



Substituts à la viande : formulations et analyse comparée

Les substituts végétaux à la viande : éléments de formulation et analyse comparée des services rendus avec les produits animaux. 1ère partie : les apports protéiques

Mots-clés : viande végétale, succédané de viande, teneur en protéine ; PDCAAS ; DIAAS ; mélange de protéines végétales

Auteur : Philippe Cayot

Professeur de formulation des aliments et de chimie des aliments à AgroSup Dijon, 1 Esplanade Erasme, 21000 Dijon

Pour diverses raisons, une partie des consommateurs se détourne de la viande et considère les analogues végétaux de produits carnés comme de bons substituts. Sur la simple considération de la valeur protéique, les analogues végétaux apportent un service nutritionnel inférieur à leurs équivalents carnés.

Résumé :

La qualité nutritionnelle des produits animaux est souvent négligée dans nos imaginaires de consommateurs. Le caractère durable par ex. doit tenir compte de la soutenabilité pour l'homme, à commencer par la satisfaction de ses besoins nutritionnels le plus naturellement possible. Pour commencer, les apports en protéine, en quantité par 100 g d'aliment comestible (cuit généralement), dépasse largement ceux des équivalents végétaliens, qu'il s'agisse d'analogues de viande à base de protéines végétales ou plats végétariens réputés sources de protéine (pois chiche, houmous, lentilles, tofu etc.). En outre, force est de constater que les produits animaux sont des sources protéiques de grande qualité nutritionnelle (DIAAS \geq 80) contrairement aux équivalents végétariens (DIAAS \leq 80). Les protéines animales sont plus facilement digestibles avant l'arrivée du bol alimentaire dans le gros intestin - colon (Le DIAAS - Digestible Ileon Amino Acid Score - est désormais le seul critère de qualité protéique reconnu par la FAO et l'OMS) et les apports en acides aminés essentiels sont plus importants. La combinaison de protéines de légumineuses et de céréales, complémentaires en théorie dans leurs apports en acides aminés essentiels n'est pas satisfaisante cependant pour un apport de qualité pour l'homme (DIAAS $<$ 100 très généralement).

Abstract: Meat substitutes: formulations and comparative analysis. Part 1: protein intake

The nutritional quality of animal products is often overlooked in our consumers' imaginations. Sustainability for example, must take into account sustainability for humans, starting with meeting their nutritional needs as naturally as possible. For starters, the protein intake, in quantity per 100 g of edible food (usually cooked), greatly exceeds those of vegan equivalents, whether they are meat analogues made from vegetable proteins or vegetarian dishes reputed to be sources of protein (chickpeas, hummus, lentils, tofu etc.). In addition, it is clear that animal products are protein sources of high nutritional quality (DIAAS \geq 80) unlike vegetarian equivalents (DIAAS \leq 80). Animal proteins are more easily digestible before the arrival of the food bolus in the large intestine - colon (The DIAAS Digestible Ileon Amino Acid Score is now the only protein quality criterion recognized by the FAO and WHO) and the intake of essential amino acids are more important. The combination of proteins from legumes and cereals, complementary in theory in their contributions of essential amino acids, is not satisfactory, however, for a quality supply for humans (DIAAS $<$ 100 very generally).

I. LES ANALOGUES VEGETAUX DE VIANDE, UNE REALITE RECENTE SUR LE MARCHE

I.1 Les Protéines Végétales Texturées (TVP)

Les tous premiers analogues modernes de viande sont les "protéines végétales texturées". Ces aliments se présentent sous forme de nuggets séchés poreux ou de flocons poreux, prêts à être réhydratés. Les protéines végétales texturées, en anglais *textured vegetable protein* (TVP), ont été inventées en 1960 au sein de la compagnie américaine Archer Daniels Midland qui produit des PAI (Produits Alimentaires Intermédiaires). Le terme TVP est une marque déposée (soyinfo center n.d.). Ces TVP sont obtenues par extrusion de concentré de protéines végétales, généralement du soja, avec une teneur supérieure à 50% m/m de protéines. La température de 150°C à 200°C, la pression et le cisaillement dans la filière de l'extrudeur dénaturent les protéines (dépliage des protéines). A la sortie de filière, les protéines s'associent par des interactions hydrophobes et sans doute aussi par ponts disulfures inter-

protéiques. Le gel protéique sèche spontanément (évaporation à température ambiante) et donne une texture aérée suite à la décompression en sortie de filière.

