ENILBIO POLIGNY

N° ISSN: 0395-6865

ANFOPEIL BP10025, 39800 POLIGNY

IMPRIMERIE

Seigle-Ferrand

39800 POLIGNY

Dépôt légal Juin 2020

A l'occasion de ce nouveau numéro, les membres de la rédaction souhaitent rendre hommage à Brice Bourbon. Ingénieur spécialisé en sciences et technologies de l'eau, Brice avait contribué activement à l'élaboration de la revue des Enils du mois de décembre consacrée à l'environnement.

Au cours des cinq années passées au sein de l'unité Produits Laitiers d'Actalia, il avait mis son expertise au service des acteurs de la transformation laitière. Après avoir mené le projet Aquarel visant à améliorer la gestion de l'eau sur les sites industriels, il a coordonné en 2019 la rédaction du bulletin de la Fédération Internationale Laitière dédié aux procédés innovants pour la gestion des effluents. Brice nous a quitté à la fin du mois de février en laissant un immense vide derrière lui. Depuis ce jour, les nombreux témoignages d'affection et de soutien reçus par sa famille et ses proches ont montré que ses qualités humaines étaient aussi remarquables que ses qualités professionnelles. Nous sommes fiers de l'avoir connu et pour certains d'entre nous d'avoir travaillé au quotidien à ses côtés. Il restera bien présent dans nos esprits et dans nos cœurs.

Kit Média Revue des ENIL

TARIFS PUBLICITAIRES 2020

2500 €	2000 €	1200 €
4ème de Couverture	3ème de Couverture	Une page

28-36 pages	900 €
1/2	Demi-page

2000 exemplaires papiers	5000 envois numériques
500 €	

1/4	Quart de page
-----	---------------





Les propriétés fonctionnelles

Yves GAUZERE et Leatitia GOUX, Formateur technologie laitière et fromagère,
Service R&D - Expérimentation, ENILBIO de Poligny

Un fromage fonctionnel, c'est avant tout un fromage destiné à l'utilisation particulière (PAI). Il ressemble à un aliment traditionnel consommé dans un cadre particulier : ingrédient dans des préparations culinaires, pizzas cheese, restauration hors foyer. Pour avoir une idée des fonctionnalités d'un fromage, il faut envisager ses fonctions d'usage, c'est-à-dire la fonction attendue pour répondre au besoin d'utilisateurs donnés. Le terme fonctionnalité des fromages peut être appliqué aux fonctions sensorielles (gustative, appétence), nutritionnelles, mais aussi technologiques (thermo fonctionnalité, aptitude culinaire) et est très souvent lié aux fonctions sensorielles perçues par le consommateur. (Source : Thèse de Khaled ABBAS ; Effet de traitements thermiques sur les propriétés fonctionnelles de fromages traditionnels : le cas des pâtes persillées.)

FONCTIONNALITÉ TECHNOLOGIQUE DES FROMAGES INGRÉDIENTS

3 catégories :

- Les propriétés rhéologiques des fromages à froid (découpage, tranchage, rapabilité, tartinabilité, effritement);
- Les propriétés culinaires recherchées lors de l'utilisation des fromages à chaud (l'étalement ; le filant ; le gratinant ; l'exsudation de matière grasse);
- Les propriétés liées au pouvoir aromatisant des fromages.

DÉFINITIONS DES PROPRIÉTÉS FONCTIONNELLES

Les propriétés rhéologiques des fromages à froid permettent les actions suivantes : découper, trancher, râper, étaler, effriter pour des usages tels que le portionnage, les sauces froides, la sandwicherie, les salades traiteur. Ce sont des aptitudes qui sont liées aux propriétés d'élasticité, de fermeté d'adhésivité et de friabilité des fromages.

o Etalement

Derrière le terme étalement on regroupe le couvrant, le nappant et le fondant qui désignent un même phénomène, l'aptitude du fromage à fondre sous l'action de la chaleur de façon uniforme et homogène et à recouvrir le support.

o Exsudation de matière grasse

Ce terme représente la matière grasse qui exsude du fromage lorsqu'il est chauffé. Cette matière grasse exsudée joue un rôle lubrifiant pour le fromage à chaud et facilite l'étalement. Elle joue également un rôle protecteur lors de la cuisson en limitant notamment le gratinage.

o Filant

Ce terme représente l'aptitude du fromage à former des fils sous l'action d'une force et de la chaleur.

o Brunissement

Durant le traitement thermique, la couleur de certains fromages augmente. La coloration peut aller du jaune brun au noir selon la sévérité du traitement thermique, de la concentration en sucre disponible et du type de four utilisé.

Les industriels ont élaboré plusieurs procédés afin d'obtenir des propriétés fonctionnelles spécifiques sur ces fromages destinés au marché de la seconde transformation. En parallèle des méthodes d'analyse ont été développées leur permettant de vérifier que les propriétés fonctionnelles recherchées correspondaient au cahier des charges de leur client.





PROPRIÉTÉS FONCTIONNELLES

REVUE DES **enil**

LES PRINCIPALES MÉTHODES MISES EN ŒUVRE

Étalement (test de Schreiber)

Cette méthode permet d'apprécier la capacité du fromage à fondre.

Elle est déterminée en mesurant l'augmentation de la surface occupée par un

échantillon cylindrique de fromage sur une grille après un chauffage à une température et un temps déterminés (test de Schreiber décrit par Kosokowki 1997 et Park 1984, ou ses adaptations).

Le résultat s'exprime généralement en coefficient d'étalement de l'échantillon : rapport entre la surface occupée par le produit après traitement thermique et la surface initiale de celui-ci.

Ce coefficient peut varier d'un rapport de 1 (pas d'étalement) à plus de 6 (augmentation de 600 % de la surface occupée par le produit) selon les produits.

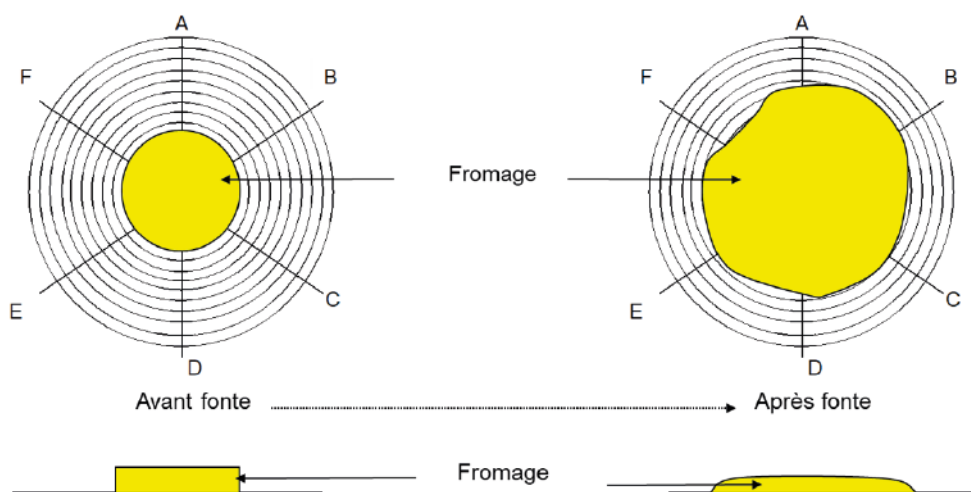
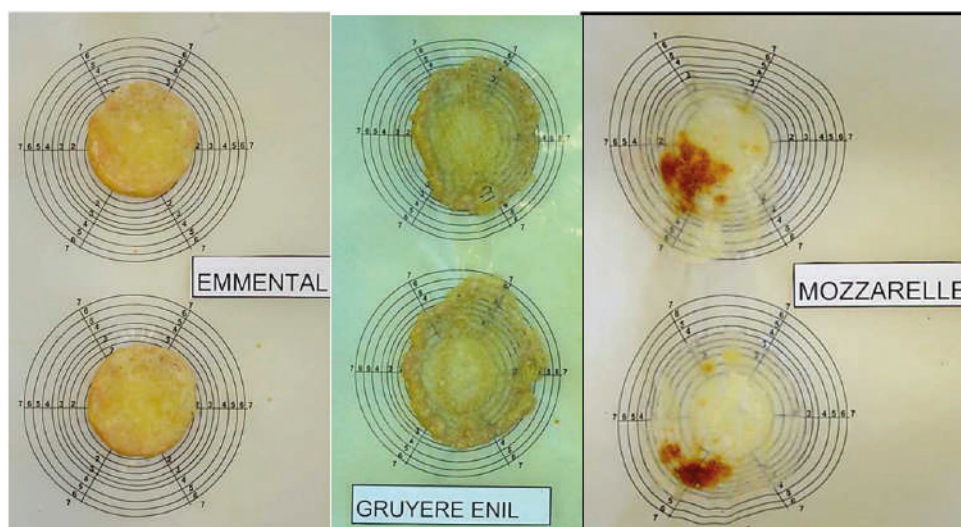


Schéma 1 : exemple
du test d'étalement /
Coefficient d'étalement

No. de cercle	Diamètre du cercle (mm)	Surface (cm ²)	Coefficient d'étalement
1	36	10.174	1
2	44	15.261	1.5
3	51	20.35	2
4	56.9	25.435	2.5
5	62.4	30.522	3
6	67.35	35.61	3.5
7	72	40.67	4
8	80.5	50.87	5
9	88.18	61.04	6
10	95.25	71.22	7

Photographie 1 : exemple de
test d'étalement obtenu sur
emmental, gruyère et mozzarella
(source ENILBIO)



Exsudation de matière grasse (MG)

Cette méthode consiste à quantifier la matière grasse libérée par un fromage sous l'effet de la chaleur (70 °C pendant 20 minutes), sans addition de réactifs, et avec accélération de la gravité par centrifugation. Cette méthode permet d'éva-

luer le niveau d'émulsion de la matière grasse dans le produit et par conséquent sa stabilité. Le résultat s'exprime en % de matière grasse exsudée qui correspond au rapport (% de matière libérée / % de matière grasse totale du fromage) x 100. Ils sont très variables selon la nature des

produits. Ils peuvent aller de 0 % à plus de 50 %.

Tableau 1 : exemple de résultats de test d'exsudation de la MG obtenus sur différentes pâtes pressées

Fromage	% MG	% MG exsudée	MG libre (% MG exsudée / MG totale)
GOU	35.31	21.5	60.9
CHED	35.23	23.75	67.4
EMM	29.03	11.5	39.6
PP1/2C	27.94	12.25	43.9
GRA	28.75	17	59.1

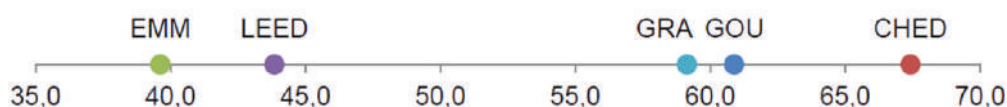
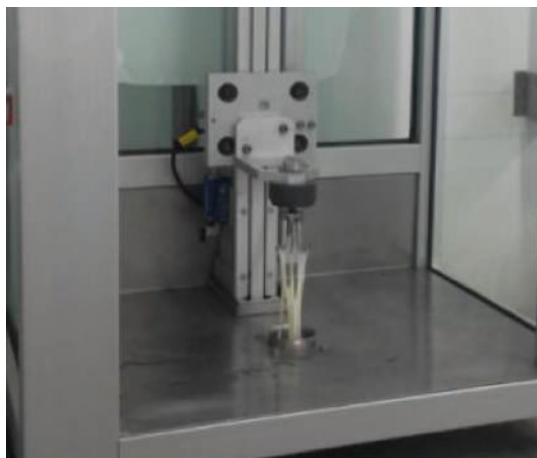


Figure 2 : dispersion des résultats sur une échelle de 0 à 100 % de MG libre

Filant

Le filant des fromages est une propriété traduisant la capacité d'un produit fromager à s'étirer sans rupture.

Elle est appréciée en réalisant un étirement du produit chauffé (70 °C pendant 20 minutes). Le résultat s'exprime en cm. Selon les caractéristiques du produit (composition, itinéraire technique), le filant varier de 0 à plus de 1,5 mètre.



Fromage	Moyenne (mm) n=3
GOU	0
CHE	65
EMM	104.7
PP1/2C	1095.7
GRA	657.5

Tableau 2 : exemple de résultats du test de filage obtenu sur différentes pâtes pressées

Photographie 2 : test de filage (source ENILBIO)



PROPRIÉTÉS FONCTIONNELLES

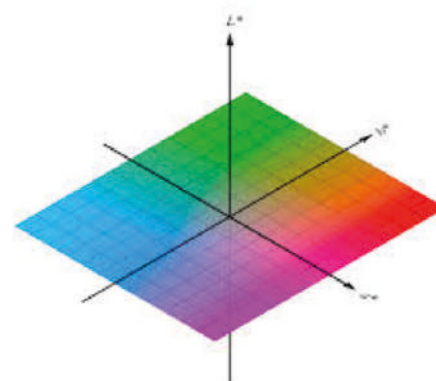
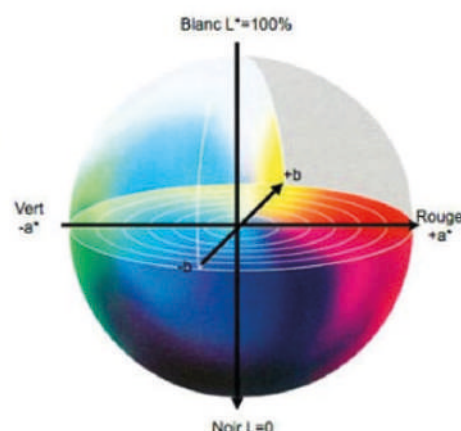
REVUE DES **enil**

Brunissement

La méthode consiste en la comparaison des paramètres L^*a^*b (paramètres obtenus lors de l'analyse par colorimétrie) du produit chauffé à 70 °C pendant 1 heure et du produit chauffé à 102 °C pendant 24h.

Le brunissement du fromage est rapporté comme le changement de couleur avant et après le chauffage pendant 24 h.

