

Nouvelle ère pour la protéine:

Pourquoi les produits laitiers U.S. réussissent sur le marché de la protéine



Les consommateurs exigent à présent plus d'infos sur l'origine et la production de leurs aliments pour se sentir satisfaits de ce qu'ils consomment. Dès 2017, 40% des consommateurs U.S. cherchent aliments et boissons qui aident à gérer leur santé holistiquement.¹ 78% des consommateurs U.S. voient que la protéine contribue à une alimentation saine, et la moitié souhaite en avoir plus dans leur aliments.² Ainsi, le fait que la population globale atteindrait 9,8 milliards en 2050, crée des incertitudes sur la future sécurité d'approvisionnement et le besoin d'ingrédients protéiques durables.³ La demande croissante de protéines pousse les multinationales agroalimentaires à diversifier l'approvisionnement en protéines et l'identification, isolation et caractérisation de protéines de sources variées ont mené à plus de 300 dépôts de brevets sur la fonctionnalité et applications alimentaires des protéines entre 2012 et 2017.⁴

Divers types de protéines animales, végétales et unicellulaires sont promus pour l'utilisation dans les aliments et boissons. Devant cette multitude de choix, les formulateurs doivent bien s'informer avant d'élaborer leurs solutions agroalimentaires, car il est essentiel de choisir le bon ingrédient protéique pour offrir le goût, apparence, fonction et attributs nutritionnels consistants requis par le consommateur. Les protéines ne sont pas toutes identiques et ce rapport explique comment les ingrédients de protéines de lait et de lactosérum comblent les besoins particuliers du formulateur d'ingrédients alimentaires d'origine sûre, nutritifs, fonctionnels, attirants, délicieux, versatiles et produits durablement.



Le saviez-vous?

La contribution unique des vaches à notre système alimentaire global nous offre des nutriments vitaux, tout en utilisant efficacement les aliments non comestibles et fertilisant le sol. Les points clés tirés du rapport sont comme suit:

Produits durablement – Soins et gestion bovins inégalés font des USA le leader mondial de la production laitière, réduisant le bilan carbone en promouvant des initiatives de durabilité.

Fabrication – les protéines laitières sont naturellement solubles dans l'eau et requièrent donc moins d'étapes de fabrication que d'autres sources à base de plantes/noix.

Nutrition – Les protéines naturellement présentes dans le lait sont de qualité inégalée et offrent des avantages à tous stades de la vie:

- Réduisent le rachitisme chez les populations vulnérables
- Fournissent une nutrition critique à la santé infantile et maternelle

- Soutiennent la gestion du poids
- Améliorent la récupération après l'activité physique
- Aident à l'entretien musculaire pour un vieillissement sain

Fonctionnalité/propriétés organoleptiques – aucune autre protéine n'offre ce spectre de fonctionnalité avec une liste simple d'ingrédients et une saveur neutre désirée par les consommateurs.

Flexibilité d'emploi – il y a un ingrédient laitier adapté à presque toute application.

Sécurité de l'approvisionnement – production U.S. 24/7 et assurance qualité rigoureuse assurent la livraison d'ingrédients laitiers de qualité.

PRODUITS DURABLEMENT: L'ENGAGEMENT DES PRODUCTEURS LAITIERS U.S.

Les fermiers U.S. ont longtemps utilisé technologie et pratiques de gestions avancées pour améliorer l'efficacité et réduire leur impact environnemental. L'U.S. Environmental Protection Agency (EPA) affirme qu'en 2030 la production U.S. de bétail totale (tous les animaux, viande et produits laitiers) constituera 14% des émissions de gaz à effet de serre (GES), par rapport à la production énergétique (31%), le transport (27%) et les terres cultivées (13%).⁵

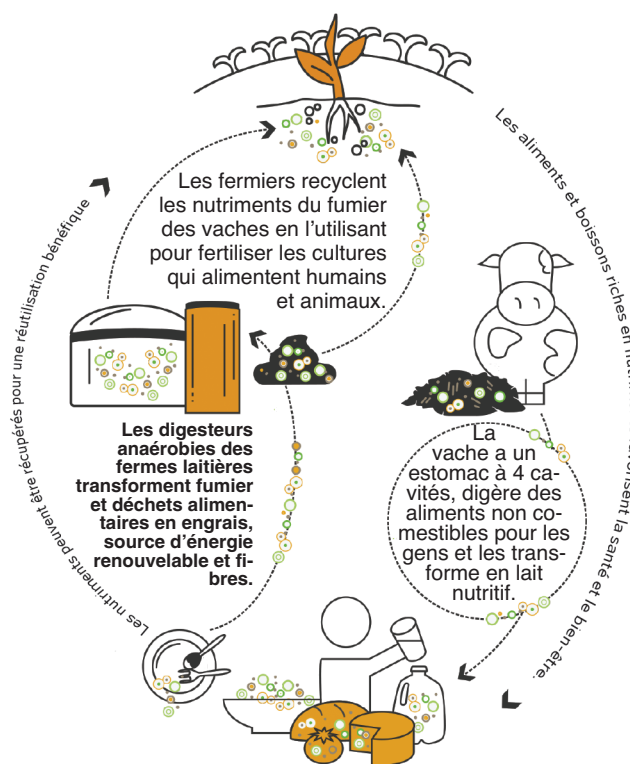
En 2008, les producteurs laitiers US ont formé l'Innovation Center for U.S. Dairy pour évaluer, gérer et améliorer continuellement la durabilité environnementale, sociale et économique des produits laitiers US de la fourche à la fourchette. Des évaluations du cycle de vie (ECV) ont été conduites pour saisir les impacts environnementaux de la production, fabrication et transport laitiers. L'industrie laitière U.S. ne produit que 2% des émissions de GES, 5% de la consommation d'eau et 9% de l'utilisation des terres.⁶ Le progrès des pratiques de gestion et d'agriculture entre 1950 et 2017 a permis de produire 60% plus de lait en trayant 16 millions de vaches en moins, réduisant ainsi le bilan carbone de 66%.⁷ Les recherches continuent à identifier de nouvelles pratiques et technologies pour réduire davantage ces incidences.

Plus de 97% des fermes laitières U.S. sont des sociétés familiales souvent transmises de générations en générations. Les fermiers U.S. abritent et alimentent leurs vaches en harmonie avec leurs ressources régionales et les conditions météorologiques⁸ et œuvrent toute l'année pour assurer le confort des vaches en leur offrant abri, alimentation saine équilibrée, ventilateurs, brumisateurs, litière de sable/eau, etc., car les vaches bien soignées produisent plus de lait, plus efficacement.

La vache laitière est un recycleur de nutriments et environ 80% de son alimentation n'est ni comestible ni digestible pour les humains. Tout le monde sort donc gagnant; les vaches mangent la tige de maïs entière, la coque d'amande et de graine de coton alors que les humains mangent le maïs et l'amande et portent les t-shirts, réduisant les déchets acheminés à l'enfouissement. Les humains bénéficient aussi de l'excellente alimentation que la vache transforme en lait riche en nutriments dans son estomac à quatre compartiments. Bien que 20% environ de l'alimentation de la vache soit constitué de ce que l'être humain pourrait manger (éléments digestibles par les humains), 2% seulement est constitué par ce que les humains voudraient manger (selon la demande du secteur agroalimentaire ou la consommation désirée).⁹

Pour compléter le cycle de durabilité, la vache produit du fumier riche en nutriments pour fertiliser le sol et le laisser en bon état pour le futur. Une vache laitière U.S. produit 64 litres de fumier chaque jour, une quantité suffisante pour cultiver 20 kg de maïs, en se basant sur un sol de qualité moyenne et une vache laitière dans l'Illinois.¹⁰

FIGURE 1: CONTRIBUTION DU SECTEUR LAITIER À LA DURABILITÉ



Source: L'U.S. Dairy Sustainability Commitment. USdairy.com: 2014

Fabrication: Les avantages de la façon dont les protéines sont issues du lait

Vu la nature périssable du lait, sa conversion en produits et ingrédients laitiers a lieu peu après la traite dans des installations voisines. A la différence d'autres sources alternatives de protéines, les protéines laitières sont séparées d'un liquide soluble et n'exigent ni fraisage, ni apports chimiques additionnels pour rester en solution. Les étapes réduites de fabrication et de transport permettent à l'industrie laitière U.S. d'offrir au secteur agroalimentaire des ingrédients laitiers nutritifs, accessibles, de haute qualité et sûrs.

Les protéines de lait sont formées de 80% de caséine et 20% de protéine de lactosérum. On utilise l'eau pour filtrer protéines, graisses et hydrates de carbones à travers des membranes, selon leur taille. Après la séparation,

les composantes des protéines sont concentrées et séchées en ingrédients plus riches en protéines avec différents taux de caséines et de protéines de lactosérum [concentré de micelles de caséine (MCC), isolat de protéines de lait (MPI), concentré de protéines de lait (MPC), ou protéine de lactosérum de lait (lactosérum autochtone)] qui ont des attributs fonctionnels uniques.^{11, 12} La protéine de lactosérum issue du fromage peut aussi être filtrée et concentrée en isolat de protéines de lactosérum (WPI) ou en concentré de protéines de lactosérum (WPC).¹³