Les TVP ont vu leurs ventes s'envoler aux Etats Unis quand leur utilisation fut autorisée dans les cantines en 1971 (soyinfo center n.d.). Leur usage est courant chez les végétariens et leur utilisation est simple : 5 min de réhydratation puis cuisson durant 10 à 15 min à ébullition légère dans un volume d'eau 5 fois le volume des TVP. Ces TVP réhydratés peuvent alors être incorporées à une sauce tomate, un bouillon. Les végétariens et végétaliens les utilisent en remplacement de la viande hachée dans des plats traditionnels : chili, spaghetti bolognaise, tacos, burritos. On trouve en France actuellement ces TVP sous différentes marques et sous marques de distributeurs en magasins bio.

I.2 Le développement des analogues végétaux en France

En 1998, une marque française de produit à base de soja lance un **TVP hydraté prêt-à-l'emploi** sous la dénomination le "**Haché Végétal prêt-à-cuisiner**". Contrairement aux autres TVP, ce produit ne nécessite pas d'état d'hydratation préalable. Il est prêt à être cuisiné. En voici la liste des ingrédients : farine protéique de soja réhydratée 70%, eau, oignons, concentré de tomates, huile de tournesol, fibres de soja, jus concentré d'oignons, sel, gélifiant (méthylcellulose,) jus concentré de citron, colorant naturel (rouge de betterave), sucre, poivre. La méthylcellulose sert à "cimenter" les fibres de protéines de soja. Oignons, concentré de tomate, jus concentrés d'oignon sont la base aromatique de ces TVP hydratés, insipides seuls. Le jus de citron sert à abaisser le pH vers celui de la viande (pH 5,5) surtout pour des raisons de conservation prolongée à 4°C.

La marque évoquée a étendu sa gamme par la suite avec des analogues végétaux aux steaks hachés, comme "Galette végétale Le Bistrot" (17g / 100g de protéines). Le marché est depuis devenu très concurrentiel, avec "des poids lourds de l'industrie" issus souvent du monde de la charcuterie. Examinons la composition de deux produits phares :

- « **Garden Gourmet** » (14,4 g de protéine / 100 g). Liste des ingrédients : Eau, **protéine de soja** concentrée (18,5%), huiles végétales (colza, noix de coco), arômes naturels, **gluten de blé**, stabilisant (méthylcellulose), vinaigre, concentrés de fruits et légumes (betterave

rouge, carotte, poivron, cassis), sel, extrait de malt d'orge

- Ligne de produit "Côté Végétal" ; « **Emincés aux herbes de Provence** » (19 g de protéine / 100 g). Liste des ingrédients : Protéines végétales réhydratées [eau, **protéines de soja** (isolat de protéines de soja) 4,8%, **protéines de blé**, bouillon (eau, herbes de Provence 0,5%), **protéines de pois**, amidon de blé], bouillons (eau, sel, oignon, poireau, céleri, carotte, plantes aromatiques, poivre 0,1%), huile de colza, **protéines de soja** sous forme d'isolat protéique 4%, flocon de pomme de terre, **poudre de blanc d'œuf**, sel, herbes de Provence 0.5%, extrait de levure.

Que constate-t-on ? Qu'essentiellement trois grands types de protéines sont utilisés dans les analogues à la viande : les protéines de soja, les protéines de pois côté légumineuses, et les protéines de blé (gluten) côté céréales. L'utilisation de mélanges "protéines de légumineuses – protéines de blé" favorise la qualité organoleptique. Elle permet d'obtenir une texture fibreuse. On voit aussi une petite présence de protéines de blanc d'œuf, parfois, certes en petites quantités (à la fin de la liste d'ingrédients qui suit un ordre décroissant en masse), ce qui en fait de fait un produit pour végétariens mais pas pour végétaliens. En réalité, le blanc d'œuf joue un rôle majeur (agent technologique) car il sert « d'amorceur » à la gélification.