Schéma 2 : représentation dans l'espace de la couleur [Valeur L : de 100 (blanc) à 0 (noir) ; a : de -50 (vert) à 50 (rouge) ; b : de -50 (bleu) à 50 (jaune)]



Photographie 3: exemple de test de brunissement sur PP1/2C (source ENILBIO) méthode par étuve 103 °C

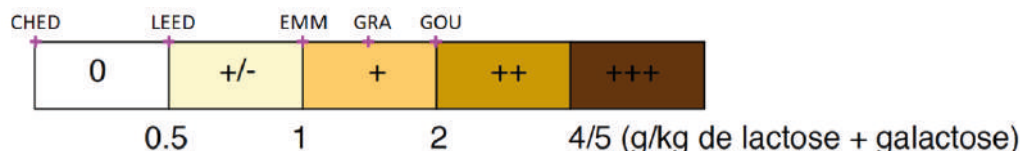


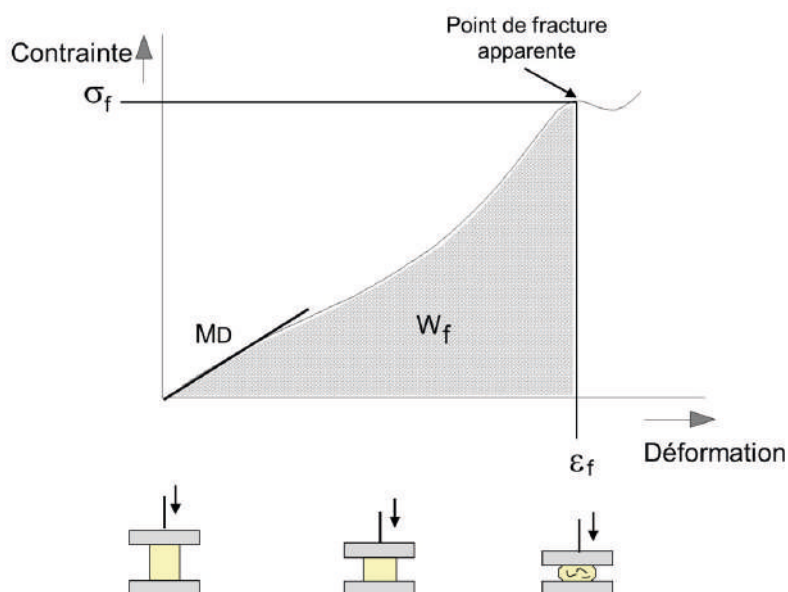
Figure 3 : frise de lecture des tests de brunissement

Analyses rhéologiques

Détermination des propriétés rhéologiques par compression uniaxiale à vitesse constante de translation (2006). Source Christina AKILEOS INRA Poligny.

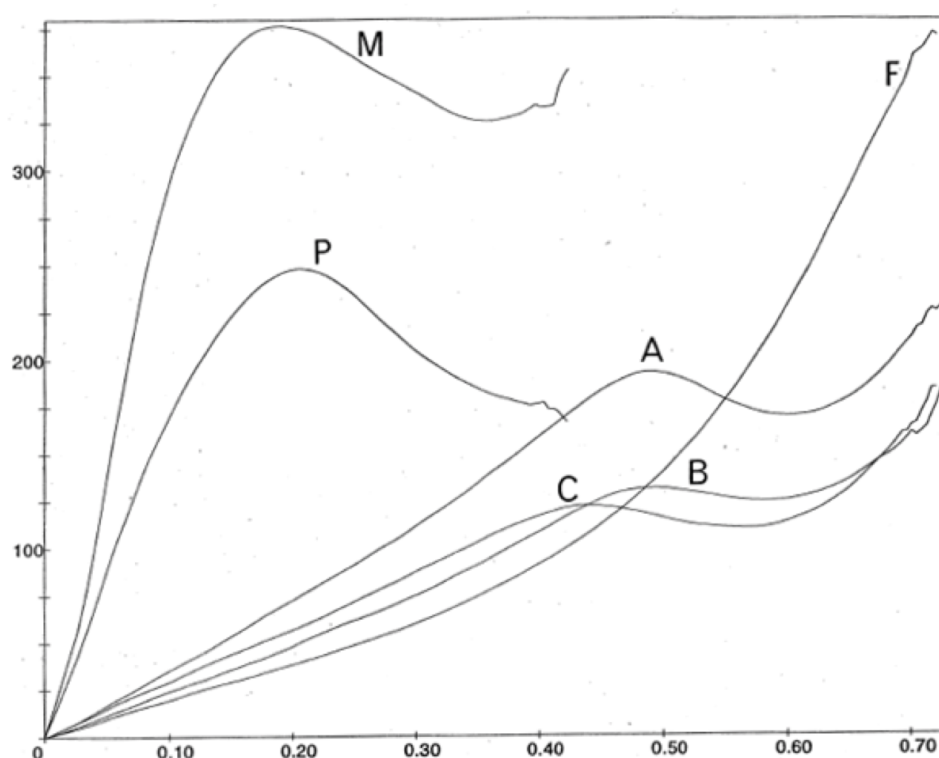
Au cours du test de compression uniaxiale à vitesse constante, l'échantillon de fromage est comprimé suivant son axe principal entre deux plateaux parallèles de surface plane, en inox. La force résistante développée par l'échantillon en réponse à la déformation est mesurée à l'aide d'un capteur de force et enregistrée en fonction de la position du plateau supérieur.

Schéma 3 : courbe de compression uniaxiale à vitesse constante et paramètres caractéristiques



Variable		Unité	Signification	+ la variable est élevée
MD	module de déformabilité	kPa	élasticité	- la pâte est élastique
σ_f (Cf)	contrainte à la fracture	kPa	résistance mécanique	+ grande résistance mécanique
W_f	énergie à la fracture	kJ/m ³		
ϵ_f (Df)	déformation à la fracture	-	déformabilité	+ grande déformabilité

Tableau 3. Paramètres rhéologiques caractéristiques d'un test de compression uniaxiale à vitesse constante



Graphique 1 : Courbes de compression uniaxiale à vitesse constante pour 6 variétés de fromages. Analyses réalisées à la période optimale de commercialisation. A = Appenzeller 6,5 mois. B = Beaufort 9 mois. C = Comté 8 mois. F = Fontina 7 mois. M = Mahon 12 mois. P = Parmigiano Reggiano 28 mois.

Photo 4 : état des échantillons de fromages après compression uniaxiale à vitesse constante. Vitesse de déplacement du plateau supérieur = 0,8 mm/s. Taux de compression = 80 % de la hauteur initiale des échantillons. Exemples de 3 fromages et 4 répétitions par fromage.

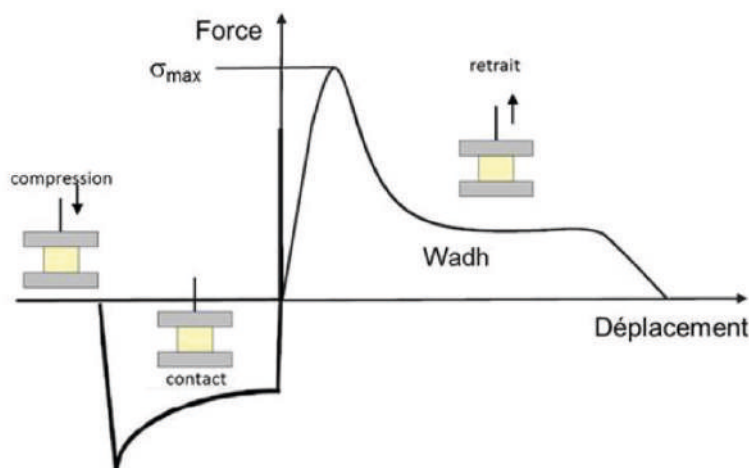


- friable
+ déformable

+ friable
- déformable

La mesure de l'adhésivité du fromage est estimée par une méthode de mesure de la force de séparation d'une sonde de la surface de l'échantillon. Au cours du test d'adhésivité, l'échantillon de fromage est comprimé suivant son axe principal entre deux plateaux parallèles de surface plane, en inox, jusqu'à 10 % de sa hauteur initiale à la vitesse constante de 0,8 mm/s.

Schéma 4 : courbe d'adhésivité et paramètres caractéristiques



Variable		Unité	Signification
$\sigma_{\max}$ (Cmax)	Force d'adhérence	kPa	résistance à l'allongement avant fracture/séparation
W _{adh}	Energie d'adhérence	kJ/m ³	adhésivité

Tableau 4. Paramètres rhéologiques caractéristiques d'un test d'adhésivité

Détermination des propriétés rhéologiques par pénétrométrie.

La pénétrométrie consiste en la mesure des propriétés mécaniques d'un matériel lors de sa pénétration par un corps externe. Cette méthode concerne l'utilisation d'un pénétromètre type Brookfield et les résultats sont donnés sous forme graphique grâce au logiciel Texture Pro CT.

Les propriétés mécaniques qui peuvent être mesurées sont :

- Fermeté : force opposée par l'échantillon à la pénétration à une distance donnée à une vitesse constante (g/cm²).
- Dureté : force maximum opposée par l'échantillon lors de la pénétration (g).
- Collage : force nécessaire pour séparer

le corps de pénétration de l'échantillon (g/cm²).

- Adhérence : force maximum nécessaire pour séparer le corps de pénétration de l'échantillon (g).

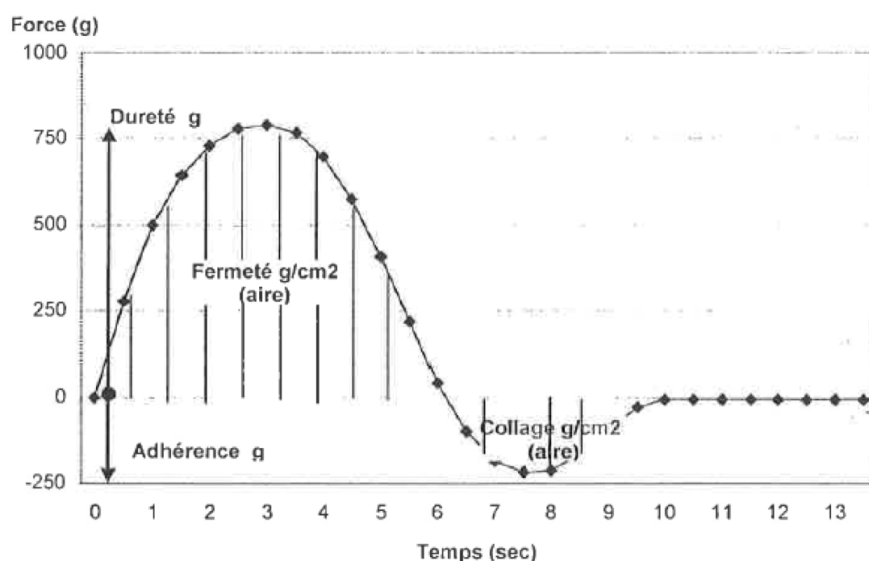
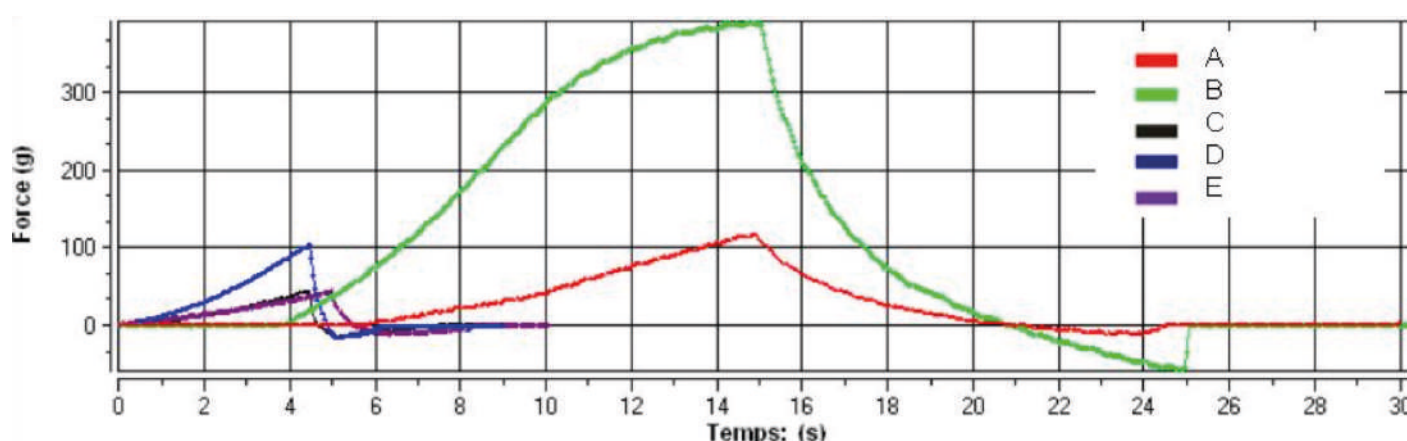


Schéma 5: courbe type obtenue par pénétrométrie

Echantillon	Cycle de dureté (g)	Travail (mJ)	Force d'adhérence (g)	Adhésivité (mJ)
A	133.3	1.26	16.6	0.1
B	383.5	5.77	70.7	0.51
C	49.1	1.66	14.9	0.49
D	10.9	0.86	9.8	0.17
E	106.7	3.77	16.8	0.25

Tableau 5 : exemple de résultats du test de pénétrométrie sur différents fromage frais

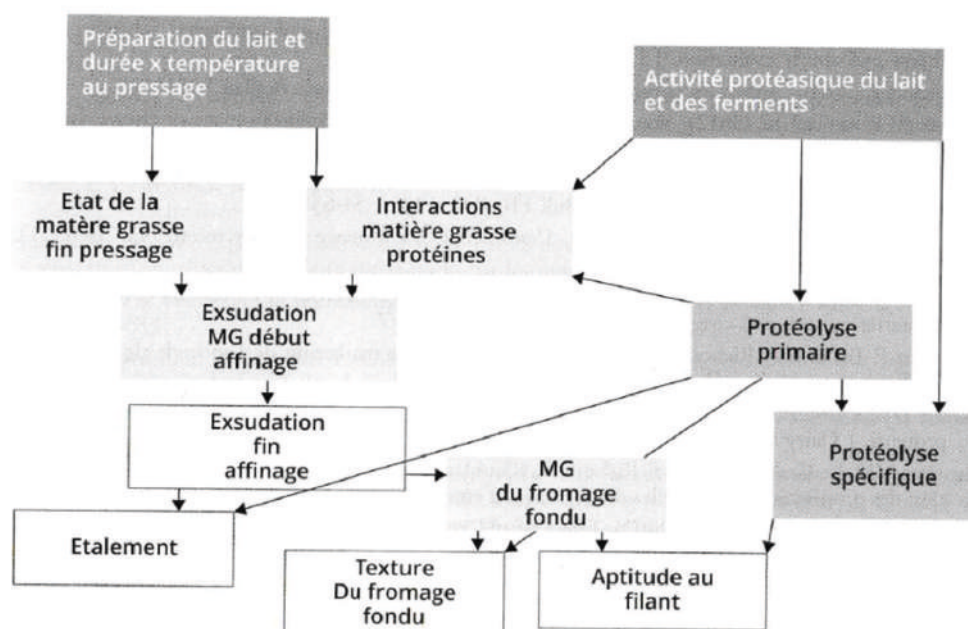


Graphique 2 : exemple de résultats du test de pénétrométrie sur différents fromage frais

Conclusion

Les propriétés fonctionnelles permettent notamment de décrire le comportement des fromages lors de la fonte (exsudation, étalement, brunissement, filant...). La figure ci-contre montre différents liens entre à la fois les descripteurs et les différentes propriétés fonctionnelles par rapport à une propriété en particulier.

Schéma décrivant les interactions entre les variables de contrôle en fromagerie et les thermofonctionnalités (KERJEAN, J-R. Mesure, compréhension et maîtrise des thermofonctionnalités des fromages affinés.. Le fromage. Lavoisier / tec & doc, 2018.)