FIGURE 2 : PROTÉINES ISSUES DU LAIT

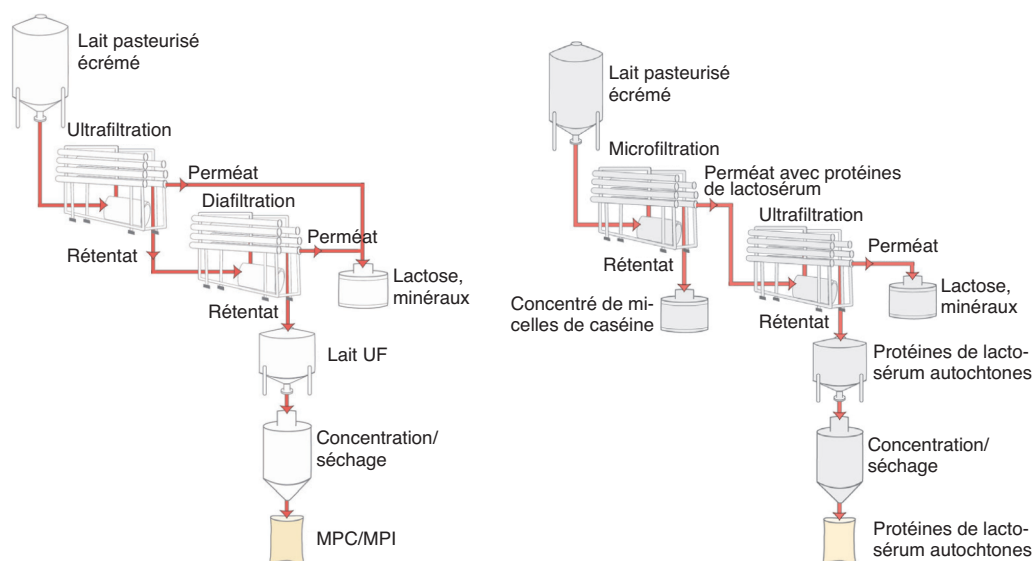
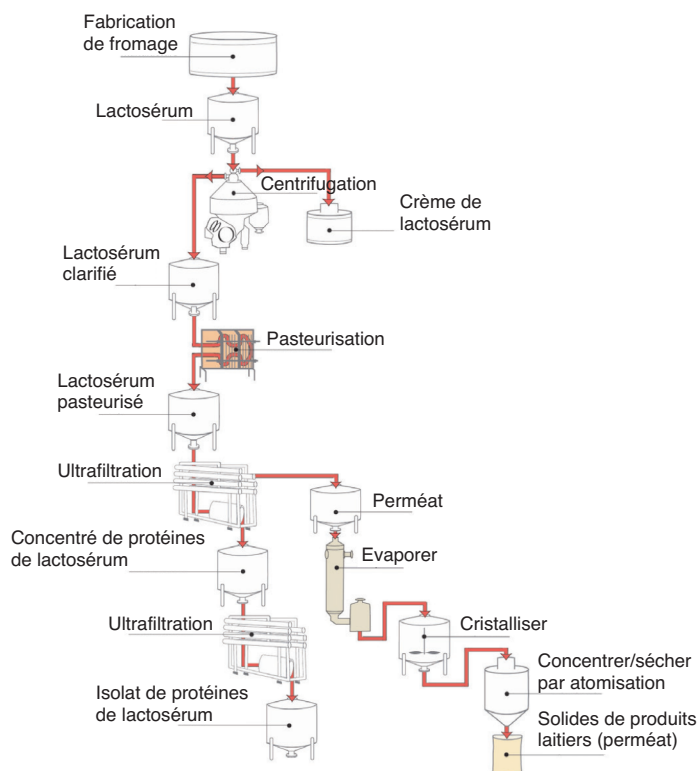


FIGURE 3: PROTÉINES ISSUES DU FROMAGE



Source: Smith K. 2017. Dried Dairy Ingredients, 2^{ème} édition. Le Wisconsin Center for Dairy Research.

Vu que cette filtration utilise de l'eau et des membranes, une grande part de l'eau retirée du lait peut être filtrée et recyclée pour le nettoyage ou purifiée davantage pour être retournée à la nature comme eau potable.

Nutrition: La qualité de la protéine est importante

Le lait de vache a longtemps nourri l'être humain. Dès le XVII^e siècle, les premiers immigrants aux USA amènent du bétail avec eux d'Europe pour assurer la survie de leurs familles à travers le lait et la viande.¹⁴ En 2016, le lait de vache et ses produits sont le 3^{ème} plus grand fournisseur de protéines et le 5^{ème} plus grand fournisseur de calories, nourrissant plus de 6 milliards de personnes partout au monde.¹⁵

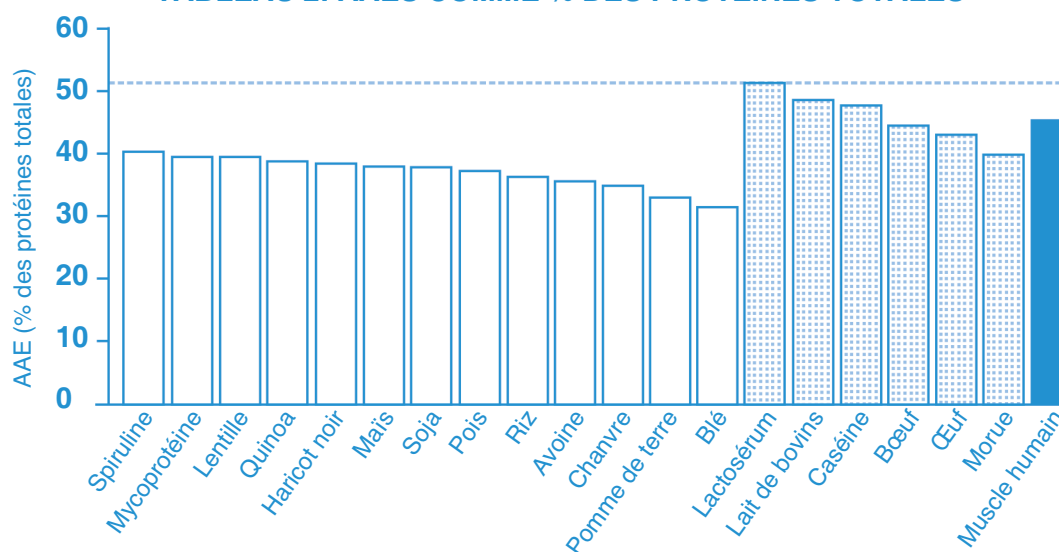
La qualité des protéines est un facteur clé pour la sélection d'ingrédients riches en protéines. La protéine joue un rôle intégral dans la structure, fonction et régulation des tissus et organes du corps qui peut produire les protéines dont il a besoin, seulement si les acides aminés essentiels (AAEs) sont présents dans la nourriture consommée. Tous les aliments animaux et la plupart des aliments végétaux contiennent une certaine quantité de protéines, mais les protéines ne sont pas identiques et diffèrent en la quantité d'AAEs qu'elles offrent, leur digestibilité et biodisponibilité. La quantité requise pour optimiser la synthèse de protéines du muscle peut varier selon la personne et le type (qualité) de la protéine consommée. La protéine de haute qualité comprend tous les AAEs (indispensables) en quantités requises par le corps, et conserve la biodisponibilité et la digestibilité rapide;¹⁶ exigences satisfaites par les protéines laitières.

Tableau 1: Acides aminés (AAs) essentiels et non essentiels

Essentiels	Indispensables sous certaines conditions	Non essentiels
Histidine	Arginine	Alanine
Isoleucine	Cystéine	Acide aspartique
Leucine	Glutamine	Asparagine
Lysine	Glycine	Acide glutamine
Méthionine	Proline	Sérine
Phénylalanine	Tyrosine	
Thréonine		
Tryptophane		
Valine		

Source: L'Institute of Medicine. 2006. Apports nutritionnels de référence: Le guide essentiel des besoins en nutriments [Dietary Reference Intakes: The Essential Guide to Nutrient Requirements].

TABLEAU 2: AAES COMME % DES PROTÉINES TOTALES



Source: van Vilet, S., Burd, N.A. et van Loon, L.J.C. 2015. The Skeletal muscle anabolic response to plant- versus animal-based protein consumption. Le J Nutr.

Les sources de protéines varient selon leur teneur en AAEs. Les sources animales sont en général plus riches en AAEs que les sources végétales, comme pourcentage des protéines totales, et les protéines laitières sont les plus riches en AAEs.¹⁷ Les faits scientifiques révèlent que les avantages santé des régimes plus riches en protéines semblent meilleurs si les protéines consommées sont entières et de haute qualité.^{18, 28} Aux USA, le paramètre actuel de la qualité protéique est l'indice d'acides aminés, corrigé en fonction de la digestibilité (PDCAAS).¹⁹

La qualité des protéines varie selon leur teneur en AAs, digestibilité et biodisponibilité. Les protéines animales sont entières et de haute qualité car elles contiennent tous les AAes. Les protéines végétales, sauf la protéine de soja, sont normalement de qualité inférieure et incomplètes dû aux carences en AAes qui ne satisfont pas les besoins du corps humain. Les protéines de lait de vache (lactosésum, caséine) ont le plus haut score de qualité protéique qui est 1,0.

Bien qu'elle soit la méthode de référence actuelle reconnue par les autorités globales, dont la FAO, le PDCAAS a ses limitations. De un, les valeurs sont calculées à partir de la digestibilité totale du tube (digestibilité fécale) des protéines brutes, malgré que la digestibilité des AAs est le plus correctement déterminée à la fin de l'intestin grêle (iléon), car il est le seul capable de les absorber et la fermentation de l'intestin postérieur peut affecter l'excrétion fécale des AAs. De deux, la digestibilité des protéines brutes n'est pas représentative de la digestibilité de tous les AAs, car les AAs individuels sont digérés avec efficacités différentes. De trois, les scores sont tronqués à 1,0. Certaines protéines, notamment les protéines laitières, ont des scores non tronqués > 1, ce qui empêche la distinction de la valeur relativement élevée des protéines de haute qualité. De quatre, la transformation alimentaire, qui peut parfois réduire la biodisponibilité des AAs, n'est pas tenue en compte. Ensemble, ces limitations font que le PDCAAS sous-estime la valeur des protéines de haute qualité et surestime celle des protéines de qualité inférieure.^{19, 20,21}

Devant les limitations du PDCAAS, la FAO a réuni un groupe d'experts pour régler le problème; leur recommandation exige la substitution du PDCAAS par une autre méthode d'évaluation de la qualité protéique: DIAAS ou score des acides aminés indispensables digestibles,²² qui tient compte de certaines des limitations du PDCAAS, dont l'évaluation de la qualité protéique à partir de la digestibilité réelle des AAs par l'iléon (intestin grêle) (non pas le calcul des scores de protéines brutes au long du tractus intestinal), la correction des variations de la qualité protéique dues à la transformation alimentaire, et l'élimination de la troncation des scores à 1,0. Plus d'études sont requises pour saisir la qualité des nouvelles sources protéiques alternatives.