Propriétés techno-fonctionnelles des fromages

Romain RICHOUX, ACTALIA Produits Laitiers

Les propriétés techno-fonctionnelles des fromages correspondent à leurs aptitudes à la découpe et à leurs aptitudes culinaires. Il s'agit de propriétés fondamentales dans un marché privilégiant de plus en plus les formats consommateurs et les utilisations culinaires des fromages. Comment les mesurer ? Comment les contrôler ? Comment les moduler ? C'est l'objet de cette brève synthèse, réalisée à partir des travaux d'ACTALIA à Rennes et à Surgères.

Les aspects organoleptiques, hygiéniques et nutritionnels ne sont pas les seules qualités des fromages. Il faut compter aussi avec leurs propriétés techno-fonctionnelles (Neyers, 2010), qui consistent essentiellement en leurs aptitudes à la découpe (en tranchettes, en cubes, en brins, en grains) et en leurs aptitudes culinaires (fonte, pouvoir couvrant, filant, gratinant, huilage). Une part toujours croissante de la production fromagère s'écoule en effet sous forme de conditionnements consommateurs, sou-

vent destinés à une utilisation culinaire. L'exemple le plus spectaculaire en est sans doute l'emmental dont l'essentiel de la consommation en GMS s'effectue sous forme de portions (21 %) et de râpé (76 %) mais aussi de plus en plus sous forme de dés ou de tranchettes qui montrent des taux de croissance à deux chiffres.

Dans ce contexte, l'aptitude à la découpe des fromages prend une place fondamentale. Elle impacte à la fois la qualité des produits et la productivité des installations. On va rechercher une netteté et une régularité de la découpe, l'absence de mottage et de collage des tranches ou des brins entre eux et sur les lames. Cette aptitude à la découpe dépend en grande partie de la température et de la composition des fromages. De nombreuses études ont ainsi montré le rôle central de l'humidité, de la teneur en matière grasse, de la protéolyse et de la déminéralisation qui tendent à réduire la capacité des fromages à être découpés convenablement (Guinee, 2002 ; Banville *et al.*, 2014 ; Guinee et Kilcawley, 2017).

L'aptitude du fromage au râpage est souvent appréciée par la forme, le nombre et la longueur des fragments obtenus. La production de « fines » (brins de fromages dont la taille est inférieure à 2 mm) est également un critère important. On s'intéresse aussi au mottage et à la quantité de fromage adhérent aux lames. Pour caractériser les produits finis (fromage râpé conditionné), des techniques d'analyses d'images ou de tamisage sont employées (Apostopoulos et Marshall, 1994 ; Alinovi *et al.*, 2019). Ces méthodes ne permettent pas toutefois d'appréhender deux défauts majeurs : le mottage et l'adhésion sur la lame. Pour les produits bruts, on peut pour cela mettre en place au préalable une étape de râpage ménageant comme dans la technique proposée par ACTALIA (figure 1). Cette analyse permet ainsi la détermination de la proportion de fromage collé à la lame et du pourcentage de brins « longs » (retenus sur un tamis avec des mailles de 5 mm de côté), courts (2 à 5 mm) et de fines (moins de 2 mm).

Figure 1 : appréciation de l'aptitude au râpage, exemple de test par tamisage (tamis de 5 mm, 2 mm et 0.1mm)





PROPRIÉTÉS FONCTIONNELLES

REVUE DES **enil**

La tranchabilité s'apprécie généralement à l'aide de tests de découpe, réalisés avec une lame ou un fil sur un texturomètre qui enregistre la force exercée (figure 2). On détermine ainsi une fermeté à la découpe ou bien une valeur de travail à la découpe. ACTALIA a par exemple obtenu un coefficient de variation de répétabilité inférieur à 10% sur ces deux indicateurs pour des pâtes pressées cuites et non cuites. Cela permet de bien discriminer des fromages très fermes peu tranchables ou au contraire des produits très mous et adhésifs. Le caractère collant reste cependant très difficile à apprécier instrumentalement, que l'on utilise des tests de compression-traction sur texturomètre, des tests de friction ou bien la valeur « d'adhésivité » fournie par la classique mesure de double compression-décompression TPA (Texture Profil Analysis).



Figure 2 : mesure de la tranchabilité des fromages sur un texturomètre équipé d'un mobile « fil à couper »



Les mesures instrumentales d'étude et de contrôle du comportement des fromages à chaud sont plus consensuelles. ACTALIA utilise en routine cinq analyses des aptitudes culinaires des fromages à pâte pressée cuite ou non cuite : étalement, gratinant, filant, exsudation d'huile, élasticité à chaud (Kerjean, 2009). La figure 3 illustre par exemple la mesure de filant à l'aide du Filomètre ACTALIA-INSa.

Ces techniques simples et reproductibles ont été validées au niveau sensoriel. Des méthodes spécifiques aux fromages de chèvres lactiques (Barrucand, 2012) ont également été développées, en grande partie basées sur l'évaluation sensorielle. Elles permettent d'apprécier des critères particuliers tels que le granuleux en bouche ou la présence de perforations par exemple.

Le comportement des fromages à la chaleur est étroitement lié à celui de sa matière grasse (Kerjean, 2018). Celle-ci est totalement fondue dès 40 °C. L'évolution de sa structure va conditionner le comportement du fromage à la chaleur. Si les globules gras ou les « poches » de matière grasse coalescent et fusionnent, il se crée un flux de matière grasse qui va protéger de la dessiccation et entraîner le fromage, qui s'étale.

On assiste alors à une exsudation d'huile et à la formation d'un fromage fondu partiellement déshuilé, dont la composition et la structure conditionnent le comportement rhéologique. Par exemple, plus le nouveau G/S sera faible plus on obtiendra une texture élastique et filante. A l'inverse, quand les interactions entre la matière grasse et la matrice protéique sont très fortes ou lorsque les lipides sont fortement émulsionnés, la structure reste stable. Il n'y a pas ou peu d'exsudation ni d'étalement.

C'est le cas lorsqu'on met en œuvre du lait homogénéisé, du rétentat de babeurre ou de la crème de lactosérum. A noter que cette exsudation de matière grasse dépend étroitement de la teneur en lipides des fromages, de sa concentration en acides gras insaturés, de la charge thermique reçue pendant la fabrication (pour les pâtes pressées cuites et demi-cuites) et de la protéolyse (pour les PPNC).

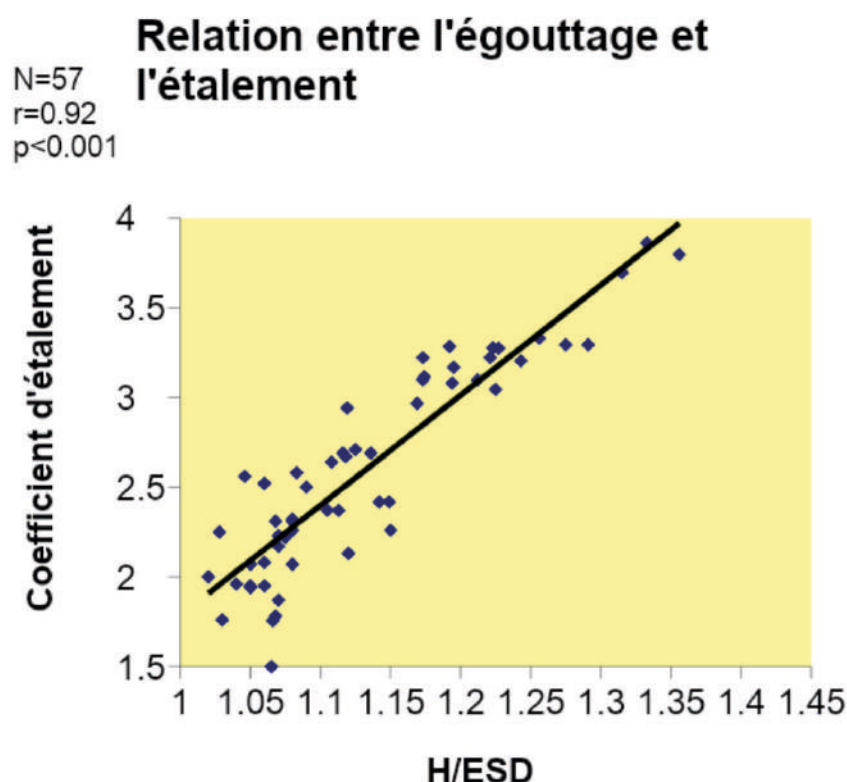


Figure 3 : mesure du filant à l'aide du filomètre ACTALIA-INSa



Dans ce dernier cas, c'est bien sûr une conséquence de la fragilisation de la matrice protéique. Cette protéolyse, tout comme le rapport eau/protéines (traduit par l'HFD ou le rapport H/ESD) ou la déminéralisation (Ca/ESD) vont favoriser l'étalement (figure 4). Des fractions azotées spécifiques impactent également d'autres propriétés culinaires. C'est le cas pour le gratinant qui s'avère fortement sensible à « l'azote non protéique » (NPN), qui comprend grossièrement les acides aminés libres et de petits peptides hydrophiles. En l'absence de sucres résiduels, c'est cette disponibilité en groupements amines qui détermine la capacité de brunissement du fromage. En présence de lactose ou de galactose, l'effet du sucre résiduel devient majeur.

Figure 4 : Relation entre le rapport humidité/extrait sec dégraissé et l'étalement de fromages à pâte cuite (Kerjean, 2018)



La protéolyse conditionne également le filant qui, d'une manière générale, diminue avec la dégradation des caséines. Dans le cas des pâtes cuites cependant, une fraction correspondant à des peptides solubles hydrophobes est fortement corrélée aux propriétés filantes, en lien avec les activités protéolytiques des lactobacilles thermophiles (Richoux et Gagnaire, 2013). La déminéralisation altère en parallèle les propriétés filantes des fromages, comme l'illustre la figure 5.

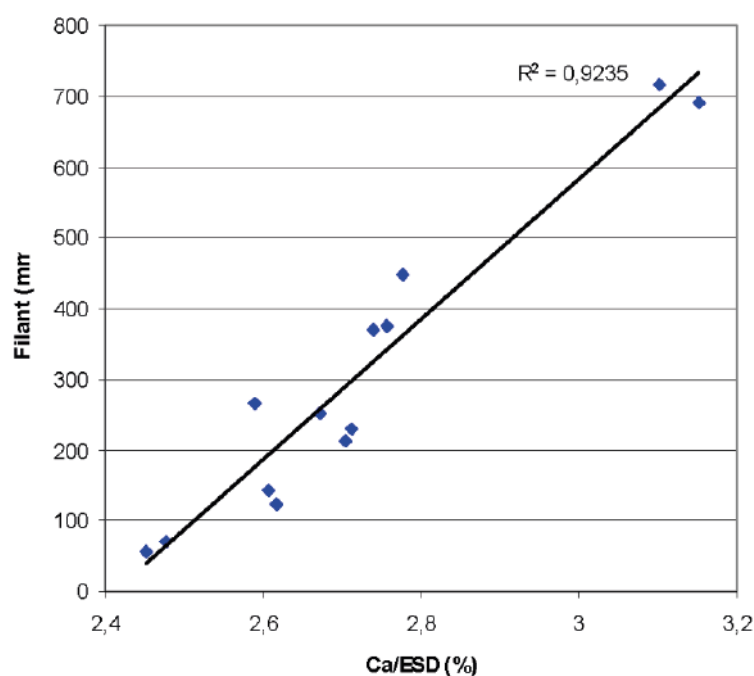


Figure 5: Relation entre la minéralisation de fromages à pâte cuite de type emmental et leur aptitude à filer (résultats ACTALIA)

Les protéines sériques jouent un rôle particulier puisque la forme de leur introduction dans les fromages conditionne leur impact sur les techno-fonctionnalités (figure 6). La mise en œuvre de lait fortement chauffé a un effet délétère important sur les propriétés d'étalement, de filant et de gratinant, notamment dans les pâtes pressées cuites. A l'inverse, l'apport de protéines sériques exogènes (dénaturées et microparticulées) n'influence que très peu les aptitudes culinaires : essentiellement un renforcement des propriétés gratinantes.

Pour conclure, les propriétés fonctionnelles des fromages (machinabilité et aptitudes culinaires) des fromages prennent une importance croissante dans un marché toujours grandissant des fromages ingrédients. Savoir les mesurer, les contrôler, les moduler est nécessaire pour maîtriser la qualité de ces produits.

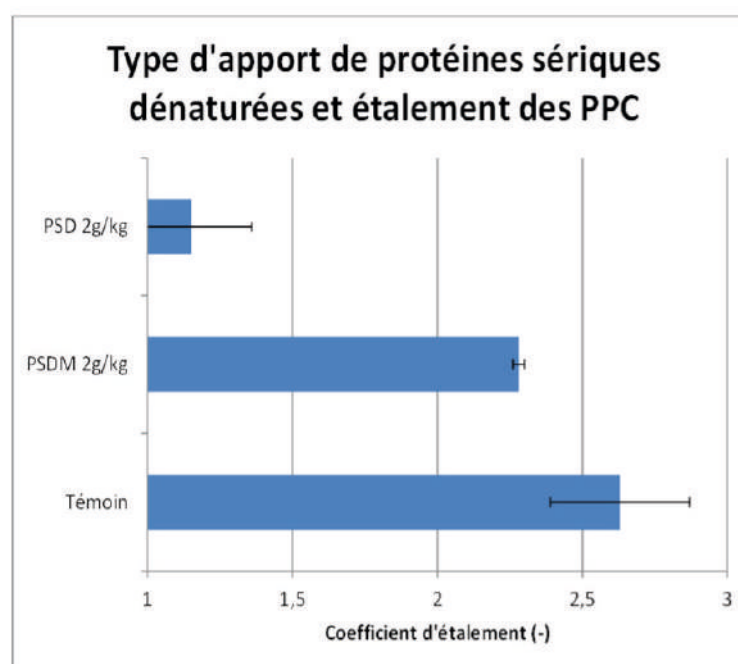


Figure 6 : Influence du mode d'apport des protéines sériques sur les propriétés d'étalement de fromages à pâtes cuites de type emmental : 2g/kg de lait de protéines sériques dénaturées apportées par chauffage intense du lait (PSD) ou ajout de protéines sériques exogènes (PSDM)

Références bibliographiques

Alinovi M., G. Mucchetti, F. Tidona (2019). Application of NIR spectroscopy and image analysis for the characterization of grated Parmigiano Reggiano cheese. *Int Dairy J* 92, 50-58.

Apostolopoulos C., R.J. Marshall (1994). A quantitative method for the determination of shreddability of cheese. *J. Food Quality*, 17, 115-128.

Banville V., P. Morin, Y. Pouillot, M. Britten (2014). Shreddability of pizza Mozzarella cheese predicted using physicochemical properties. *J. Dairy Sci.* 97, 4097-4110.

Barrucand P. (2012). Vers la maîtrise des aptitudes culinaires du fromage de

chèvre. *Revue des ENIL* 318, 18-19.

Childs J. L., C. R. Daubert, L. Stefanski, E. A. Foegeding (2007). Factors regulating cheese shreddability. *J. Dairy Sci.*, 90, 2163-2174.

Guinee T. P. (2002). The functionality of cheese as an ingredient : a review. *Australian Journal of Dairy Technology* 57(2), 79-91.

Guinee T. P., Kilcawley K. N. (2017). Ingredient cheese and cheese-based ingredients. In *Cheese : chemistry, physics and microbiology*. Vol. 2 Cheese Technology and major cheese groups. 4th Edn, PLH McSweeney, P. F. Fox, P. D. Cotter & D. W. Everett Ed., Elsevier Academic Press, 715-755.

Kerjean J.R. (2009). Les méthodes ins-

trumentales d'étude et de contrôle du comportement des fromages à chaud. *Revue des ENIL*, 304, 18-19.

Kerjean J. R. (2018). Mesure, compréhension et maîtrise des thermofonctionnalités des fromages affinés. In : *Le Fromage*, 4ème Edition, J. C. Gillis & A. Ayerbe Coord., Lavoisier, Paris, 769-784.

Neyers F. (2010). Technologie et fonctionnalités des fromages. 1ère Partie : *Revue des ENIL* 309, 18-20 ; 2ème Partie : *Revue des ENIL* 310, 20-23.

Richoux R., V. Gagnaire (2013). Protéases de *Lactobacillus helveticus* et leurs conséquences sur les propriétés culinaires de l'emmental. *Revue des ENIL* 324, 8-9.

Fonctionnalité des protéines laitières dans les laits en poudres : Cas des aliments pour nourrissons et sportifs

Franck NEYERS, Formateur Technologies Laitières, ENILIA Surgères

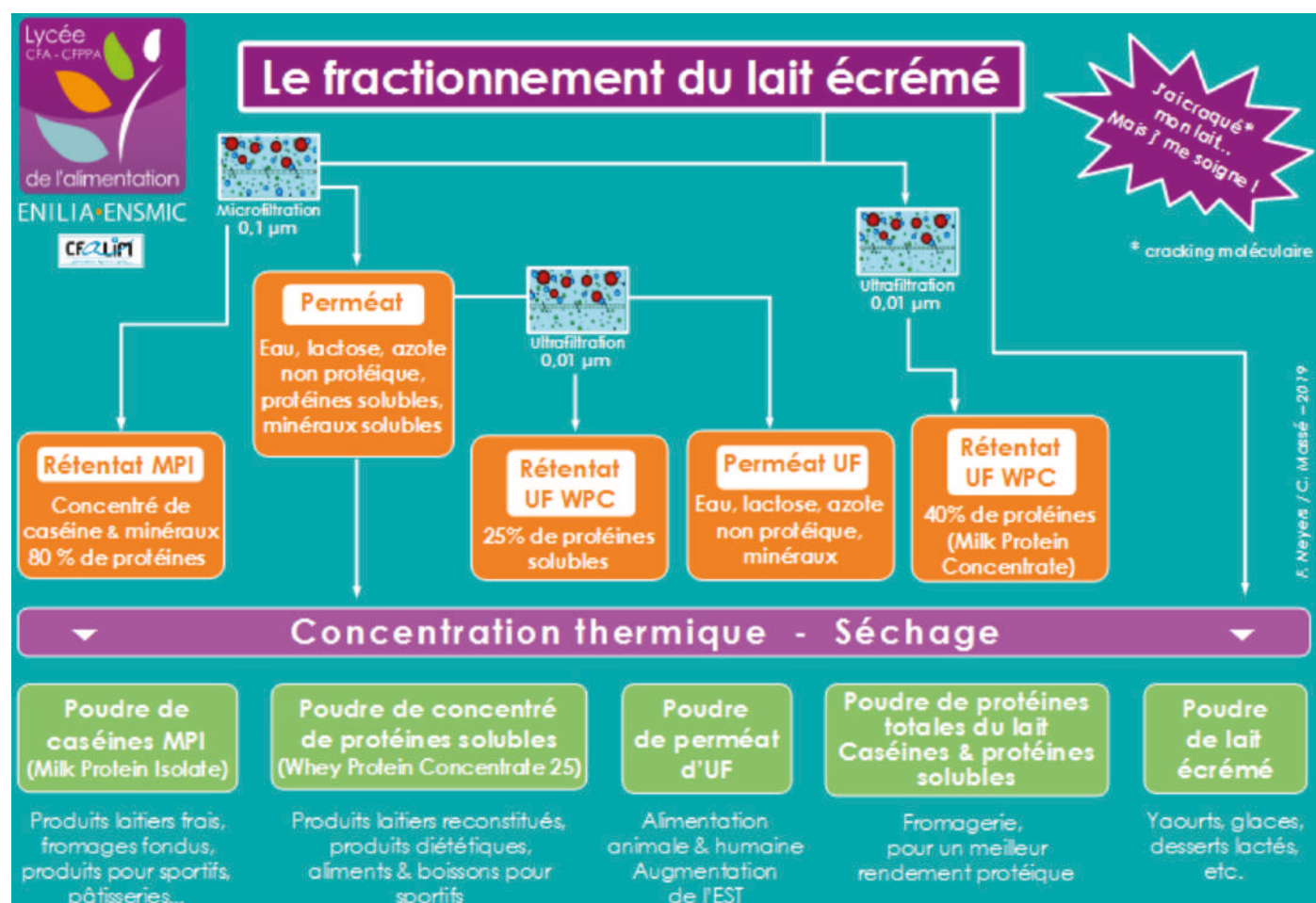
On parle souvent des propriétés fonctionnelles des protéines lactières. Celles-ci sont nombreuses et pour partie utiles dans les poudres pour nourrissons. Nous parlerons aussi dans cet article, des propriétés nutritionnelles de ces protéines, dans les poudres lactières, et notamment dans celles à destination des sportifs. Les protéines représentent 20 à 30 % des composants de l'EST d'une poudre pour

nourrisson. Cela peut aller jusqu'à 90 % pour les aliments pour sportif. Le comportement au stockage et la réhydratation de ces poudres dépend fortement de l'état de ces protéines : taux, types, dénaturation thermique.

**CASÉINES, PROTÉINES
DE SÉRUM, PROTÉINES
SOLUBLES...**

Le lait frais contient environ 32 g/kg de protéines. La phase protéique lactière est constituée de caséines (pour environ 80 %, 27 g/kg) et de protéines solubles/sériques (pour environ 20 %, 5 à 6 g/kg). Une synthèse partielle des processus d'obtention est présentée sur la figure 1 :

Figure 1 : une partie du fractionnement du lait écrémé



Les caséines

Les caséines sont séparables du lait par différents procédés :

- Acidification jusqu'à pH = 4.6 ;
- Gélification par la chymosine ou enzyme équivalente ;
- Ultracentrifugation à l'équivalence de 10 000 g ;
- Microfiltration à 0.1 µm ;

La séparation de cette phase est complétée par une éventuelle concentration thermique, un séchage, pour obtenir des phases plus ou moins concentrées en protéines, de types caséines. En amont

de ces techniques, un traitement thermique au moins équivalent à une pasteurisation a eu lieu lors de l'écémage du lait entier.

Les protéines de sérum et protéines solubles

Les protéines solubles / sériques sont des coproduits des process fromagers ou de fractionnement. Le perméat de microfiltration permet d'obtenir après UF, éventuelle concentration thermique et séchage, des concentrés de protéines solubles. Les sérums de caséinerie et de

fromagerie, permettront d'obtenir après UF, éventuelle concentration thermique et séchage, des protéines de sérum.

Les protéines non retenues dans les caillés lactiques et enzymatiques sont parfois appelées « protéines solubles ». Elles sont éliminées avec la phase aqueuse (lactosérum), d'où un abus de langage (elles ne sont pas « solubles » chimiquement). De nos jours, les fournisseurs d'ingrédients laitiers, distinguent les « protéines de sérum » et les « protéines solubles ». Ce sont quasiment les mêmes, seule leur origine diffère.

	Origines	Particularités
Protéines de sérum ou protéines sériques	Issues du sérum de fromagerie, de caséinerie obtenues par l'utilisation quasi systématique de chymosyne	Plus ou moins dénaturées en fonction des traitements subis par le lait de fromagerie, elles sont accompagnées du Caséino Macro Peptides (CMP), pôle hydrophile de la caséine κ extrait par la chymosyne.
Protéines solubles	Perméat de microfiltration de lait écémé	Peu dénaturées, elles n'ont en général subi qu'un seul chauffage avant MF (Micro Filtration). Elles sont donc moins dénaturées, et ne contiennent pas de CMP

Les protéines issues du sérum ne sont normalement pas retenues dans les caillés de fromagerie, sauf s'il y a traitement thermique. Pour accroître les rendements matière, les fromageries poussent les chauffages afin d'optimiser cette récupération de PS et d'eau liée.

Ce fractionnement du lait permet d'obtenir deux grandes familles de protéines, avec des dénaturations variables et aux fonctionnalités différentes.

	Caséines	Protéines sériques / solubles
Structure moléculaire	Structure micellaire, minéralisée de 250 à 300 nm	Forme dispersée ou globulaire, individualisée dans la phase aqueuse du lait
Propriétés fonctionnelles (variables suivant dénaturation thermique)	Epaississantes, foisonnantes, stabilisantes, blanchissantes, émulsifiantes.	Gélifiantes, foisonnantes, stabilisantes, émulsifiantes.
Propriétés nutritionnelles	Grosses structures moléculaires, minéralisées (calcium et phosphate), assimilation lente, protéines dites « de confort »	Assimilation rapide (protéines de « l'effort »), riches en Acides Aminés essentiels, sensibles à la dénaturation thermique (limitant l'assimilation)

Tableau 1 : Résumé des propriétés des protéines laitières

PROCESS DES PULVÉRULENTS ET DÉNATURATION DES PROTÉINES

La transformation des protéines laitières en poudres passe par différentes opérations unitaires, plus ou moins dénaturantes en fonction des barèmes temps / T°C mis en œuvre.

Le lait utilisé a en général subi un premier traitement thermique à basse température pour séparer la MG des autres composants (pasteurisation basse à 72 °C / 15 secondes). Lors de la filtration, celle-ci se fait plutôt à froid (15 à 20 °C) pour limiter le développement de flores parasites, comme les thermophiles.

Après filtration pour purification des phases protéiques, un accroissement du ratio protéines / ESD peut être effectué en diluant la phase soluble du lait via une diafiltration (MF ou UF avec dilution contiguë). Si leur viscosité et leur stabilité thermique le permet, les rétentats protéiques de 12 à 18 % d'EST passent sur un ESV (évaporateur sous vide) pour arriver à 20 à 25 % d'EST. Les valeurs d'EST avant séchage sont limitées par une viscosité initiale importante du rétentat (500 à 1000 cps), et par une instabilité thermique croissante, qui favorise un gratinage de surface important dans ces équipements (dès 65 °C). Pour rappel, le passage dans un ESV est en général précédé

par une pasteurisation, ce qui dénature davantage le produit. (voir figure 2)

Enfin le concentré est pulvérisé dans une tour de séchage pour subir le process de déshydratation finale. Les poudres obtenues contiennent alors 3 à 5 % d'humidité, avec des teneurs en protéines variable :

- 30 à 70 % de protéines sur ESD : concentré de... (« protéines totales de lait », « de sérum », « solubles ») ;
- Au-delà de 70 % de protéines sur ESD : isolat de ...caséines, protéines totales du lait, protéines solubles, protéines de sérum.

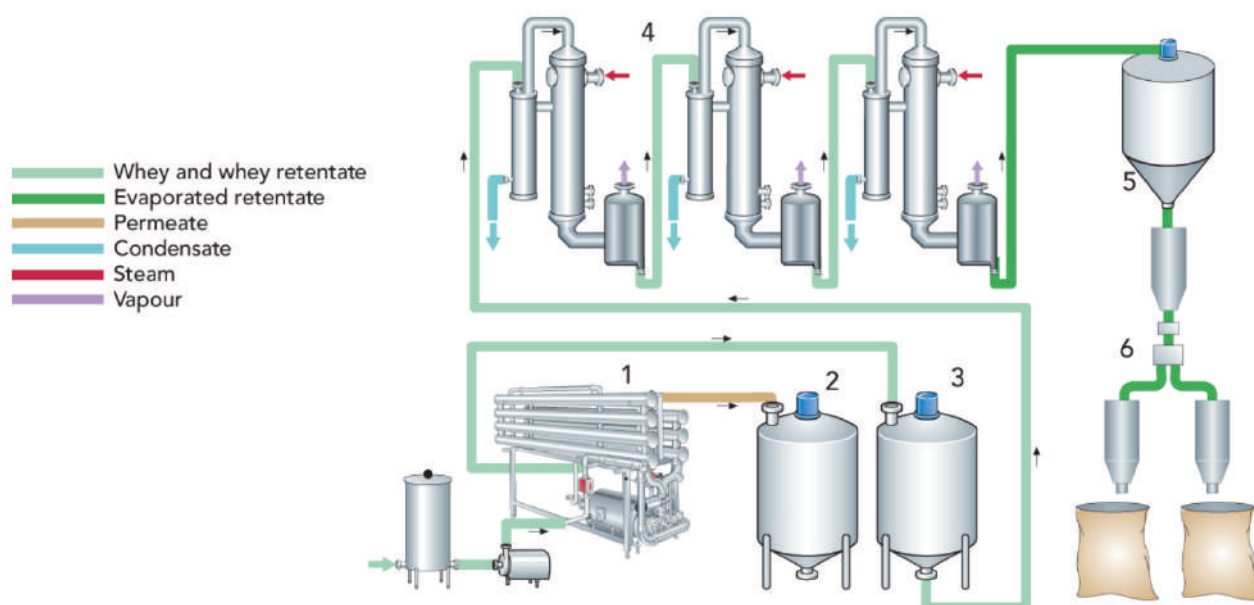


Figure 2 : Fabrication de poudre de PS, source : <https://dairyprocessinghandbook.tetrapak.com/chapter/whey-processing>

La multiplication des traitements thermiques reste la principale cause de dénaturation des PS, et rend leur assimilation plus difficile dans certains cas.

CARACTÉRISTIQUES PROTÉIQUES DES ALIMENTS POUR NOURRISSONS

Besoin en protéines du nourrisson

Le lait humain se caractérise, côté phase protéique, par une moindre richesse que le lait de vache, et une proportion de caséines plus faible (part de PS plus importante). Ces différences sont reportées dans le tableau ci-contre :

Tableau 2 : Composition en protéines des aliments pour nourrisson

Aliments pour nourrissons	Lait humain	1 ^{er} âge	2 ^{ème} âge	Croissance
Protéines	0.80 à 1.2 %	10.5 %	11.5	12.5
% PS	60 %	50 à 60 %	50	40

Les aliments pour nourrissons sont obtenus après concentration thermique et séchage d'ingrédients laitiers et non laitiers, avec formulation sur phase liquide (lait et concentrés) ou phase sèche (procédé « dry mix »). Lors des opérations unitaires sur le lait, sérum et/ou concentré. Les poudres pour nourrissons sont formulées pour rééquilibrer les phases protéiques, les appauvrir en caséines, les enrichir en PS (plutôt protéines solubles que protéines de sérum pour avoir une moindre dénaturation).