TABLEAU 3: PDCAAS D'ALIMENTS PROTÉIQUES CONNUS

Source	PDCAAS
Lait	1,00
Lactosérum	1,00
Œuf	1,00
Isolat de protéines de soja	1,00
Caséine	1,00
Bœuf	0,92
Soja	0,91
Pois	0,67
Avoine	0,57
Blé entier	0,45

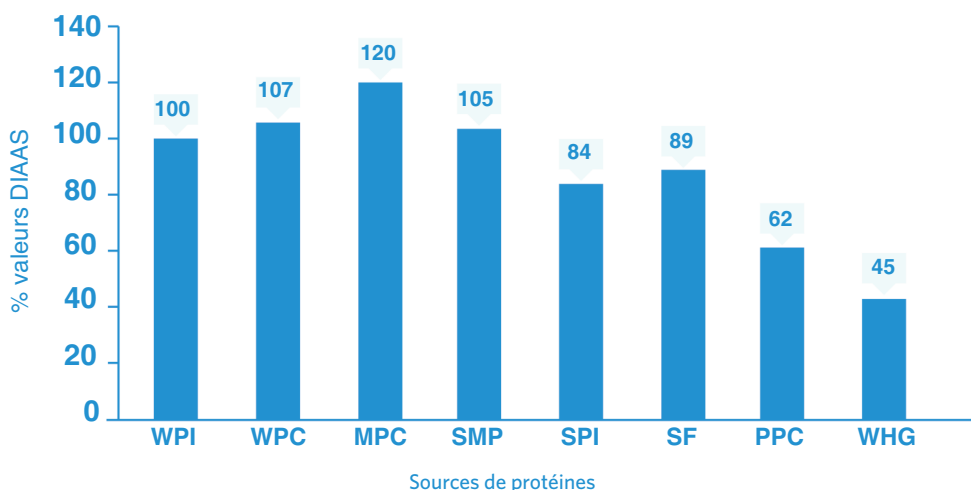
Source: van Vilet, S., Burd, N.A. et van Loon, L.J.C. 2015. *The Skeletal muscle anabolic response to plant versus animal-based protein consumption*. Le J Nutr.

DIFFÉRENCES ENTRE L'ÉVALUATION NUTRITIONNELLE DES PDCAAS ET DIAAS

L'indice d'acides aminés, corrigé en fonction de la digestibilité (PDCAAS)	Le score des acides aminés indispensables digestibles (DIAAS)
Basé sur la digestibilité fécale	Basé sur la digestibilité d'AAs par l'iléon, favorable par rapport à la digestibilité fécale car les AAs ne sont absorbés que par l'intestin grêle et la fermentation de l'intestin postérieur via microbiote peut affecter l'élimination fécale des AAs
Basé sur la digestibilité de la protéine brute sans tenir compte du fait que les AAs individuels sont digérés avec des efficacités différentes	Basé sur la digestibilité d'AAs individuels, et tient compte des différences dans la digestibilité d'AAs individuels
Troncation des scores à 1.	Pas de troncation des scores
Ne permet pas de distinguer la valeur relative des protéines de haute qualité (scores non-troncqués >1,0)	Permet de distinguer la valeur relative des protéines de haute qualité (scores >1,0) donnant ainsi du mérite à une protéine selon sa valeur comme source complémentaire d'AAs avec d'autres sources protéiques dans un régime mixte
L'effet de la transformation alimentaire qui pourrait affecter la biodisponibilité d'AAs spécifiques n'est pas tenu en compte	Comprend une modification de score pour transformation alimentaire
L'utilisation des exigences en AAs des enfants de 1 à 2 ans pour évaluer les valeurs de PDCAAS de tous	Utilise les exigences d'évaluation d'AAs pour plusieurs groupes d'âge

Source: Mathai, JK et al., le Br J Nutr 2017 et Rutherford, SM et al., le J Nutr 2015.

TABEAU 4: QUALITÉ DES SOURCES DE PROTÉINES COMMUNES EXPRIMÉE EN POURCENTAGE DU SCORE DES ACIDES AMINÉS INDISPENSABLES DIGESTIBLES (DIAAS)



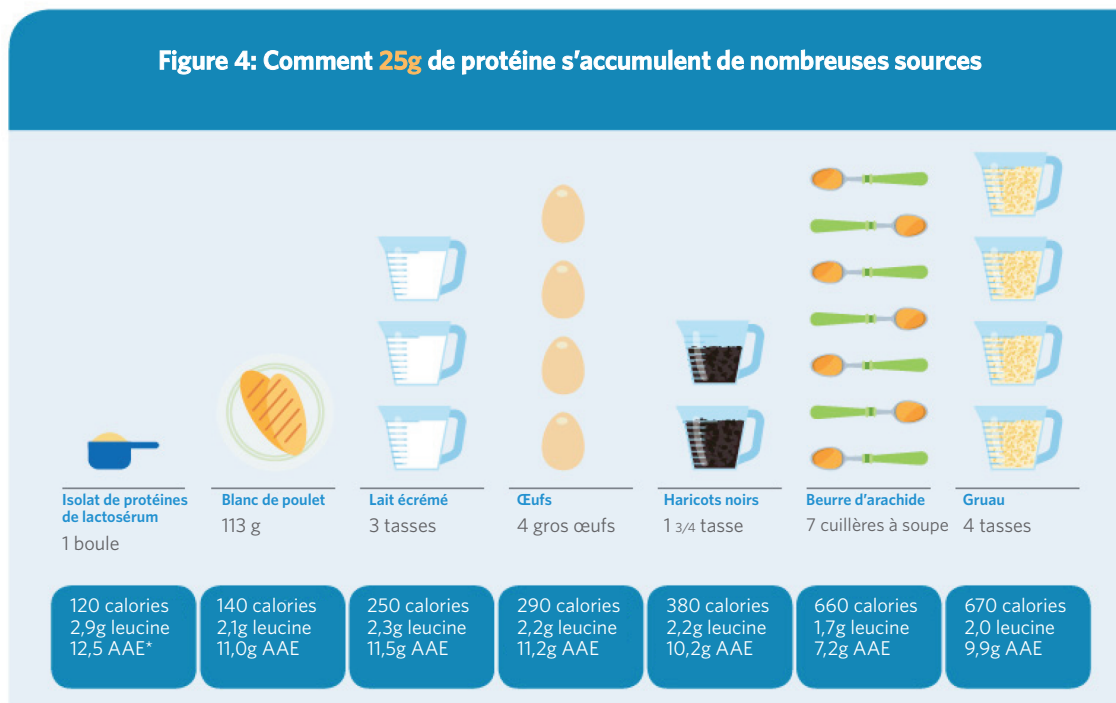
Clé: WPI – isolat de protéines de lactosérum; WPC = concentré de protéines de lactosérum; MPC= concentré de protéines de lait; SMP = Lait écrémé en poudre (LEP); SPI= isolat de protéines de soja; SF= farine de soja; PPC= concentré de protéines de pois; WHG= blé entier.

Source: Mathai JK, Liu Y, Stein HH. Le Brit J Nutr. 2017

COMMENT LE CORPS HUMAIN UTILISE LA PROTÉINE

Le corps humain transforme la protéine en AAs qu'il absorbe et utilise ultérieurement. Les AAEs sont nécessaires pour la synthèse de protéines du muscle (MPS) afin de créer, développer et réparer les tissus du corps. Cependant, les acides aminés à chaîne ramifiée (BCAAs), la leucine, l'isoleucine et la valine jouent un rôle particulièrement important dans le métabolisme musculaire. La leucine est l'AA clé stimulant l'initiation de la MPS et les sources protéiques animales contiennent normalement plus de leucine que les protéines végétales dont la plupart a une teneur en leucine de 6-8% alors que les sources animales ont en général une teneur en leucine de 8,5-9% et >10% pour les protéines laitières.¹⁷ Les sources protéiques riches en AAEs, BCAAs et leucine sont donc préférées quand on cherche à optimiser ou maximiser la MPS pour maintenir la force et la performance.^{23, 28}

Figure 4: Comment 25g de protéine s'accablent de nombreuses sources



Source: Whey Protein Isolate Nutrition Panel. Disponible sur: <http://www.gnc.com/whey-protein/GNCPProPerformance100Wheylsolate.html>. USDA National Nutrient Database for Standard Reference, édition 28. 2016. Disponible sur <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>.

LE DOUBLE FLÉAU DE LA MALNUTRITION

Le monde se préoccupe de plus en plus de l'impact de la dénutrition et la suralimentation sur les gens au long de leur vie. En 2017, plus de 815 millions de gens se sont couchés affamés.²⁴ Selon l'UNICEF, 156 millions d'enfants de < 5 ans souffrent de rachitisme (trop petits pour leur âge) et 52 millions de cachexie (trop maigres pour leur taille).²⁵ Plus de 462 millions d'adultes souffrent d'insuffisance pondérale et plus d' 1,9 milliards sont obèses ou présentent une surcharge pondérale.²⁶ Alors, vu que les protéines laitières sont de haute qualité, leur usage par ces segments de la population peut être bénéfique selon maintes études publiées. Les résultats de 6 études cliniques sur des enfants de ≥6 mois ont été évalués pour voir la relation entre la qualité des protéines, la croissance linéaire et la prévention du rachitisme et l'on a conclu que, surtout parmi les enfants mal nourris, les protéines laitières sont associées avec une croissance plus élevée.²⁷

La masse musculaire squelettique des adultes résulte d'une série continue et simultanée de MPS et MPB (dégradation des protéines musculaires) dont le bilan net indique si la masse musculaire augmente (bilan protéique positif), diminue (bilan protéique négatif) ou reste constante. Le taux de MPS et MPB peut être influencé par plusieurs facteurs, dont le déficit énergétique, l'exercice de résistance et le vieillissement. Après un repas contenant des protéines, de courtes périodes d'hyperaminoacidémie stimulent la MPS et l'hyperinsulinémie empêche la MPS, résultant en un bilan protéique positif. La réponse différentielle de la MPS à l'alimentation protéique dépend de la qualité de la protéine consommée.

Les protéines laitières, surtout les protéines de lactosérum, peuvent stimuler la plus grande hausse en MPS si combinées avec l'exercice de résistance et optimisent la composition corporelle, comparées à d'autres sources protéiques que la viande.^{23, 28} Maximiser la masse musculaire au long de la vie est clé pour optimiser la santé générale à mesure que le corps vieillit. Une méta-analyse de 14 essais cliniques appuie la supplémentation en protéines de lactosérum avec exercices de résistance ou dans un régime de perte ou de maintien de poids, pour améliorer la composition corporelle.²⁹

TABLEAU 5: QUANTITÉ DE PROTÉINES ALIMENTAIRES POUR THÉORIQUEMENT MAXIMISER LA SYNTHÈSE POSTPRANDIALE (APRÈS UN REPAS) DES PROTÉINES DU MUSCLE

Source	Leucine, % protéine totale	Quantité représentative de protéines par repas pour ~3g de leucine, en g	Quantité représentative de source alimentaire par repas, g
Maïs	12,3	25	264
Spiruline	8,5	35	63
Haricots verts	8,4	36	167
Riz	8,2	37	500
Soja	8,0	38	104
Lentilles	7,9	39	150
Pois	7,8	39	180
Avoine	7,7	35	236
Quinoa	7,2	43	302
Chanvre	6,9	45	121
Blé	6,8	45	299
Mycoprotéine	6,2	49	447
Pomme de terre	5,2	58	2891
Source Animale			
Lactosérum	13,6	23	27
Lait	10,9	28	876
Caséine	10,2	30	35
Bœuf	8,8	35	164
Œuf	8,5	36	5
Morue	8,1	38	211

La quantité de source protéique requise pour maximiser les taux de MPS post-exercice en réponse à l'alimentation dans les sujets jeunes. Les données sont classées du contenu de leucine le plus élevé au plus faible. Un contenu élevé requiert une quantité plus petite de protéines d'une source donnée pour optimiser les taux de MPS postprandiale. La 3^{ème} colonne représente une valeur théorique et utilise la protéine de lactosérum comme référence. Les quantités de protéines représentent la quantité requise pour égaler la teneur en leucine de 23g de protéines de lactosérum (~3g). Les quantités représentatives pour le lactosérum et la caséine supposent des sources isolées, alors que les autres sources protéiques sont exprimées comme quantités représentatives de la source alimentaire intacte. MPS, synthèse des protéines du muscle. Nombre d'œufs

Source: van Vilet, S., Burd, N.A. et van Loon, L.J.C. 2015. The skeletal muscle anabolic response to plant-versus animal-based protein consumption. Le J Nutr.

Vu que le nombre d'adultes âgés de ≥ 60 ans va s'élever globalement de 962 millions en 2017 à environ 2,1 milliards en 2050, la perte de la masse musculaire associée au vieillissement, la sarcopénie, peut affecter négativement la capacité de ces individus à accomplir des tâches quotidiennes.³⁰ La National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES) montre que les âgés ne consomment pas les quantités adéquates de protéines et que les apports pourraient être déviés vers le diner, ce qui les prédispose à une dénutrition en énergie-protéines.³¹ Les repas riches en protéines peuvent stimuler la MPS; mais les âgés sont moins sensibles aux effets stimulateurs de la protéine sur la MPS.³² Consommer plus de protéines de haute qualité paraît préserver la masse musculaire chez les âgés.²⁸ Consommer plus d'aliments riches en protéine animale, seuls et surtout avec un style de vie actif physiquement, a aussi été associé au maintien de la masse musculaire et de la performance fonctionnelle chez les âgés.³³

Certains produits végétaux (soja, pois, riz) contiennent des facteurs antinutritionnels dont l'élimination exige un traitement additionnel qui affecterait la digestibilité et la disponibilité de la leucine, par rapport à la protéine de lactosérum.¹⁷ D'où, de plus grandes quantités de protéines végétales seraient nécessaires pour obtenir les mêmes résultats cliniques.^{17, 34}

FONCTIONNALITÉ: PROPRIÉTÉS OPTIMISANT LA PERFORMANCE

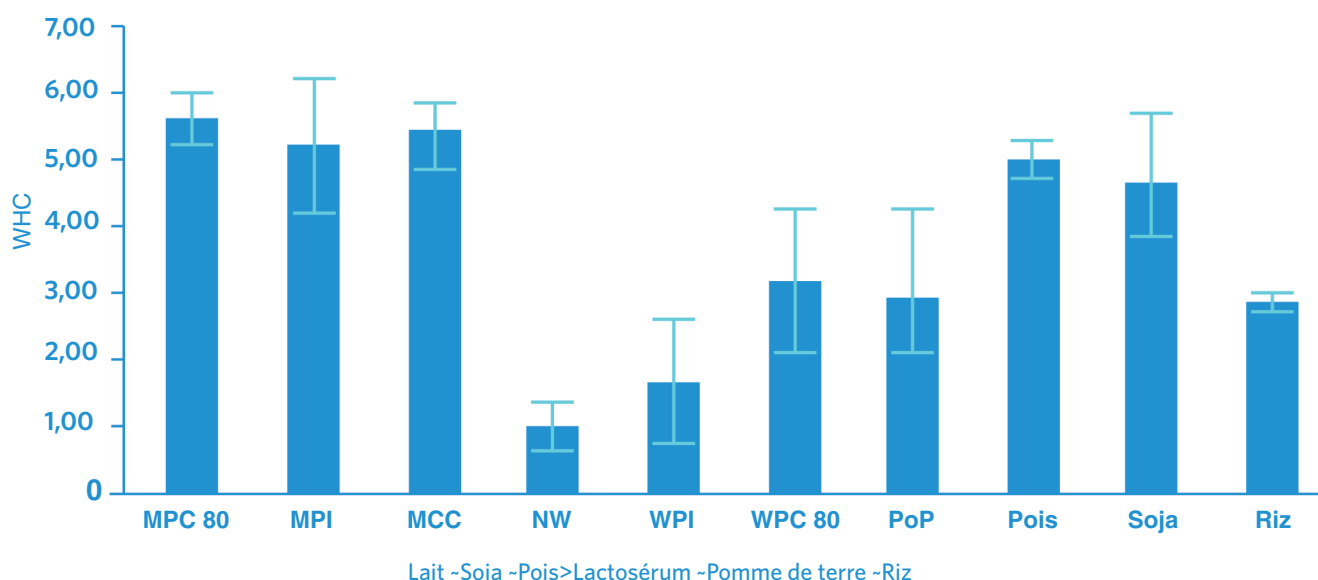
La sélection des ingrédients influence les attributs sensoriels et fonctionnels qui font du produit une source de plaisir. Une étude³⁵ menée en 2017 pour caractériser, comparer et opposer les attributs sensoriels et fonctionnels d'une variété de sources de protéines animales et végétales sur le marché, a évalué 30 échantillons commerciaux d'ingrédients de protéines de MPI, MPC 80%, MCC, protéines de lactosérum de lait (lactosérum autochtone), WPI, WPC 80%, protéines de pomme de terre 77-89%, protéines de pois 70-76%, protéines de soja 80-90% et protéines de riz 83%.

L'apparence, pH (5 - 7), viscosité, gélification, stabilité de l'émulsion, et moussage des protéines varient selon le lait, sources végétales et lactosérum utilisés; les plus grandes différences sont notées dans la WHC et la stabilité thermique.

CAPACITÉ DE RÉTENTION D'EAU (WHC)

C'est la capacité d'un ingrédient d'absorber et maintenir l'eau ou l'humidité. La WHC est un élément clé pour boissons, produits de boulangerie, viande transformée, sauce, soupe, jus de viande et desserts glacés où le formulateur ne veut pas de séparation d'eau dans le produit fini.

TABLEAU 6: LA CAPACITÉ DE RÉTENTION D'EAU



Méthodologie: Neumann et al., 1984.

Clé: Isolat de protéines de lait = MPI, Concentré de protéines de lait = MPC 80, Concentré de micelles de caséines = MCC, protéines de lactosérum de lait /lactosérum autochtone = NW, isolat de protéines de lactosérum= WPI, concentré de protéines de lactosérum= WPC 80, protéines de pomme de terre= PoP, protéines de pois= Pois, protéines de soja= soja, protéines de riz= riz

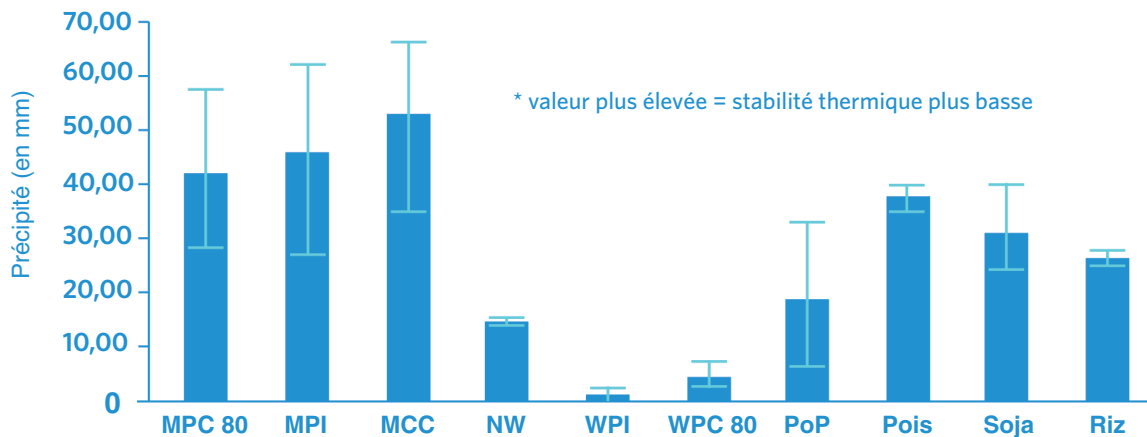
Source: Kapoor, R., Burrington, K.J., Jiang, H., Larson, S., Drake, M.A. 2017. Characterization of functional and sensory properties of select commercial food protein ingredients [Caractérisation des propriétés fonctionnelles et sensorielles d'ingrédients protéiques commerciaux déterminés]. La conférence internationale sur le lactosérum, Chicago.