Limites à l'assimilation des protéines laitières par les nourrissons (impact dénaturation)

Les opérations unitaires de stabilisation microbienne favorisent la dénaturation partielle des PS, mais aussi celles des caséines. Des travaux, publiés en 2010, ont prouvé une résistance des caséines à la digestion qui augmente avec l'intensité des traitements thermiques mis en œuvre durant le procédé ; cette résistance serait due à la formation d'agrégats entre caséines et protéines de sérum qui protégeraient les caséines de l'action des enzymes digestives.

Ces données pourraient conduire à une modification des procédés de préparation des laits en vue de fabrication de poudres pour nourrisson. Jusqu'à présent, ces poudres étaient surtout formulées pour fournir un aliment sain microbiologiquement, avec un équilibre caséine / protéines sériques approchant celui du lait humain.

Compte tenu des connaissances sur la dénaturation et l'assimilation des protéines, il serait plus « sain », d'un point de vue assimilation des protéines, d'obtenir ces phases séparément, en limitant leur dénaturation thermique et le risque de complexation. Les deux phases pourraient ensuite être mélangées à sec pour éviter toute forme d'agrégat entre les phases protéiques.

Dans le cas des PS seules, il est mis en avant une possibilité d'assimilation plus facile des PS, notamment des albumines, après dénaturation. Ces albumines, sous forme sphérique dans le lait non chauffé, ont tendance à s'ouvrir après dénaturation (ce qui accroît leur propriétés techno-fonctionnelles).

Une forme ouverte est considérée comme étant plus propice à l'attaque par les enzymes digestives, ce qui faciliterait leur assimilation.

Et pour les sportifs...

Le système digestif de l'adulte, tant que l'individu n'est pas allergique aux protéines laitières, semble moins exigeant en terme d'assimilation des protéines. Un retard d'assimilation due aux complexations thermique caséine / PS revient à une assimilation lente des protéines. Dans le cas des besoins du sportif à la recherche de reconstruction musculaire après l'effort, il a donc à sa disposition des isolats de caséines, des isolats de PS, des isolats de protéines totales de lait.

Chacune de ces formulations met à disposition des mélanges d'acides aminés après une digestion plus ou moins rapide. On pourrait tenter une classification de ces compléments en fonction de la taille des molécules initiales et de leur dénaturation suite aux opérations unitaires



PROPRIÉTÉS FONCTIONNELLES

REVUE DES **enil**

Les assimilations les plus lentes ?

Isolat de protéines totale de lait (80 % caséine / 20 % PS)	Mélanges de protéines totales de lait, UF, traitées thermiquement et séchées
Isolat ou concentré de caséines	Caséines obtenues par MF, traitées thermiquement et séchées
Isolat de protéines solubles	Protéines solubles obtenues par UF du perméat de MF du lait, traitées thermiquement et séchées
Isolat de protéines sériques	Protéines sériques obtenues par UF du sérum, traitées thermiquement et séchées. Dénaturation supérieure aux protéines solubles, liées aux traitements thermiques subis par le lait de fromagerie (1 à 3 pasto)

Les assimilations les plus rapides ?

CONCLUSION

Les fonctionnalités des protéines laitières sont très utilisées pour texturer les produits alimentaires. On utilise les caséines pour épaissir, les PS pour gélifier, les protéines de sérum gélifient moins que les protéines solubles car elles sont davantage dénaturées. Ces raisonnements techniques pourraient être transposés plus finement en alimentation spécifique, pour mieux répondre aux besoins des nourrissons : types de PS, degrés de dénaturation, facilité d'assimilation, digestibilité... Ceci est d'autant plus difficile, que l'essentiel

de la dénaturation est due aux traitements thermiques qui sont aujourd'hui la principale réponse apportée par les industriels aux besoins de sécurité sanitaires des poudres pour nourrisson.

Il ne faut cependant pas oublier que d'autres traitements sont possibles pour éliminer les flores, sans dénaturer la phase protéique la plus sensible: microfiltration à 1.4 µm (voir moins), bactofugation, utilisation de lysozyme (mais allergène « œuf »), pasteurisation à plus basse température. Ces progrès qui seront réalisés seront aussi une source de meilleure maîtrise des propriétés nutritionnelles pour l'adulte

(sportif, personnes âgées atteintes de sarcopénie), mais aussi une meilleure maîtrise des propriétés techno-fonctionnelles des protéines laitières dans différents aliments.





Les protéines végétales

Hélène BEGUET et Bruno VOLLE, Chargés d'application R&D ENIL de Mamirolle

Les protéines d'origine végétale sont des macromolécules d'intérêt industriel. Elles permettent au secteur de l'agroalimentaire, confronté à des évolutions sociales (morales, religieuses, diététiques, démographiques et écologiques) ^[1], de puiser dans une ressource alternative de protéines, de gagner l'adhésion d'une certaine frange de consommateurs et de répondre à certains enjeux. De plus, les développements technologiques concernant l'extraction et l'utilisation en tant qu'ingrédient des protéines végétales sont ainsi soutenus par la haute disponibilité des matières premières, leur caractère renouvelable, une teneur significative en protéine, une bonne valeur nutritionnelle et des propriétés fonctionnelles exploitables.

LES PROTEINES VEGETALES DE RESERVE

Les principales sources de protéines végétales provenant des organes de réserves (graines, fruits) les principales protéines rencontrées sont donc des protéines de réserve. Leur seule fonction consiste à fournir, par protéolyse sélective lors de la germination, l'azote nécessaire à la croissance végétale sous la forme d'acides aminés.

Cette fonction de réserve d'azote est largement relayée par la structure primaire (composition en acides aminés) des protéines de réserves. Ainsi, pour assurer un stockage maximal d'azote dans un volume minimal, une structure protéique compacte est nécessaire. Elle est associée d'une part à la présence de résidus proline, glutamine ou cystéine et d'autre part à la faible teneur d'acides aminés chargés limitant les forces de

répulsion et favorisant l'agrégation.

De plus, les grains présentent, pour ces protéines, un environnement faiblement aqueux (« relativement hydrophobicité »). Pour augmenter la teneur élevée en azote, une augmentation relative de la proportion des résidus glutamine et asparagine (présentant une fonction amide) est observée ^[2].

Ces protéines de réserves présentent également un polymorphisme élevé de structure ou de composition. Il correspond à la présence de mutations génétiques non létales affectant la composition en acides aminés, la longueur et/ou la structure des polypeptides. Le polymorphisme identifié au niveau polypeptidique induit une large diversité et complexité au niveau des oligomères pouvant résulter de l'association de ces polypeptides pour former les protéines de réserve.

Bien que différentes classifications des protéines végétales coexistent en fonction de divers critères (structures, propriétés, fonction physiologique...), l'une d'entre elles, encore largement utilisée, s'appuie sur la solubilité différentielle de ces protéines dans divers solvants.

Selon ce critère, les protéines végétales se répartissent en quatre fractions différentes dont la solubilité dans l'eau décroît : les albumines, les globulines, les prolamines et les glutélines.

Les albumines

Elles constituent une famille très hétérogène regroupant de nombreuses protéines aux fonctions diverses (enzymes, lectines, inhibiteurs de protéases...) ^[3]. Des protéines de cette famille com-

plexe sont présentes en tant que protéine de stockage dans les graines, les albumines 2S, caractérisées par leur coefficient de sédimentation. Elles prennent le nom de leucine dans l'orge, le blé et le seigle, de léguméline dans les pois et le soja, ou encore de phaséline dans les haricots rouges ^[4]. Si elles sont des protéines de réserves minoritaires dans le soja, ce sont des protéines de stockage majeures dans un certain nombre de cultures dicotylédones (par exemple, colza, tournesol) ^[3,4]. Malgré les différences dans leur structure et leur synthèse, une albumine 2S type est constituée de deux chaînes polypeptidiques de 8-10 kDa et 4-5 kDa, associées par deux ponts disulfure. Ces deux polypeptides sont synthétisés sous la forme d'un seul polypeptide précurseur qui présente trois régions conservées. Ces séquences se caractérisent par la présence de huit résidus d'un acide aminé soufré, la cystéine, impliqués dans la formation de ponts disulfure conservés. La présence de ces caractéristiques peptidiques permet de relier ces protéines à la super famille des prolamines. La structure protéique comprend également cinq hélices α étroitement associées en faisceau. Cette structure, combinée aux ponts disulfure stabilise une structure globulaire qui assure une résistance à l'action des protéases et à la dénaturation thermique ^[5]. De faible masse moléculaire, les albumines 2S présentent également une solubilité élevée sur une gamme large de pH (3 à 9) ^[6]. Bien qu'elles présentent une composition en acides aminés intéressante, riche en résidus glutamine, méthionine ou cystéine, elles ont également des propriétés allergéniques ^[7].



	Acides aminés essentiels											Acides aminés non essentiels								
	Méthionine	Cystéine	Lysine	Histidine	Arginine	Tyrosine	Leucine	Isoleucine	Thréonine	Valine	Phénylalanine	Tryptophane	Aspartate	Glutamate	Sérine	Glycine	Alanine	Proline	Asparagine	Glutamine
Globuline 7S	0,2	0,6	5,5	2,2	7,3	35,0	8,4	5,5	2,1	4,6	5,2	0,2	4,6	11,1	7,4	4,3	4,6	5,8	7,1	8,4
Globuline 11S	1,1	1,4	4,5	2,3	6,5	26,4	6,9	4,9	3,7	5,7	3,8	0,9	4,3	8,4	7,1	7,3	5,3	6,5	6,9	10,3

Tableau n°1 : Comparaison de la composition en acides aminés (en %) des différentes globulines de réserve du soja. (adaptation d'après Krishnan 2005)

Les globulines

Les globulines sont les principales protéines de stockage (70%) des légumineuses [8]. Elles sont solubles dans des solutions salines diluées. Ces protéines constituent des oligomères globulaires et compacts. Deux groupes principaux sont identifiés en fonction de leur masse moléculaire et de la structure de l'oligomère caractérisée par leur coefficient de sédimentation. Des trimères (type viciline) correspondent aux globulines 7S dont la masse moléculaire est comprise entre 150 et 180 kDa. Les polypeptides constitutifs ne possèdent pas de résidus cystéine et ne peuvent donc pas former de liaisons disulfure [8]. Ces protéines peuvent être glycosylées. La température de dénaturation thermique des globulines 7S dépend des conditions de force ionique. Dans des conditions de faible force ionique, la température de dénaturation thermique se situe aux alentours de 70°C, tandis qu'à plus haute force ionique, elle est aux environs de 80°C [9]. Elles présentent des capacités de rétention d'eau et de liaison à l'huile élevées. La structure spécifique des protéines 7S (30 à 44% de feuillet β contre 12 à 20% en hélice α) permet d'assurer des changements conformationnels à l'inter-

face huile-eau [10]. Elles présentent donc de bonnes propriétés émulsifiantes.

Les globulines 11/12S (type légumine) sont des protéines thermostables formées de 6 sous-unités. Elles présentent une masse moléculaire située entre 300 et 360 kDa. Chaque sous-unité est synthétisée en tant qu'une chaîne polypeptidique unique qui subit un clivage protéolytique entraînant la formation d'un fragment hydrophobe basique (20 kDa) et d'un fragment hydrophile acide (40 kDa) maintenus ensemble par un pont disulfure [9]. Du fait de cette structure, la température de dénaturation thermique des globulines 11S est légèrement plus élevée que celle des globulines 7S. Elle se situe aux alentours de 90°C. Elle est influencée par différents facteurs tels que le pH ou la force ionique. [10]. Les protéines de type « légumine » se singularisent des protéines de type « viciline » par leur contenu en acides aminés soufrés. Quatre méthionines et sept résidus cystéine ont été dénombrés pour chaque sous-unité de légumine (Tableau n°1) [9]. Cependant, elles présentent également des propriétés allergéniques.

Les prolamines

Protéines de réserve majoritaires dans les céréales, la masse moléculaire des prolamines varie entre 10 et 100 kDa. Elles sont constituées d'une seule chaîne polypeptidique. Trois grands groupes se distinguent en fonction de la présence d'acides aminés soufrés (riche en soufre, pauvre en soufre S) et du haut poids moléculaire. [11]. Elles contiennent toutes des séquences répétées étendues basées sur des motifs riches en proline et en glutamine avec les domaines répétés riches en cystéine et S. Cependant, dans les prolamines, ces répétitions de cystéine peuvent être perturbées par l'insertion de séquences. Sur la base de diverses comparaisons, il a été établi que les prolamines ont une origine évolutive commune. Dans le blé, les prolamines constituent les principaux composants de la fraction protéique du gluten. Elles sont également impliquées dans la maladie coeliaque [11].

Les glutélines

Elles constituent une famille hétérogène résultant de la polymérisation de sous-unités (prolamine) de hauts et de faibles poids moléculaires. Elles forment des agrégats très complexes. ^[12] solubles dans des solutions alcalines (pH>10) Les chaines polypeptidiques constituant ces sous-unités ont une structure composée d'une région N-terminale contenant un nombre variable de répétitions d'une séquence riche en proline ^[12] une région riche en glutamine qui peut être séparée en 2 domaines; et un domaine C-terminal riche en cystéine. L'aptitude des sous-unités à s'associer par des liaisons hydrogène, des interactions hydrophobes et des ponts disulfures (S-S) est l'un des prin-

cipaux facteurs qui assure les propriétés viscoélastiques des pâtes.

SOURCES DE PROTEINES VÉGÉTALES

Production primaire, matières premières

En France, bien que le plan national nutrition santé (PNNS) préconise un équilibre (50/50) des apports protéiques d'origine animale et végétale, seuls 40% sont assurés par sources végétales de protéines provenant, le plus souvent, de graines oléagineuses (amande, pistache, cacahuète, colza...), de légumineuses et de leurs dérivés (soja, haricot, pois chiches, tofu, lentilles, lupin, féverole...) ou de produits céréaliers (maïs,

riz, blé, avoine...) (figure n°1) ^[13, 14, 15]. La teneur en protéine de ces sources s'établit entre 8 et 12% pour le maïs, le blé ou le riz. Les légumineuses présentent entre 20 (pois, lentilles...) à 40% (lupin, soja...) ^[16]. Les parties aériennes foliaires de certains végétaux, bien que ne constituant pas des organes de réserve comme les graines, les fruits ou les tubercules, présentent des teneurs en protéines intéressantes de l'ordre de 15 à 20 % (luzerne...) ^[17].

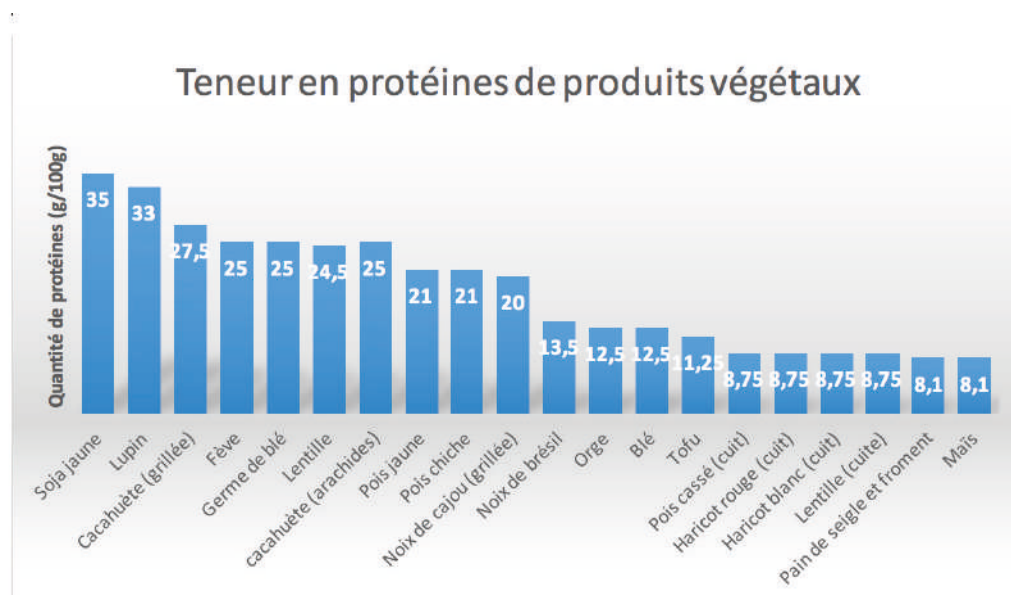


Figure 1 :
Comparaison de la teneur en protéines de différentes sources végétales

Les matières protéiques végétales (MPV).

Les protéines végétales peuvent également être apportées en tant qu'ingrédient sous la forme de matières protéiques végétales extraites à partir de céréales, de légumineuses, d'oléagineux...

Elles peuvent rentrer dans la chaîne alimentaire sous différentes formes selon leur concentration :

- les farines (40-50% de protéines)
- les concentrés de protéines (60-70%

de protéines)

- les isolats de protéines (85-90% de protéines)
- les hydrolysats de protéines

Les farines et les concentrés sont principalement obtenus à partir de blé et de soja ; les isolats à partir du soja, du pois, de la féverole, du colza par voie aqueuse, chimique ou fermentaire. Le procédé à sec (nettoyage des graines, décorticage, broyage et tamisage) permet d'obtenir des farines ou des concentrés selon le niveau de frac-

tionnement. Le fractionnement à sec permet la production de fractions enrichies en protéines tout en préservant au mieux leurs conformations natives.

Les procédés par voie humide permettent d'obtenir des concentrés ou des isolats de protéines. Deux types de procédés sont utilisés : la co-précipitation ou l'ultrafiltration. Le matériau de départ est réduit en taille, dilué dans l'eau à différents pH et suivi d'une précipitation isoélectrique ou concentration par ultrafiltration. Les protéines obtenues ne restent pas dans leur forme native suite aux changements de pH et de température. La méthode d'extraction a donc un impact important sur l'état de dénaturation des protéines et sur les facteurs antinutritionnels, donc sur les propriétés des MPV. Différentes techniques et conditions d'extraction (pH, présence ou absence de sels mono- et polyvalents, force ionique du milieu, temps, température, etc.) influencent les propriétés fonctionnelles des protéines obtenues. Ainsi, il est fréquent que les techniques d'extraction qui impliquent des conditions de température longues et élevées conduisent à des isolats de protéines de qualité nutritionnelle réduite. Des conditions de milieu d'extraction alcalin peuvent engendrer une série de réactions indésirables telles que la racémisation des acides aminés, la formation de lysino-alanine, la diminution de la digestibilité et la perte des acides aminés essentiels. Le mode de concentration par précipi-

tation isoélectrique ou ultrafiltration a aussi un impact notamment pour les protéines de pois. Le procédé par ultrafiltration permet d'obtenir de meilleures propriétés fonctionnelles (solubilité, activité émulsifiante, activité moussante et capacité de rétention d'huile) pour les isolats protéiques que le procédé par précipitation isoélectrique ^[16,17]. Enfin l'hydrolyse basée sur différentes modifications chimiques, physiques et enzymatiques peut encore améliorer les propriétés fonctionnelles des isolats de protéines en termes de solubilité, d'émulsification et de capacité et de stabilité de formation de mousse, ainsi que de valeur nutritionnelle, comme la formation de peptides bioactifs..

QUALITE NUTRITIONNELLE, DIGESTIBILITE ET ALLERGENICITE ^[13,18,22,23]

La composition et les propriétés des ingrédients protéiques végétaux en font des produits fort intéressants :

- leur apport élevé ou très élevé en protéines (de 50 à 90 % sur sec) en fait un composant de choix pour les aliments hyperprotidiques ;

- leur teneur très faible en lipides - de 1 à 2% et parfois moins, sauf pour les pro-

duits dits gras en fait un nutriment bien adapté pour les produits hypocaloriques ;

- l'absence de tout produit d'origine animale en fait un composant de choix pour les régimes végétariens et végétaliens ;
- leur richesse en fibres végétales et la possibilité de «réguler» leurs fractions minérale et glucidique ouvrent les applications dans aliments de régimes riches en fibres, hyposodés, et hypoglucidiques.

Cependant les protéines végétales présentent des inconvénients : Selon les protéines végétales, un ou plusieurs acides aminés essentiels sont limitants parmi les 9 acides aminés essentiels : lysine, acides aminés soufrés (SAA : méthionine, cystéine), thréonine, tryptophane, leucine, isoleucine, valine, acides aminés aromatiques (AAA : phénylalanine, tyrosine) et histidine (Figure n°2).

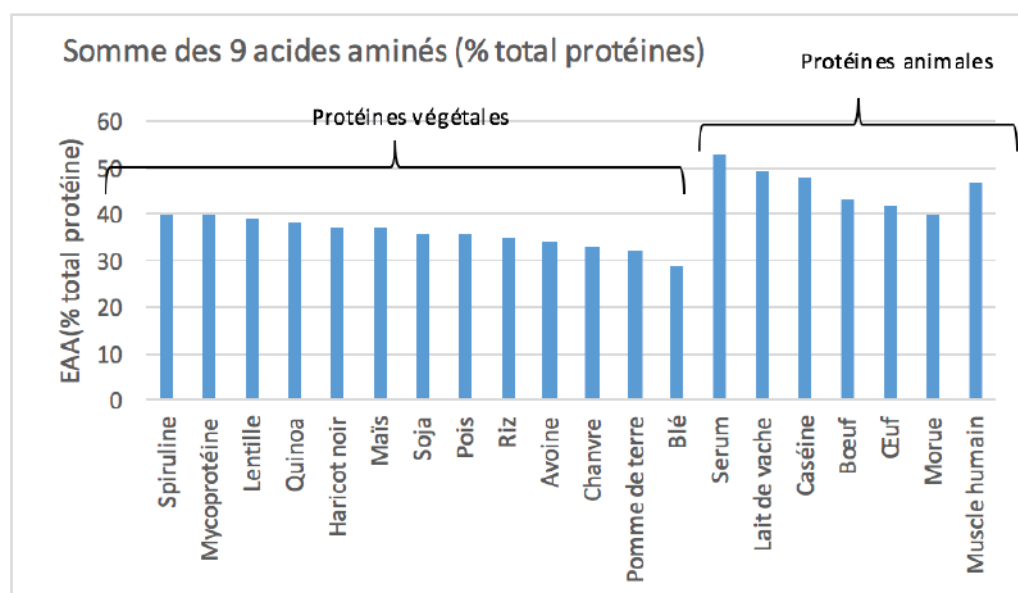


Figure 2 : Somme des 9 acides aminés essentiels dans différentes sources de protéines végétales

Source d'allergène

La plupart des allergènes alimentaires d'origine végétale appartiennent à quelques familles de protéines et super-familles. De nombreux allergènes appartiennent à la superfamille des protéines de stockage de graines 7S et 11S ou à la superfamille des prolamines (albumines 2S et protéines de stockage de prolamine des céréales notamment - tableau 1). Les protéines de stockage sont la cause de réactions allergiques bien connues

aux arachides et aux céréales.

Évaluation de la qualité des protéines :

La qualité des protéines peut être évaluée selon différents critères :

- Capacité des sources alimentaires à fournir en quantité adéquate et sous forme biodisponible les 9 acides aminés indispensables que l'organisme ne peut synthétiser (critère de référence pour mesurer la qualité des protéines) : mesuré

avec PDCAAS et DIAAS qui comparent la teneur en les 9 acides aminés indispensables, des sources de protéines étudiées, à un profil de référence défini selon les besoins nutritionnels de la population étudiée (nourrisson, enfant, adulte) cf tableau 2.

	Besoin en protéines	Profil de référence des acides aminés (mg/g de protéines)								
	g/kg/j	His	Ile	Leu	Lys	SAA	AAA	Thr	Trp	Val
Adulte	0.66	15	30	59	45	22	38	23	6	39

Tableau 2 : Exemple de besoin en AA essentiel pour l'adulte

Le score de qualité des protéines :

Les scores de référence de la qualité des protéines sont calculés avec le PD CAAS (Protein Digestibility-corrected amino acid score) et le DIAAS (Digestible indispensable Amino Acid Score).

$$\text{PDCAAS} = \frac{\text{mg of amino acid in 1g of test protéin} \times \text{Protein Digestibility}}{\text{mg of same amino acid in 1g of reference pattern}}$$

$$\text{DIAAS} = \frac{\text{mg of amino acid in 1g of test protéin} \times \text{Amino Acid Digestibility}}{\text{mg of same amino acid in 1g of reference pattern}}$$

Le DIAAS est un peu plus précis

Si le score est 1, le besoin est satisfait, s'il est inférieur à 1, l'acide aminé est limitant. Ainsi pour la protéine de blé, la lysine est un acide aminé limitant (Tableau n°3).

Les protéines de graines de légumineuse ont une teneur assez élevée en lysine et thréonine mais faible en acides aminés soufrés (methionine, cystéine, tryptophane). Les protéines de céréales sont complémentaires car elles ont une teneur faible en lysine et thréonine mais élevée en Cystéine et Methionine. Les protéines d'arachides sont pauvres en acides aminés lysine et thréonine (Tableau n°4).

L'équilibre en acides aminés ne suffit pas, il faut aussi une bonne digestibilité.

La digestibilité

Elle est définie comme la proportion d'azote ou d'acides aminés ingérés qui est absorbée dans l'intestin après consommation des protéines.

$$\text{Digestibility}(\%) = (\text{part absorbée}) / \text{part ingérée} (\%)$$

La digestibilité des protéines de source végétale notamment consommées sous forme de graines ou de farines complexes (70-90%) est inférieure à celle des sources animales (91-99%) (Tableau n°5).

Protein	Chemical score			DIAAS		
	Limiting AA	Adult	1-3 ans	AA Digestibility %	Adult	1-3 ans
Milk	No limiting	-	-	-	-	-
Soy	SAA (25)	1,13	0,96	85,00	0,94	0,80
Pea	SAA (24)	1,09	0,92	82,00	0,90	0,75
Chick pea	SAA (23)	1,05	0,88	72,00	0,75	0,63
Lupin	Valine (37)	0,95	0,88	90,00	0,85	0,79
Lentil	SAA (18)	0,81	0,69	80,00	0,65	0,55
Peanut	Lysine (35,5)	0,79	0,68	90,00	0,71	0,61
Wheat	Lysine (23)	0,51	0,44	85,00	0,44	0,37

Tableau 3 : score de différentes légumineuses pour l'adulte et pour l'enfant de 1-3 ans

Acides aminés (mg/g de protéines)	Riz	Céréales		Légumineuses				Farine		feuille Luzerne	Muscle Boeuf
		Maïs	Blé	haricot	Pois	Soja	Aracide	Blé	Soja		
His	21	27	21	26	26	30	27	19	25	29	44
Ile	40	34	34	41	41	51	40	38	42	35	50
Leu	77	127	69	71	70	82	74	66	66	88	82
Lys	34	25	23	63	71	68	39	24	60	66	89
Met + Cys	49	41	36	21	24	33	32	34	34	29	42
Phe + Tyr	94	85	77	69	76	95	100	80	107	110	91
Thr	34	32	28	33	36	41	29	28	40	50	47
Trp	11	6	10	8	9	14	11	12	12	18	13
Val	54	45	38	46	47	52	48	42	47	46	53

Tableau 4 : composition en acides aminés de quelques graines et aliments courants (exprimé en mg/g de protéines)

Protéines	Animal			Végétale								
	Lait	Viande	Œuf	Soja	Pois	Haricot	Lupin	Arachide	colza	Blé	Riz	Maïs
Digestibilité %	95-99	94-99	91-97	78-91	77-91	77-78	85-90	85-90	80-84	77-86	75-88	70-87

Tableau 5 : Digestibilité de différentes sources de protéines

Les protéines végétales ont une meilleure digestibilité lorsqu'elles sont consommées sous forme de concentrés et d'isolats que sous forme de farine complexe ou de graines entières.

La digestibilité peut être amoindrie par des composés anti-nutritionnels. Ils correspondent à des molécules synthétisées par les plantes. Ces substances protègent les végétaux vis-à-vis des microorganismes, des insectes et des animaux supérieurs. Certains de ces composés peuvent être nuisibles lorsqu'ils sont

ingérés par l'homme et les animaux et induire une utilisation moins efficace des nutriments pour la croissance, un dysfonctionnement intestinal, une hypoglycémie...

Parmi ces substances molécules se trouvent l'acide phytique et les phytates, des inhibiteurs d'enzymes de la digestion (inhibiteurs trypsiques), des phytoestrogènes, des saponines, la leptine... La sélection de variétés avec des teneurs faibles et la réalisation de traitement thermique efficace sont des moyens pour

contrôler la présence de ces anti nutriments (Tableau n°6).

	Inhibiteurs de la trypsine	Lectines	Polyphénols Tannins	Alcaloïdes	Glycosides	Acide phytique
Céréales						
Blé, riz	±					+
Sorgho, millet			++T			
Légumineuses						
Soja	++	+			+I, S	++
Pois, haricots	++	+				++
Lupin				++Q		
Oléagineux						
Colza			++T		++K	
Coton	±		+G			
Tournesol	±		++P			
Élimination inactivation	Traitements thermiques	Traitements thermiques	Traitements alcalins	Extraction à l'eau	Extraction à l'eau : enzymes	Traitement par phytase
	T : tannin G : gossypol	P : polyphénols I : isoflavonoïdes	S : saponines Q : quinolizidine	K : goitrogènes	± négligeable + appréciable ++ important	

Tableau 6 : Facteurs antinutritionnels associés aux protéines végétales. Méthodes d'élimination

PROPRIÉTÉS FONCTIONNELLES

L'emploi de protéines végétales est intéressant pour leur intérêt nutritionnel mais également pour leurs propriétés physico-chimiques qui permettent de les employer avantageusement en technologie alimentaire. C'est ainsi qu'elles sont utilisées à des fins d'émulsification, de gélification, d'aération, d'absorption et de rétention des graisses et de l'eau, de formation de film, d'augmentation de la viscosité des aliments, de contrôle de couleur et d'expansion.