Les protéines de lait, soja et pois ont des WHCs ($p < 0,05$) beaucoup plus élevées que les protéines de lactosérum, pomme de terre ou riz. Le pH et traitement thermique avant le conditionnement peuvent affecter le rendement protéique dans le produit fini. Ces attributs sont surtout importants dans les boissons prêtes à boire.

STABILITÉ THERMIQUE

Les 4 types de base de pasteurisation thermique sont: l'autoclave, remplissage à chaud, pasteurisation-tunnel et aseptique. Les 2 derniers sont des traitements à haute température de produits normalement traités à pH neutre (4,6- 7,5). La pasteurisation-tunnel et remplissage à chaud requièrent de plus basses températures où le produit est maintenu à pH acide (2,8- 4,5) pour maîtriser la croissance pathogène.³⁶ Il est important de comprendre le fonctionnement des protéines dans ces conditions variées pour déterminer quel ingrédient utiliser.

TABLEAU 7: STABILITÉ THERMIQUE À PH 3



Lait -Soja -Pois>Lactosérum -Pomme de terre -Riz

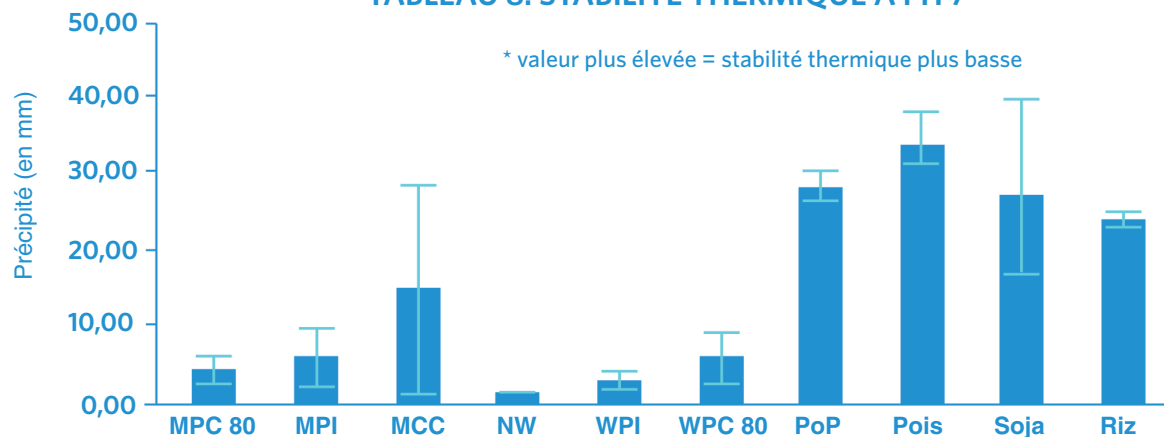
Méthodologie: Harper et Lee, 1988.

Clé: Concentré de protéines de lait = MPC 80, isolat de protéines de lait = MPI, concentré de micelles de caséines = MCC, protéines de lactosérum de lait/ lactosérum autochtone = NW, isolat de protéines de lactosérum= WPI, concentré de protéines de lactosérum= WPC 80, protéines de pomme de terre= PoP, protéines de pois= Pois, protéines de soja= soja, protéines de riz= riz

Source: Kapoor, R., Burrington, K.J., Jiang, H., Larson, S., Drake, M.A. 2017. Characterization of functional and sensory properties of select commercial food protein ingredients [Caractérisation des propriétés fonctionnelles et sensorielles d'ingrédients protéiques commerciaux déterminés]. La conférence internationale sur le lactosérum, Chicago.

A pH 3, (voir le tableau 7) les protéines de lactosérum performant mieux ($p < 0,05$) que les protéines végétales ou de lait et sont donc adéquates pour des conditions de traitement très acides (pH bas).³⁵ A pH 3, les solutions de WPI restent limpides, ce qui rend cet ingrédient idéal pour des boissons prêtes à boire limpides.

TABLEAU 8: STABILITÉ THERMIQUE À PH 7



Lait - Lactosérum > Plantes

Méthodologie: Harper et Lee, 1988.

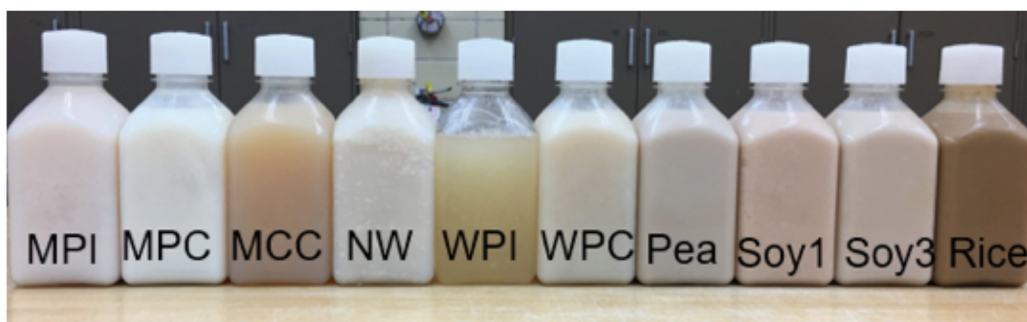
Clé: Isolat de protéines de lait = MPI, Concentré de protéines de lait = MPC 80, Concentré de micelles de caséines = MCC, protéines de lactosérum de lait/ lactosérum autochtone = NW, isolat de protéines de lactosérum= WPI, concentré de protéines de lactosérum= WPC 80, protéines de pomme de terre= PoP, protéines de pois= Pois, protéines de soja= soja, protéines de riz= riz

A pH 7 (tableau 8), la stabilité thermique des ingrédients de protéines de lait et de lactosérum est plus forte ($p < 0,05$) que celle des ingrédients de protéines végétales.³⁵ Les protéines de lait et de lactosérum ou un mélange des deux seraient meilleurs pour les produits aseptiques. Le traitement en autoclave a lieu dans l'emballage-même et exige température plus haute/ périodes de retenue plus longues, donc une exposition prolongée à la chaleur. La stabilité thermique étant cruciale pour l'autoclave, les protéines de lait riches en caséine seraient meilleures.³⁶

EVALUATION DES BOISSONS

Pour comprendre le rendement des protéines dans des conditions de traitement de boissons, les protéines ayant le meilleur rendement dans l'évaluation de stabilité thermique sont utilisées pour élaborer des boissons prêtes à boire de 5% de protéines à pH 3 et pH 7.³⁷ La boisson à pH neutre utilise sucre, arôme naturel de vanille, phosphate dipotassique et gomme gellane pour imiter les boissons commerciales stabilisées et aromatisées. Après, la solution est traitée thermiquement pour imiter les conditions aseptiques (140°C; 6 sec.). La boisson très acide utilise sucre, arôme naturel de mangue et acide phosphorique à 85% pour acidifier, aromatiser et arriver à pH 3. Les boissons très acides sont soumises à un traitement thermique pour imiter les conditions de remplissage à chaud (82°C; 2 min.). L'apparence et la durée de conservation en étalage des boissons traitées thermiquement sont évaluées après avoir été gardées à 45°C pour un mois.

FIGURE 5: COMPARAISONS DE BOISSONS PRÊTES À BOIRE À PH NEUTRE (PH 7)



Clé: Isolat de protéines de lait= MPI, concentré de protéines de lait= MPC, concentré de micelles de caséines= MCC, protéines de lactosérum de lait/ lactosérum autochtone= NW, isolat de protéines de lactosérum= WPI, concentré de protéines de lactosérum= WPC, protéines de pois= Pois, protéines de soja= Soja1 et Soja3, protéines de riz= Riz

Source: Burrington, K.J. 2017. Characterization of functional and sensory properties of select commercial food protein ingredients. Présentée au Wisconsin Center for Dairy Research, Forum de recherche, le 14/11/2017.

Avant le traitement thermique, un échantillon de PoP et un autre de protéines de pois (Pois) se sont séparés immédiatement et ont été éliminés de l'évaluation. Un autre échantillon de PoP est soumis au traitement thermique, mais bouche l'unité de traitement et est éliminé aussi. Les protéines de riz sont beaucoup plus visqueuses que les autres sources protéiques et, si présentes, de petites notes d'amertume sont accentuées après le traitement thermique.³⁷ Ces considérations d'élaboration sont importantes car des masqueurs de couleur et/ou d'arôme peuvent être requis en fonction de la protéine choisie.

FIGURE 6: COMPARAISONS DE BOISSONS PRÊTES À BOIRE TRÈS ACIDES (PH 3)



Clé: Protéines de lactosérum de lait/ lactosérum autochtone= NW, Isolat de protéines de lactosérum= WPI4, concentré de protéines de lactosérum= WPC2, protéines de pomme de terre= PoP1, protéines de soja= Soja1, protéines de pois= Pois3, protéines de riz= Riz1

Source: Burrington, K.J. 2017. Characterization of functional and sensory properties of select commercial food protein ingredients. Présentée au Wisconsin Center for Dairy Research, Forum de recherche, le 14/11/2017.

Une fois intégrées dans des boissons très acides (pH bas) traitées thermiquement, la protéine de riz se sépare immédiatement et la protéine de pois la nuit du jour 0. Les autres protéines restent dans la solution. Lactosérum autochtone, WPI et PoP présentent plus de limpidité que d'autres sources de protéines.³⁷

EVALUATION DES BARRES PROTÉINÉES

Les échantillons d'ingrédients protéiques sont évalués dans une application de barre nutritive standard avec 40% de glucides, 30% de protéines et 30% de graisses, en fonction des calories.³⁷ Des préparations individuelles sont faites pour tenir compte des différences dans la teneur en protéines et calories, car chaque ingrédient protéique a une composition unique. Le fructose liquide (glucidique) est maintenu constant à 52% et la quantité d'huile de canola (gras) est ajustée dans chaque préparation en fonction des différences entre les ingrédients protéiques. Tous les ingrédients sont pesés et mélangés dans le Kitchen Aid Professional Mixer à la vitesse 3 pour 30 secondes. Le mélange est pesé et réparti en 4 (25g) exemplaires conditionnés dans des gobelets en plastique de 28g, et comme dans les préparations de boissons, l'on note des variations dans la couleur des échantillons utilisés.

Les gobelets sont ensuite thermoscellés dans un paquet métallisé et entreposés. Un échantillon de contrôle pour chaque ingrédient protéique est gardé à température ambiante pour 24 heures avant d'être soumis à une analyse de dureté de la barre à travers le TA.XT Plus Texture Analyzer de la Texture Technologies. D'autres échantillons en 3 exemplaires sont gardés pour 30 jours à 45°C avant d'en analyser la texture par la même méthode.

ANALYSE DE TEXTURE DES BARRES NUTRITIVES

Après l'essai de conservation accéléré, l'on note de grandes différences ($p < 0,001$) entre sources protéiques.³⁷ Les protéines de lait et de plantes sont plus dures par rapport aux protéines de lactosérum qui restent plus moelleuses. Les sources de protéines de soja et de PoP varient, d'où il faut choisir les sources protéiques avec soin.

PROPRIÉTÉS ORGANOLEPTIQUES: EVALUATION

La satisfaction du consommateur est clé pour le succès des produits agroalimentaires. Les protéines sont d'abord réhydratées à 10% de solides et évaluées en deux à 21°C par des panélistes sensoriels dûment formés pour documenter les propriétés de saveur.

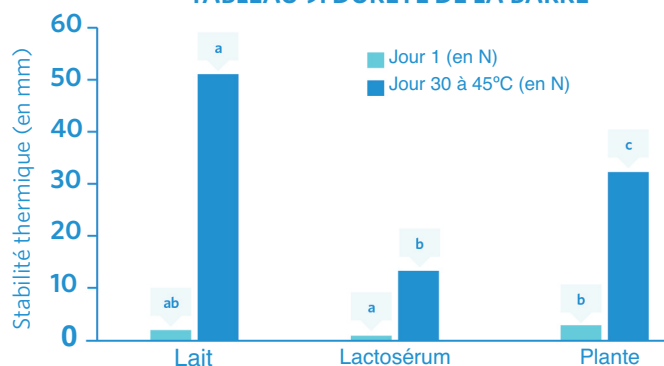
FIGURE 7: LA VARIATION DE COULEUR



Clé: Isolat de protéines de lait= MPI1-3, concentré de protéines de lait= MPC1-3, concentré de micelles de caséines= MCC1-4, isolat de protéines de lactosérum= WPI1-4, concentré de protéines de lactosérum= WPC1-3, protéines de lactosérum de lait/lactosérum autochtone= NW1, protéines de soja= Soja1-4, protéines de pois= Pois1-4, protéines de pomme de terre= PoP1-3, protéines de riz= Riz1

Source: Burrington, K.J. 2017. Characterization of functional and sensory properties of select commercial food protein ingredients. Présentée au Wisconsin Center for Dairy Research, Forum de recherche, le 14/11/2017.

TABLEAU 9: DURETÉ DE LA BARRE



Lait > Plante > Lactosérum

Les ressources en lettres différentes sont considérables ($p < 0,001$)

Source: Burrington, K.J. 2017. Characterization of functional and sensory properties of select commercial food protein ingredients. Présentée au Wisconsin Center for Dairy Research, Forum de recherche, le 14/11/2017.

FIGURE 8: INTENSITÉS DE SAVEUR DES PROTÉINES LAITIÈRES ET VÉGÉTALES

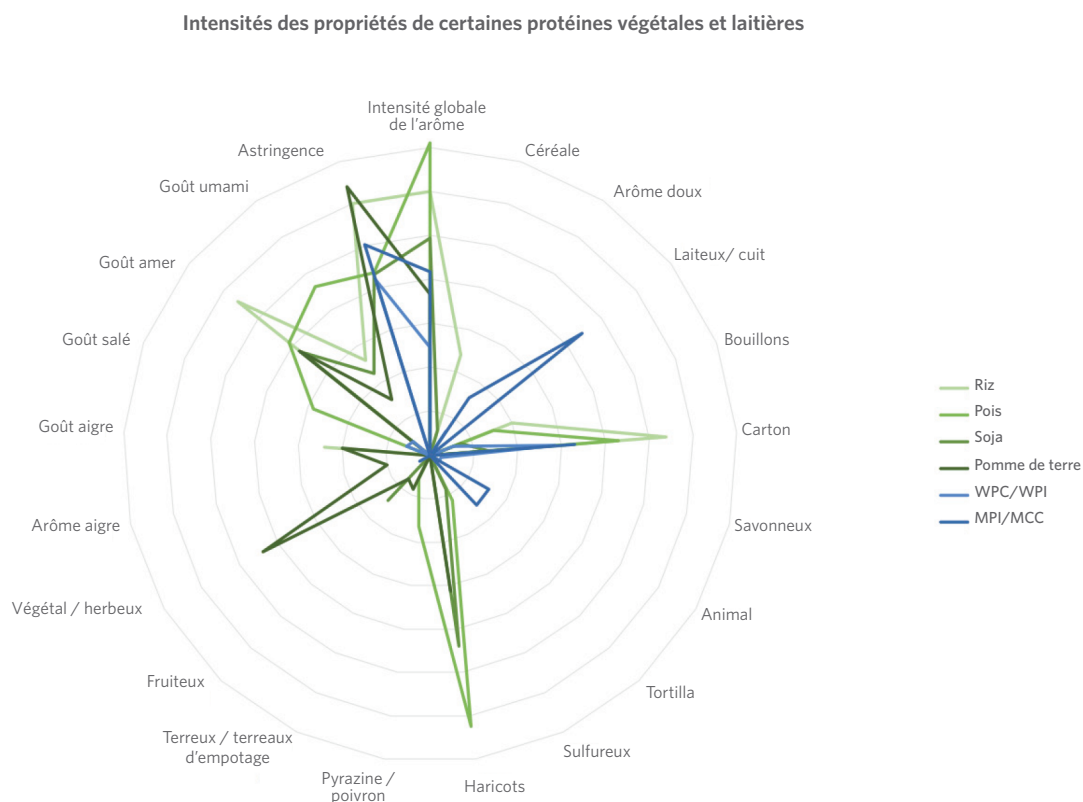
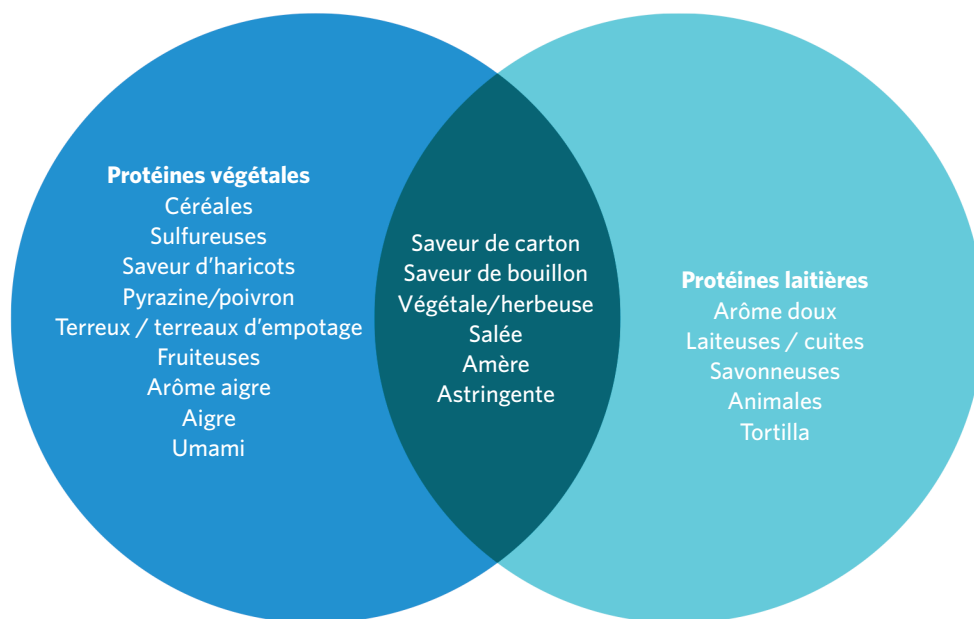


FIGURE 9: DIFFÉRENCES DE SAVEUR ENTRE PROTÉINES VÉGÉTALES ET LAITIÈRES



Les protéines laitières ont un arôme doux et cuit/ laiteux, alors que les sources végétales ont des notes aigres, sulfureuses, terreuses et de saveur d'haricots. La PoP est plus astringente que les autres sources protéiques. Les protéines laitières ont des intensités considérables plus faibles ($p < 0,05$) de goût de carton, de bouillon, d'herbes, d'astringence et d'amer que les sources végétales.³⁵ Ces différences dans la perception sensorielle font que les protéines laitières offrent une expérience sensorielle supérieure.

Une évaluation sensorielle de consommateurs (n= 105 personnes) de 4 boissons prêtes à mélanger commerciales protéiques à la vanille montre que les boissons de protéines végétales sont moins appréciées que les boissons de protéines laitières prêtes à mélanger ($p < 0,05$) pour leur sensation en bouche/texture, saveur et apparence.³⁵

Selon l'application et la saveur désirée, les sources végétales peuvent exiger l'addition de saveurs, agents masqueurs et stabilisants pour obtenir l'acceptation des consommateurs, qui peut augmenter le coût et/ou affecter négativement les déclarations d'ingrédients. Travailler avec des fournisseurs individuels est clé pour maximiser le rendement, en raison de la variabilité entre les ingrédients protéiques appartenant au même type.