Ces propriétés varient en fonction de la source de protéines, de la concentration, de la fraction protéique, des traitements et des conditions expérimentales (pH, température, force ionique,...). Ces propriétés fonctionnelles déterminent l'utilisation des protéines dans les aliments à base de viande, le pain, la pâtisserie, les produits diététiques, les analogues du lait^[18]. Les protéines de soja et de pois, riches en albumines et globulines, sont caractérisées par de bonnes propriétés émulsifiantes, moussantes et gélifiantes. Nous

étudierons principalement ces deux sources de protéines.

Solubilité, dispersibilité^[13,17,18,19]

Les protéines des graines peuvent être classées sur des différences de solubilité en quatre groupes (Osborne, 1907) : les albumines, solubles dans l'eau, les globulines, solubles dans les solutions salines neutres, les prolamines, solubles dans l'alcool à 70 %, les glutélines, qui constituent le résidu insoluble.

Les globulines sont surtout présentes (60-90% des protéines) dans les graines de dicotylédones (légumineuses, oléagineux) tandis que les prolamines et les glutélines sont les protéines majeures des céréales (80-90%).

En ce qui concerne la protéine de pois, elle est constituée d'albumines (20 à 30% des protéines totales) et de globulines (55 à 65% des protéines totales). Le reste (10 à 15%) est constitué des protéines insolubles. La solubilité dans l'eau de cette source de protéine n'est donc pas optimale mais peut être améliorée si

l'eau est préalablement réchauffée à une température comprise entre +50°C et +60°C. Ces protéines sont le plus soluble à pH inférieur à 4.00 ou supérieur à 6.00 (Figure n°3). Un ajout modéré en sels va améliorer la solubilité de la protéine de pois. Par contre une trop forte concentration va insolubiliser les protéines, effet de « salting-out ».

Les graines de soja contiennent une petite minorité d'albumines (10%) et une grosse majorité de globulines (90 %). La solubilité des protéines de soja est très proche de celle du pois, elle est maximum à pH inférieur à 4,00 ou supérieur à 6,00.

Comparaison solubilité d'isolats de protéines

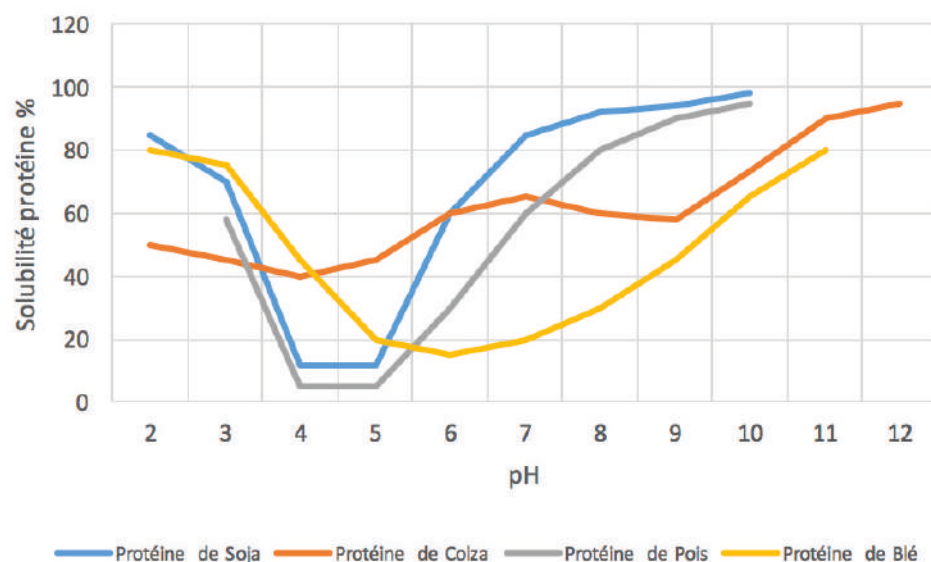


Figure 3 : Solubilité de différents isolats de protéines végétales

Pouvoir émulsifiant, pouvoir dispersant^[20]

La protéine de pois a une relativement bonne qualité émulsifiante mais une faible stabilité de l'émulsion en comparaison à l'isolat de protéines de soja (Figure n°4).

Le pouvoir de rétention d'eau ou d'huile des protéines de pois est très faible en comparaison aux protéines de soja (Figure n°5).

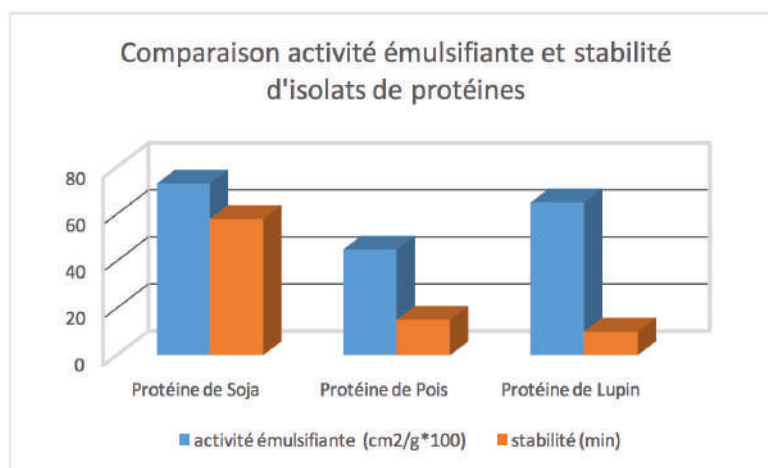


Figure 4 : Pouvoir émulsifiants et stabilité de différents isolats de protéines végétales

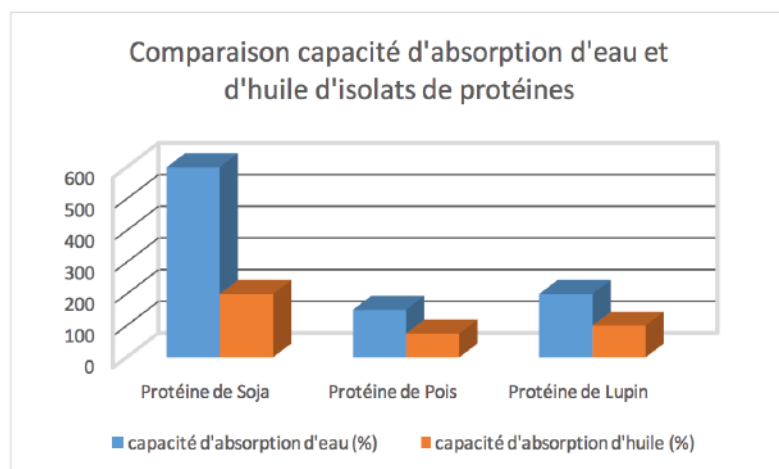


Figure 5 : Pouvoir de rétention d'eau ou d'huile de différents isolats de protéines végétales



PROPRIÉTÉS FONCTIONNELLES

REVUE DES **enil**

Pouvoir moussant, gélifiant, texturant^[15,20]

Les protéines de pois sont très recherchées pour leurs propriétés gélifiantes. Elles peuvent gélifier par trois traitements différents : thermique, chimique (ajout de sels, acidification lente ou GDL) et enzymatique (transglutaminase ou chymosine).

La gélification thermique est liée à la perte de la structure native de la protéine et à la formation d'agrégats via des ponts disulfures, des liaisons hydrogène, des interactions hydrophobes et/ou des forces de Van der Waals.

L'acidification lente par fermentation de la protéine de pois forme un gel du type caillé laitier. Ce type de gélification est obtenu en diminuant les répulsions électrostatiques entre les agrégats.

La transglutaminase (TGase) catalyse la formation d'une liaison isopeptidique entre le résidu glutaminyle et le résidu lysyle avec libération d'ammoniac. Quand ces deux résidus appartiennent à deux molécules différentes de protéine, la réaction conduit à un pontage des deux. Le pontage des protéines par la TGase peut conduire, sous certaines conditions expérimentales, à la réticulation des molécules avec formation d'un gel. Un tel gel

a été obtenu, par exemple, avec la globuline 7S du soja et la légumine de pois. On dispose ainsi d'un outil pour texturer des protéines.

Les protéines de pois comme celles de lupin ont par contre un pouvoir moussant relativement faible (Figure n°6).

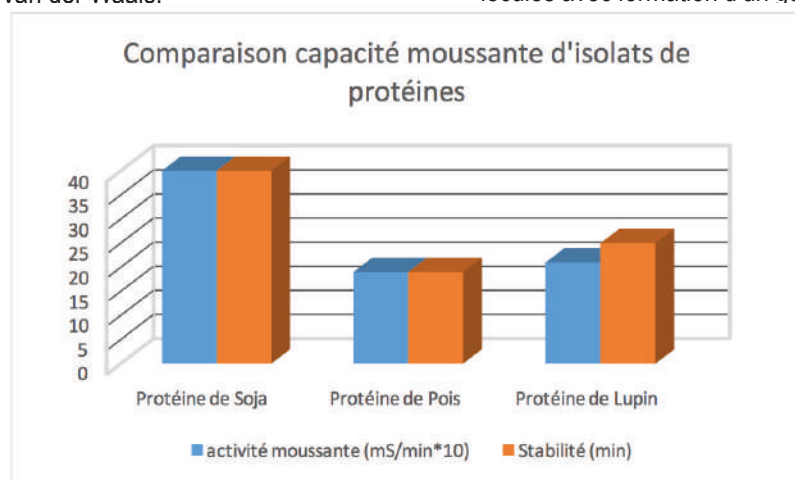


Figure 6 : Pouvoir moussant de différents isolats de protéines végétales

Fermentescibilité^[21]

Les produits à base de protéines végétales présentent souvent des défauts de goût et d'arôme. Ces défauts peuvent être dus à la présence d'enzymes type lipoxygénase dans les graines de légumineuse, formant des molécules aromatiques indésirables, ou à la présence de molécules type n-hexanal. L'étape de fermentation des mix de protéines végétales améliore de façon très nette la qualité organoleptique du produit en réduisant le taux de n-hexanal ou grâce à la production de composés d'arôme par les ferments.

Dans la bibliographie, on retrouve que « *Lactobacillus plantarum* et *Pediococcus pentasaceus* améliorent la note aroma-

tique des protéines de pois en réduisant le taux de n-hexanal. La note verte est réduite voire masquée. Des notes fruitées et fleuries ont été obtenues grâce à la levure *Geotrichum candidum* et aux bactéries *Lactobacillus plantarum* et *Hafnia alvei* ».

La figure 7 montre différentes courbes de fermentation selon la source de protéine végétale. Le pH de démarrage va varier selon la source de protéine et selon la méthode d'extraction. Une source de sucre a été ajoutée à chaque fois pour permettre le développement des bactéries lactiques qui ne sont pas capables d'utiliser les sucres complexes présents. La dose de sucre est à ajuster en fonction du pH final désiré.

La sélection de la souche est très impor-

tante pour la production d'arômes et le masquage des « off-note ». La durée de fermentation doit être adaptée pour permettre une production d'arôme capable de masquer les mauvais goûts tout en limitant le temps de latence pour s'affranchir de la problématique bactériologique. L'intérêt de la fermentation est également de créer un gel par la réticulation des protéines.



Cinétique de fermentation de protéines végétales pour une même souche de bactérie lactique et une même température

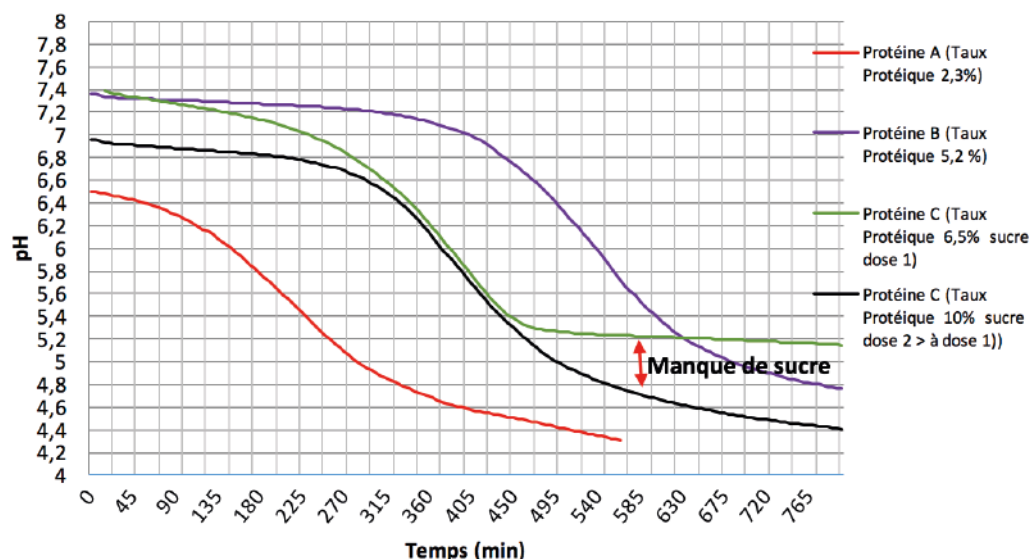


Figure 7 : Cinétique d'acidification de différentes sources de protéines végétales

Les développements de produits à base de protéines végétales devraient répondre à certains enjeux socio-économiques ainsi qu'aux demandes spécifiques des consommateurs. Ils sont supportés par de nombreuses études et essais visant à explorer les propriétés fonctionnelles, nutritionnelles et physiologiques de sources alternatives de protéines végétales ou d'autres origines.

Les capacités des industries à extraire et purifier ouvrent de grandes perspectives. Il existe, cependant, un ensemble de verrous pour augmenter la consom-

mation de protéines végétales. En tant qu'ingrédients, des défis subsistent à la fois dans la technologie (solubilité, propriétés moussantes et émulsifiantes, etc.) ainsi que dans la qualité nutritionnelle et sensorielle du produit fini (goût «vert» par exemple). Des améliorations pourraient être apportées à la fois par la génétique et les formulations, éventuellement en combinant ces différents leviers. Les protéines végétales sont certainement l'occasion de répondre aux futurs besoins mondiaux en protéines, en utilisant la complémentarité ou les associations

avec d'autres sources traditionnelles (produits animaux) ou nouvelles (algues, insectes ...). Néanmoins, d'importants efforts de recherche sont nécessaires pour faciliter leur utilisation à la fois dans les préparations domestiques et dans l'industrie alimentaire.