POLYVALENCE: POTENTIEL D'APPLICATIONS DIVERSES ATTIRANTES AUX CONSOMMATEURS

Le lancement mondial de produits agroalimentaires alléguant «protéines ajoutées» ou «riche en protéines» a plus que doublé de 2013 à 2017, incitant l'élaboration de nouvelles applications protéiques. Dans les produits agroalimentaires pour humains, les protéines végétales sont souvent utilisées dans la viande, boissons et produits de boulangerie, alors que les protéines laitières sont plus utilisées dans les barres nutritives, desserts glacés et boissons. Pourtant, pour tous types de protéines, le goût est la propriété la plus réclamée pour lancer de nouveaux produits.³⁸ La composition unique du lait de protéines, graisses, glucides et minéraux, permet aux ingrédients laitiers d'offrir nutrition, fonctionnalité et saveur à différentes applications. Les ingrédients de protéines laitières peuvent être concentrés, isolés ou hydrolysés pour améliorer la capacité de fouetter, émulsifier, gélifier, retenir l'eau ou rester soluble dans différentes conditions.³⁹



Café Moka

MÉLANGES SECS D'ALIMENTS ET BOISSONS

On peut utiliser les ingrédients de protéines laitières dans un mélange sec pour en améliorer la teneur en protéine et lui fournir une source de minéraux économique. Pour une sensation en bouche plus forte et visqueuse, il faudrait choisir les protéines de lait qui retiennent plus d'eau que les protéines de lactosérum qui seraient un choix meilleur pour une consistance plus diluée après la réhydratation ou si le mélange final a des acidifiants ajoutés, car elles restent solubles à $pH < 4,6$.



Boisson au lait et au miel avant le sommeil

BOISSONS PEU ACIDES PRÊTES À BOIRE

Les boissons prêtes à boire sont pasteurisées, remplies à chaud, traitées à UHT et/ou en autoclave pour en assurer la sûreté. Les protéines de lait ont des niveaux plus hauts de caséines résistantes à la chaleur si la boisson a un $pH > 6$. Les protéines de lait, dont le MPC, MPI ou MCC, sont donc utilisées souvent dans des boissons peu acides pasteurisées à UHT ou traitées en autoclave. Les protéines de lactosérum sont aussi utilisées dans ces types de boissons avec un minimum de 50% de protéines de lait pour assurer la stabilité thermique. Si l'on utilise la poudre de protéines de lait dans des boissons prêtes à boire à teneur plus élevée en protéines, il faudrait consacrer le temps adéquat pour l'hydratation et le mélange (~60 minutes à $50^{\circ}C$) avant le traitement, pour s'assurer que la protéine est intégrée dans la solution avant le traitement thermique.⁴⁰



Thé vert clair à la mangue

BOISSONS TRÈS ACIDES

Pour les boissons très acides ($pH < 4,6$), les WPC, WPI ou protéines de lactosérum de lait sont le meilleur choix car ils restent solubles à des pH inférieurs. L'hydratation adéquate des protéines (~30 minutes) est importante avant le remplissage à chaud pour maintenir la durée de conservation.⁴⁰ Si la boisson a un $pH < 3,5$, le WPI peut être le choix idéal car il a le niveau de graisses le plus bas et les molécules de protéines ont une charge positive qui inhibe les interactions électrostatiques et fait que la boisson reste limpide.



Bretzel protéique
moelleux

APPLICATIONS DE BOULANGERIE

Dans les applications de boulangerie, les protéines laitières offrent des fonctionnalités multiples, comme la rétention d'eau, substitution d'œuf/graisse, amélioration nutritionnelle et la prolongation de la conservation. Les ingrédients plus riches en protéines, comme le WPC, améliorent la structure du gluten et la rétention d'eau dans le pain et la pâte surgelée, tout en renforçant la teneur en protéines sur l'étiquette nutritionnelle.⁴¹



Snack-bar à la pêche
enrobé de yaourt

BARRES NUTRITIVES

Dans les barres protéiques, WPC et WPI sont utilisés dans les mélanges de barres, enrobages composés et chips extrudés pour fournir texture, saveur et nutrition améliorée aux préparations de barre/snack. Les protéines de lactosérum hydrolysées réduisent l'endurcissement de la barre avec le temps.⁴²



Barre surgelée au
Matcha

APPLICATIONS DE DESSERTS GLACÉS

Lait et crème ont toujours été utilisés dans les glaces et desserts glacés. L'intérêt pour les gâteries plus riches en protéines a crû et l'intérêt pour les ingrédients plus riches en protéines laitières dans les glaces et desserts glacés a crû aussi. MPC et WPC sont utilisés pour élever la teneur en protéines de 4,9 à 7,2% dans les glaces, sans effets négatifs sur la stabilité de stockage et les propriétés organoleptiques. Le WPC est aussi utilisé pour substituer la graisse dans les glaces.⁴³



Soupe énergétique
de lentilles

APPLICATIONS DE SAUCES ET SOUPES

Lait, fromage et crème sont utilisés pour renforcer la saveur des soupes et sauces. En effet, les protéines laitières renforcent la rétention d'eau et la sensation en bouche et sont idéales pour les repas riches en protéines. Les protéines de lait et de lactosérum sont utilisées dans soupes et sauces pour améliorer la valeur nutritionnelle avec saveur neutre et texture moelleuse. Mais, si la soupe ou sauce sera traitée à UHT ou en autoclave pour la stabilité de conservation, les MPC, MPI ou MCC seraient meilleurs car les caséines sont plus stables thermiquement et retiennent plus d'eau pour une apparence et viscosité consistantes.⁴⁴

Les protéines laitières ne sont pas seulement fonctionnelles et nutritives, mais sont suffisamment polyvalentes pour des produits alimentaires créatifs et délicieux désirés par les consommateurs. Pour plus d'infos sur ces types d'applications et de rapports techniques approfondis sur la production et fonction des protéines laitières, visitez ThinkUSAdairy.org.

SÉCURITÉ DE L'APPROVISIONNEMENT: UNE CAPACITÉ CROISSANTE DE HAUTE QUALITÉ POUR BESOINS FUTURS EN INNOVATION

Les protéines proviennent de plusieurs sources alimentaires; les traditionnelles incluent lait, viande/ collagène, œuf, soja et blé. Mais le marché a connu une gamme croissante de sources protéiques alimentaires commerciales, telles que pois, lentilles, haricots, légumineuses, riz, pomme de terre et avoine. De nouvelles sources (canola, insectes, chanvre, microalgues et protéines unicellulaires) sont récoltées, caractérisées et commercialisées. Aux USA, pour être utilisées dans aliments et boissons, les protéines sont soumises à des examens rigoureux et doivent obtenir des approbations, dont le statut reconnu comme «jugé généralement sans danger» (GJSD), tests d'allergénicité, analyse nutritionnelle, caractérisation fonctionnelle et épreuve d'acceptation du consommateur.

La disponibilité d'un approvisionnement constant est cruciale pour les acheteurs et producteurs lors de la sélection et achat des ingrédients. En tant que plus grand pays individuel producteur de lait de vaches- source d'ingrédients de protéines de lactosérum et de lait- l'industrie laitière US est capable de fournir des ingrédients laitiers sûrs, de haute qualité et nutritifs pour les préparations alimentaires au niveau mondial. Par contre, la production de protéines végétales reste limitée, à l'exception du soja, et ce grand écart dans l'approvisionnement est confirmé par les chiffres de production. Depuis 2017, le volume total des WPC, WPI, MPC et MPI produits seulement aux USA est de 336000 tonnes,⁴⁵ le même volume environ que la production mondiale totale des protéines croissantes de pois, riz, blé et pomme de terre combinées (330000 tonnes en 2016).⁴⁶ Avec une industrie fromagère croissante, terrains en abondance, investissements continus dans la recherche et le développement et un focus croissant sur les exportations, la production de protéines laitières US est supposée croître davantage dans les années à venir, assurant approvisionnement sûr et large choix d'ingrédients de protéines laitières, adaptés au consommateur et à ses besoins.

RÉSUMÉ

Les protéines ne sont pas identiques, il faut donc choisir une protéine entière de haute qualité pour élaborer des produits pour les populations vulnérables sous-alimentées, la nutrition sportive, la gestion du poids ou le vieillissement sain; et les protéines laitières offrent ce haut niveau de nutrition.

Saveur, apparence, rendement et nutrition contribuent à l'appréciation du produit, mais sont en équilibre avec les considérations relatives au mode de vie et au coût. Avec la concentration croissante sur la protéine, on a plus de choix d'aliments fortifiés que jamais et trouver des protéines constamment polyvalentes est primordial.

Les protéines de lait U.S. sont sûrement et uniquement capables d'offrir des propriétés multiples et souhaitables pour aider les gens à réussir chaque étape de la vie. Pour plus d'infos sur l'élaboration de produits avec des ingrédients laitiers U.S. ou pour localiser des fournisseurs, visitez ThinkUSAdairy.org.

Le U.S. Dairy Export Council (USDEC) voudrait remercier le personnel du National Dairy Council, Wisconsin Center for Dairy Research et Southeast Dairy Foods Research Center pour avoir apporté leur expertise.

INDEX	
Section	Page
Introduction	1
Produits durablement: l'engagement des producteurs laitiers U.S.	2
Fabrication: Les avantages de la façon dont les protéines sont issues du lait	2
Protéines issues du lait	3
Protéines issues du fromage	3
Nutrition: La qualité de la protéine est importante	4
Comment le corps humain utilise la protéine	6
Le double fléau de la malnutrition	7
Fonctionnalité: Propriétés d'optimisation des performances	8
Capacité de rétention d'eau	8
Stabilité thermique	9
Evaluation des boissons	10
Evaluation des barres protéinées	11
Propriétés organoleptiques: Evaluation	11
Polyvalence: Potentiel d'applications diverses attirantes pour les consommateurs	13
Sécurité de l'approvisionnement	14
Résumé	15
Références	16