Références bibliographiques

1. Spiegel, V.D.M., Noordam, M.Y., Fels-Klerx, H.J. (2013). Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed, and rapeseed) and legislative aspects for their application in food and feed production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 12 (6), 662-678.
2. Lalit M. Srivastava, (2002). Seed Food Reserves and Their Accumulation - Plant Growth and Development: Hormones and Environment pp 757-772.
4. Shewry P, Pandya M (1999) The 2S albumin storage proteins. In 'Seed proteins'. (Eds P Shewry, R Casey) pp. 563-586.
5. Rundqvist L, Tengel T, Zdunek J, Björn E, Schleucher J, Alcocer MJC, Larsson G (2012) Solution structure, copper binding and backbone dynamics of recombinant Ber e 1 – the major allergen from brazil nut. *PLoS ONE* 7, e46435.
6. Mundi S., Aluko R.E. (2012). Physicochemical and functional properties of kidney bean albumin and globulin protein fractions. *Food Research International*, 48 (1), pp 299-3067.
7. Moreno FJ, Clemente A (2008) 2S albumin storage proteins: what makes them food allergens? *Open Biochemistry Journal*, 2, pp 16-28.
8. Lawrence M.C. (1999) Structural relationships of 7S and 11S globulins. *Seed proteins*, Springer.
9. Molina M.I., Petrucci S., Anón M.C. (2004). Effect of pH and Ionic Strength Modifications on Thermal Denaturation of the 11S Globulin of Sunflower (*Helianthus annuus*) *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 (19), pp 6023-6029.
10. Carbonaro M., Maselli P., Nucara A. (2012). Relationship between digestibility and secondary structure of raw and thermally treated legume proteins: a Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopic study. *Amino Acids*, 43 (2), pp 911-921.

Références bibliographiques

11. Shewry P.R., Napier J.A., Tatham A. S. (1995). Seed Storage Proteins: Structures and Biosynthesis. The Plant Cell, Vol. 7, pp 945-956.
12. Boulter, D.; Derbyshire, E. (2013). The general properties, classification and distribution of plant proteins. In Plant Proteins: Easter School in Agricultural Science; Norton, G., Ed.; Butterworth-Heinemann.
13. Denis Chereau. Société Improve. (déc 2018). Evènement Vitagora.
14. Papa Fall. Société Quality partner (oct 2017). Journée technique, «Les protéines végétales» organisée par Vitagora.
15. Gagnaire V. (Janv 2020). Journée CNIEL, «Protéines laitières et protéines

végétales : quels challenges ?».

16. Le Floch-Fouere C. (Janv 2020) Journée CNIEL, « Les poudres : du fractionnement au séchage, quels enjeux ?».
17. Ben Harb S. (déc 2017). Formuler des consortia microbiens pour piloter les propriétés sensorielles de gels à base de protéines de pois
18. CAYOT P., FINOT PA., FOUQUES D., LORIENT D., MEUNIER JC., QUILLIEN L., RERAT A., TOME D., UZZAN A. (1997). Dossier scientifique de l'IFN n°9 bis : Les protéines Tome 2 : Caractéristiques des différentes sources de protéines alimentaires.
19. Guéguen, S. Walrand, O. Bourgeois. (2015). Les protéines végétales : contexte et potentiels en alimentation humaine.
20. S. Tömösközi S., Lásztity R., Haraszi

R., Baticz O. (2001). Isolation and study of the functional properties of pea proteins Molecular nutrition, Food research. 45 (6), pp 399-401.

21. S. Ben-Harb, A. Saint-Eve, M. Panouillé, I. Souchon, P. Bonnarme, E. Dugat-Bony, F. Irlinger (2019) Design of microbial consortia for the fermentation of pea-protein-enriched emulsions. International Journal of Food Microbiology.

22. Pr Daniel Tomé (Janv 2020). Journée CNIEL, « Entre quantités et qualités des protéines – quelles méthodes de mesure ».

23. Pr Daniel Tomé, (Janv 2020). Journée CNIEL, « Protéines laitières & végétales : entre nutrition et santé ».

Stages ANFOPEIL

Thierry MICHELET, Coordinateur-Responsable pédagogique, ANFOPEIL

L'engouement pour des plats régionaux comme la raclette, les changements d'habitude pour la prise de nos repas : snacking, restauration hors domicile ... et le développement des « fromages ingrédients » en tant que Produits Alimentaires Intermédiaires, font que, depuis longtemps, le fromager s'intéresse aux propriétés fonctionnelles de ses produits. Cet aspect est devenu aussi important que l'aspect organoleptique, sanitaire ou encore nutritionnel.

L'ANFOPEIL Réseau des ENIL propose des stages en français ou en anglais à la technologie fromagère qui abordent la fonctionnalité des fromages de manière approfondie.

Stage 17 - Technologies et propriétés fonctionnelles des mozzarellas, pizza cheese et leurs analogues - 3 Jours Niveau Expertise	ENIL Mamirolle	Semaine 41 06/10 au 08/10	Caractérisation matrice fromagère type "Mozzarella" avant filage et des pâtes filées ainsi que leurs analogues - Technologies traditionnelles et process Pizza Cheese/LMMC - Maîtrise du filage Nouvelles voies de fabrication des pâtes filées - Applications pratiques
Stage 18 - Technologies et propriétés fonctionnelles des fromages à pâtes dures et semi-dures destinés aux PAI - 2 Jours Niveau Expertise	ENIL Poligny	Semaine 13 24/03 au 25/03	Préparation spécifique des laits - Choix des coagulants spécifiques - Propriétés fonctionnelles et mesure - Gestion des fermentations secondaires (propioniques) - Conduite de l'affinage - Affinage sous film - Gestion matière
Stage 19 - Technologie des fromages fondus - 3 Jours - Niveau expertise	ENIL Mamirolle	Semaine 15 07/04 au 10/04	Réglementation - Technologie de la fonte : influence et choix des matières premières et additifs, paramètres de maîtrise - Principes de rhéologie en fromagerie - Fonctionnalités recherchées et formulation - Évaluation des produits et caractérisation rhéologique
Stage 34 - Technologie de fabrication des spécialités fromagères et de fondus appliquées aux pâtes fraîches 2 Jour Niveau Expertise	ACTALIA Paris	Semaine 41 08/10	Réglementation - Technologies de fabrication des pâtes fraîches et des spécialités fromagères et fondus à partir de pâtes fraîches - Matières premières et auxiliaires technologiques - Matériels - Points critiques - Travaux pratiques

NB : Les descriptifs complets des stages sont disponibles sur notre site : www.anfopeil-enil.fr

N'hésitez pas à contacter le Réseau ANFOPEIL pour toute demande de formation « à la carte » sur ces thématiques ou d'autres.

Continuité pédagogique pour les salariés des entreprises laitières

Le printemps 2020 restera dans les annales, la situation sanitaire inédite que nous avons connue marquera nos esprits pour bien longtemps. Le confinement et les restrictions de déplacements ont impacté nos vies personnelles et professionnelles.

La formation des jeunes dans les ENIL a été bouleversée. Les élèves, étudiants et apprentis ont quitté les établissements, les enseignants ont dû trouver de nouvelles modalités pédagogiques pour maintenir le lien et poursuivre les enseignements.

L'ANFOPEIL – Réseau des ENIL a dû aussi s'adapter à la nouvelle donne ! Certaines formations à destination de salariés en télétravail ou intégrés à des parcours certifiant en alternance (CQP) se sont poursuivies malgré l'impossibilité de se réunir.

Les modules de formation à distance (dispositif Webalim™), des visio-conférences et classes virtuelles animées par des formateurs, des travaux en entreprise encadrés par des formateurs / tuteurs internes, des travaux inter-session à rendre ... ont été autant de modalités pédagogiques mises

en œuvre par les équipes ANFOPEIL – Réseau des ENIL.

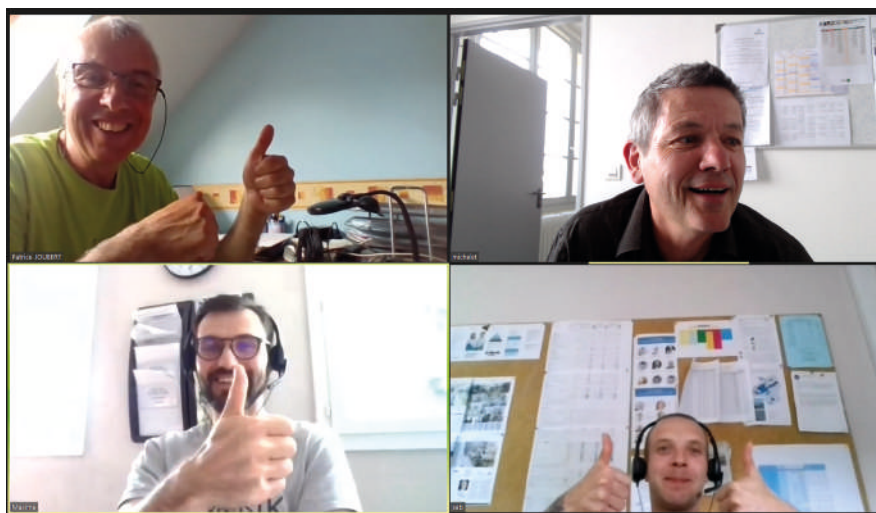
Les journées étaient scindées en créneaux d'1h30 à 2h permettant d'alterner les activités, de maintenir la dynamique et l'attention des stagiaires. L'utilisation de supports spécifiques créés par les formateurs, de différents logiciels de visio-conférence, tableaux partagés, questionnaires en ligne ... et de plateformes LMS⁽¹⁾ ont permis une continuité pédagogique tout à fait correcte au dire des stagiaires, formateurs et entreprises.

Ce fut en particulier le cas à Landerneau où l'entreprise coopérative Laïta a tenu à poursuivre le parcours engagé et a donc équipé les stagiaires de PC portables, casques et micros pour une semaine de formation à distance. Ci-dessous une « copie d'écran » prise lors de la réunion bilan. De bas en haut : Maxime ARGALON et Sébastien COAT (préparant un CQP Pilote d'installation Automatisée), Patrice JOUBERT (Formateur) et Thierry MICHELET (Coordinateur).

⁽¹⁾ Learning Management System

Echo côté formateur:

- Interactivité facile
- Stagiaires positifs, volontaires qui ont été facilitateurs
- Frustré de ne pas aller sur le terrain avec les stagiaires
- Programme initial modifié à plusieurs reprises pour s'adapter à la situation
- Tuteur en entreprise n'a pas été sollicité (stagiaires autonomes)



Echo côté stagiaires:

- Pas de difficultés pour suivre les cours en visio
- Bonne entraide entre stagiaires
- Formation intéressante
- Problème d'écho gênant lorsque la discussion implique tout le groupe
- Difficulté pour partager des écrits sur papier avec le formateur

**«BILAN
DE LA SEMAINE :
OPÉRATION RÉUSSIE !»**



PROPRIÉTÉS FONCTIONNELLES

REVUE DES **enil**

WEBALIM 2.0 : Une solution de formation à distance pour vos salariés



Intégrée dans la toile internet depuis 2008, portant son nom de marque depuis 2013, Webalim est la plateforme d'enseignement et de formation à distance créée par le réseau des écoles nationales d'industrie laitières (ENIL) afin de permettre à leurs étudiants, aux futurs professionnels et professionnels du secteur laitier de se former et de développer leurs compétences.

DEPUIS 2018 : DES MODULES ACTUALISÉS CONSULTABLES SUR TOUS SUPPORTS

L'ensemble des modules de formation est accessible sur tout support : ordinateur, tablette, smartphone. Les contenus pédagogiques de ces modules ont fait l'objet d'une actualisation.

QUEL SAVOIR PEUT-ON ACQUÉRIR AVEC LES MODULES WEBALIM ?

83 modules en français (et 35 en anglais) sont mis à disposition des apprenants dans les domaines essentiels du secteur laitier :

- Process laitier
- Technologie laitière et fromagère
- Installation et équipement industriels
- Qualité, Hygiène, Sécurité, Environnement
- Biochimie alimentaire
- Microbiologie alimentaire
- Méthode de conservation des aliments



CONTENU DES MODULES DE FORMATION WEBALIM

Un module Webalim est une formation préparée par des formateurs enseignants spécialisés des ENIL qui ont condensé l'essentiel des connaissances sur le sujet en 2h à 3h (en moyenne) d'apprentissage en ligne.

Un module Webalim dispose :

- Des objectifs pédagogiques de la formation
- Un découpage du module en séquences de formation interactives (4 à 8 séquences)
- Une auto-évaluation finale
- Une fiche activité à télécharger donnant à l'apprenant des activités/ tâches à réaliser dans l'entreprise pour mettre en application ce qu'il a appris dans le module de formation
- Des supports de formation à télécharger et pouvant être conservés à l'issue de la formation

ACCESSIBILITÉ DE WEBALIM

Les modules de formation Webalim sont disponibles 24h sur 24h, 7 jours sur 7, sur tout appareil connecté à Internet utilisé par un apprenant qu'il soit chez lui, dans son établissement de formation ou sur son lieu de travail.

Site internet : enil.eformation.info

- Démonstration sur le site
- Se connecter à la plateforme de formation et saisir identifiant : DEMO / Mot de passe : DEMO
- Pour toutes demandes d'informations : accueil@anfopel-enil.fr





LE RÉSEAU ANFOPEIL



ENIL
25620 MAMIROLLE
Tél. 03 81 55 92 00

Conseillère Formation :
I. FRIMOUT
E-mail : isabelle.frimout@educagri.fr



ENILBIO
39801 POLIGNY
Tél. 03 84 73 76 76

Conseillère Formation :
I. FRIMOUT
E-mail : isabelle.frimout@educagri.fr



ACTALIA
01000 BOURG-EN-BRESSE
Tél. 04 92 34 71 86

Conseillère Formation :
S. FONTAINE
E-mail : s.fontaine@actalia.eu



ANFOPEIL
39800 POLIGNY
Tél. 03 84 37 27 24

accueil@anfopeil-enil.fr



ENIL
50620 LE HOMMET D'ARTHENAY
Tél. 02 33 77 80 82

Conseillère Formation :
A. DESCHENES
E-mail : agnes.deschenes@educagri.fr



ENILIA
17700 SURGÈRES
Tél. 05 46 27 69 00

Conseiller Formation :
E. AUDEBERT
E-mail : emmanuel.audebert@educagri.fr



ENILV
15000 AURILLAC
Tél. 04 71 46 26 60

Conseillère Formation :
C. ARSAC
E-mail : celine.arsac@educagri.fr



ENILV
74805 LA ROCHE-SUR-FORON
Tél. 04 50 03 47 13

Conseillère Formation :
ML. LUPO-TARDIVEL
E-mail : Marie-laurence.lupo-tardivel@enilv.fr

Membres du réseau des ENIL

enil
Le Réseau
des Ecoles Nationales
d'Industrie Laitière