RÉFÉRENCES

- ¹ IRI. 2017. Top Trends in Fresh: Holistic Health.
- ² NPD Group. 2014. Les consommateurs U.S. veulent plus de protéines dans leur aliments et en cherchent une variété de sources. <https://www.npd.com/wps/portal/npd/us/news/press-releases/us-consumers-want-more-protein-in-their-diets-and-look-to-a-range-of-sources-for-it>. Consulté en ligne le 5/12/2017.
- ³ Département des affaires économiques et sociales de l'ONU, Division de la population. 2017. Perspectives de la population mondiale: La révision de 2017, Methodology of the United Nations Population Estimates and Projections, document de travail n° ESA/P/WP.250. New York: ONU. <https://esa.un.org/unpd/wpp>. Consulté en ligne le 5/12/2017.
- ⁴ Dolcera. 2017. Dairy versus Alternative Proteins: Patents, Scientific Articles & GRAS Study. Etude inedited.
- ⁵ Indicateurs du changement climatique: U.S. Greenhouse Gas Emissions. 2016. <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-us-greenhouse-gas-emissions>. Consulté en ligne le 5/12/2017.
- ⁶ Henderson, A., Asselin, A. et Heller, M., et al., U.S. Fluid Milk Comprehensive LCA. Université du Michigan & Université de l'Arkansas. 2012
- ⁷ Mitloehner, F. 2017. Livestock and Climate Change: Facts and Fiction. Université de Californie.
- ⁸ Industry facts and Figures. 2016. Le U.S. Dairy Export Council. <http://www.thinkusadairy.org/industry-facts-and-figures/our-farms>. Consulté en ligne le 5/12/2017.
- ⁹ U.S. Dairy's Sustainability Report. 2016. <https://www.usdairy.com/sustainability/commitment>. Consulté le 19/6/2018.
- ¹⁰ Wang, Y. 2018. Calculation from Manure Production and Characteristics, ASAE D384.2. Mars 2005 et How Much Nitrogen Does Corn Need? Below, F. et Brandau, P. 2001.
- ¹¹ Patel, H. et Patel, S. Rapport Technique: Understanding the role of dairy proteins in ingredient and product performance. 2015. Le U.S. Dairy Export Council. <http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/technical-report-understanding-the-role-of-dairy-proteins-in-product-performance>. Consulté en ligne le 5/12/2017.
- ¹² Emerging Milk Protein Opportunities Technical Report. 2010. Dairy Management Inc. <http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/marketing-trends-and-nutrition-materials/milk-protein-opportunities-brochure>. Consulté en ligne le 5/12/2017.
- ¹³ Smith, K. 2017. Dried Dairy Ingredients, 2^{ème} édition. Le Wisconsin Center for Dairy Research.
- ¹⁴ L'USDA. <https://specialcollections.nal.usda.gov/dairy-exhibit/#EarlyHistory>. Consulté en ligne le 5/12/2017.
- ¹⁵ La Global Dairy Platform. Page 7 du 2016 Annual Review.
- ¹⁶ Institute of Medicine. 2006. Dietary Reference Intakes: The Essential Guide to Nutrient Requirements. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11537>. Consulté en ligne le 5/12/2017.
- ¹⁷ van Vilet, S., Burd, N.A. et van Loon, L.J.C. 2015. The skeletal muscle anabolic response to plant- versus animal-based protein consumption. Le J Nutr doi: 10.3945/jn.114.204305.
- ¹⁸ Paddon-Jones, D., Campbell, W.W., Jacques, P.F., Kritchevsky, S.B., Moore, L.L., Rodriguez, N.R., van Loon, L.J.C. Protein and healthy aging. 2015. Le Am J of Clin Nutrition 101:6, pages 1339S-1345S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.084061>. Consulté en ligne le 5/12/2017.
- ¹⁹ Mathi, J.K., L. Yanhong, et H.H. Stein. 2017. Values for digestible amino acid scores (DIASS) for some dairy and plant protein may better describe protein quality than values calculated using the concept for protein digestibility-corrected amino acid scores (PDCAAS). Br J Nutr 117:490-499.
- ²⁰ Rutherford, S.M. 2015. Protein digestibility-corrected amino acid scores and digestible indispensable amino acid scores differentially describe protein quality in growing male rats. J Nutr 145 (2): 372-9. doi: 10.3945/jn.114.195438. Consulté en ligne le 19/6/2018.
- ²¹ Boye, J. 2012. Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. Br J Nutr 108 (2): S183-211. doi: 10.1017/S0007114512002309; consulté en ligne le 19/6/2018.
- ²² FAO. 2013. Report of an FAO Expert Consultation. Dietary Protein Quality Evaluation in Human Nutrition. Rome. <http://www.fao.org/ag/humannutrition/35978-02317b979a686a57aa4593304ffc17f06.pdf>; consulté en ligne le 19/6/2018.
- ²³ Philips, S.M. 2016. The impact of protein quality on the promotion of resistance-exercise-induced changes in muscle mass. Nutrition & Metabolism, 13:64 Doi: 10.1111/mbu.12063.
- ²⁴ Global Nutrition Report: Nourishing the SDGs. 2017. https://www.globalnutritionreport.org/files/2017/11/Report_2017.pdf. Consulté en ligne le 5/12/2017.
- ²⁵ UNICEF, OMS & la Banque Mondiale. 2017. Levels and trends in child malnutrition. In Joint Child Malnutrition Estimates. <https://data.unicef.org/wp-content/uploads/2017/05/JME-2017-brochure-1.pdf>. Consulté en ligne le 5/6/2017.
- ²⁶ L'Organisation mondiale de la Santé. 2017. Malnutrition, principaux faits. <http://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition>. Consulté en ligne le 5/12/2017.
- ²⁷ Stobagh, H.C., Ryan, K.M., Kennedy, J.A., Grise, J.B., Crocker, A.H., Thakwalakwa, C., Litkowaski, P.E., Maleta, K.M., Manary, M.J. & Trehan, I. 2016. Including whey protein and whey permeate in ready-to-use supplementary food improves recovery rates in children with moderate acute malnutrition: a randomized, double-blind clinical trial. L'American J of Clin Nutr, 103:926-933.
- ²⁸ Devries, M.C., et Philips, S.M. 2015. Supplemental protein in support of muscle mass and health: advantage whey. Le J of Food Science 80:S1.
- ²⁹ Miller, P.E., Alexander, D.D. et Perez, V. 2014. Effects of whey protein and resistance exercise on body composition: a meta-analysis of randomized controlled trials. Le J of the Am College of Nutr, 33:163-175.
- ³⁰ ONU, Département des affaires économiques et sociales, Division de la population. 2017. Vieillesse de la population mondiale 2017 (ST/ESA/SER.A/408). <http://www.un.org/esa/population/publications/worldageing19502050>. Consulté en ligne le 5/12/2017. Résumé en langue française: http://www.un.org/esa/population/publications/worldageing19502050/pdf/63executivesummary_french.pdf
- ³¹ Houston D, Nicklas B, Ding J, Harris T, Tyllavsky F, Newman A, Lee J, Sahyoun N, Visser M, Kritchevsky S, Health ABX Study. 2008. Dietary protein intake is associated with lean mass change in older, community-dwelling adults: The Health, Aging, and Body Composition (Health ABC) Study. L'Am J Clin Nutr 87(1):150-5.
- ³² Pennings B, Groen B, de Lange A, Gijsen A, Zorenc A, Senden J, van Loon L. 2012. Amino acid absorption and subsequent muscle protein accretion following graded intakes of whey protein in elderly men. L'Am J Physiol Endocrinol Metab 302(8): E992-E9.
- ³³ Bradlee, M.L., Mustafa, J., Singer, M.R. et Moore, L.L. 2017. High-protein foods and physical activity protect against age-related muscle loss and functional decline. Le J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 73(1):88-94.
- ³⁴ Joy JM, Lowery RP, Wilson JM, Purpura M, De Souza EO, Wilson SM, et al. 2013. The effects of 8 weeks of whey or rice protein supplementation on body composition and exercise performance. Le Nutr J. 12:86.
- ³⁵ Kapoor, R., Burrington, K.J., Jiang, H., Larson, S., Drake, M.A. 2017. Characterization of functional and sensory properties of select commercial food protein ingredients. La conférence internationale sur le lactosérum, Chicago. <http://www.internationalwheyconference.org>. Consulté en ligne le 29/11/2017.
- ³⁶ Rittmanic, S., 2016. U.S. whey proteins in ready-to-drink beverages. U.S. Dairy Export Council. <http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/us-whey-protein-in-ready-to-drink-beverages>. Consulté en ligne le 5/12/2017.
- ³⁷ Burrington, K.J. 2017. Characterization of Functional and Sensory Properties of Select Commercial Food Protein Ingredients. Présentée au Wisconsin Center for Dairy Research, Forum de recherche, le 14/11/2017.
- ³⁸ Innova Market Insights. 2017. Inédits.
- ³⁹ Rapport Technique: Dairy Solutions for Clean-Label Applications. 2016. Le U.S. Dairy Export Council. <http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/technical-report-dairy-solutions-for-clean-label-applications>. Consulté en ligne le 5/12/2017.
- ⁴⁰ Application Monograph: U.S. dairy proteins and permeates in ready-to-drink beverages. 2017. Le U.S. Dairy Export Council. <http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/ready-to-drink-beverage-monograph>. Consulté en ligne le 10/1/2018.
- ⁴¹ Stolar, M. et Burrington, K.J. 2008. U.S. whey ingredients in bakery products. Le U.S. Dairy Export Council. <http://www.thinkusadairy.org/food-and-beverage-manufacturing/bakery>. Consulté en ligne le 10/1/2018.
- ⁴² Burrington, K.J. et R. Boutin. 2007. U.S. whey ingredients in nutrition bars and gels. Le U.S. Dairy Export Council. <http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/us-whey-ingredients-in-nutrition-bars-and-gels>. Consulté en ligne le 10/1/2018.
- ⁴³ Young S. 2007. Whey products in ice cream and frozen dairy desserts. Le U.S. Dairy Export Council. <http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/us-whey-products-in-ice-cream-and-frozen-desserts>. Consulté en ligne le 5/12/2017.
- ⁴⁴ Patel, H., Patel, S., and Agarwal, S. 2014. Milk Protein Concentrates Technical Report. Le U.S. Dairy Export Council. <http://www.thinkusadairy.org/resources-and-insights/resources-and-insights/application-and-technical-materials/milk-protein-concentrates-manufacturing-and-applications>. Consulté en ligne le 5/12/2017.
- ⁴⁵ L'USDA National Agricultural Statistics Service. 2018. Dairy Products 2017 Summary. <http://usda.mannlib.cornell.edu/usda/current/DairProdSu/DairProdSu-04-26-2018.pdf>. Consulté en ligne le 19/6/2018.
- ⁴⁶ Giract. 2017. The Changing World of Protein Ingredients 2016-2021.