II. LES SERVICES NUTRITIONNELS DES ANALOGUES VEGETAUX

II.1 Les différentes qualités d'un aliment

L'aliment est certes un produit. Mais ce n'est pas seulement un simple produit. Il offre un service. Et ce service peut se définir sur des critères de qualité. La qualité d'un aliment se définit par quatre critères :

Qualité nutritionnelle : l'humain mange pour se sustenter, se maintenir en santé, grandir ou retarder la sénescence ;

Qualité hygiénique (sanitaire) et toxicologique : l'humain espère ne pas s'intoxiquer ou s'empoisonner en mangeant des aliments ;

Qualité hédonique : l'humain mange aussi pour le plaisir. Ce critère est même un critère majeur de nos jours pour certaines cultures comme les cultures chinoise, italienne, française...

Qualité de praticité : pour ceux qui cuisinent, gagner du temps de cuisine, préparer un repas de qualité sans posséder les compétences d'un cuisinier professionnel partie des critères qui font choisir un aliment plutôt qu'un autre.

Qualité d'éthique : pour des raisons religieuses ou philosophiques, les aliments doivent respecter des prescriptions précises (ex ; viande halal ou casher ; sans produit animaux...).

Ces critères de qualités font du produit alimentaire un service : service de sécurité alimentaire et de nutrition, service de sécurité sanitaire, service d'hédonisme et service d'agrément et de confort. Un succédané végétal à la viande

II.2 Comment mesurer les services nutritionnels ?

La littérature militante végétarienne prétend que le "tout végétal" est possible et que les apports nutritionnels d'une telle alimentation exclusivement végétale équivalent à notre régime alimentaire actuel. On verra que ces affirmations ne sont pas exactes. Il n'existe pas d'aliment magique, idéal. Il n'existe sans doute pas de régime alimentaire modèle mais des régimes alimentaires adaptés à chaque individu. On peut se référer à des apports recommandés qui donnent une norme moyenne, utile pour évaluer a priori les besoins nutritionnels moyens d'un adulte. Certaines données de la biochimie servent de référence dans l'évaluation de la qualité nutritionnelle d'un aliment : la teneur en protéine

II.3 Apport protéique : digestibilité et apport en acides aminés essentiels

Il faut tout d'abord considérer la quantité de protéines apportée par un aliment prêt-à-consommer et non brut, puis comparer cet apport entre les aliments. La table de composition des aliments CIQUAL de l'ANSES permet de trouver la composition d'un grand nombre d'aliments en macronutriments (protéines, lipides, glucides) mais aussi en micronutriments (minéraux, oligoéléments et vitamines)¹, y compris des aliments préparés ou cuisinés. Très vite, il apparaît que les produits végétaux privilégiés par les

II.4 Vers une meilleure évaluation de la qualité des apports en protéines

La manière la plus facile pour évaluer la **qualité des protéines** est d'utiliser un indice nutritionnel nommé **PDCAAS** (Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score). Le PDCAAS est calculé en corrigeant l'indice chimique en acide aminé par la digestibilité fécale réelle (DRT, appelé aussi digestibilité fécale totale). L'indice chimique en acide aminé est le rapport entre la teneur totale en résidus d'acides aminés (AA) d'un aliment et ces mêmes acides aminés par rapport d'une protéine de référence. Ainsi, l'indice de qualité protéine, PDCAAS (en %) s'exprime ainsi :

$$PDCAAS = 100 \times \frac{\text{mg AA dans 1 g de la protéine alimentaire}}{\text{mg AA dans 1 g de la protéine de référence}} \times DRT,$$

la protéine de référence étant en réalité un mélange idéal théorique d'acides aminés qui répondent à 100 % des

se doit donc d'apporter les mêmes services que le produit animal qu'il mime ou remplace, sachant que l'homme est, par nature anatomique, enzymatique et digestive, un omnivore. Il répond toutefois à une exigence de qualité d'éthique (croyance spécistes ou environnementales par ex.).

Ce chapitre se centrera sur les succédanés (ersatz) ou analogues aux viandes bovines, porcines, de volaille ou de poisson. Nous n'aborderons ici que les services nutritionnels apportés par ces ersatz d'une part et les viandes animales d'autre part.

d'un aliment, la composition en acides aminés essentiels (non synthétisés par l'homme), la digestibilité des protéines et donc la possibilité d'apport en acide aminés essentiels, reflétés par les indices PDCAAS et DIAAS (voir la définition plus loin, chapitre II. 3). C'est à l'aide de ces données de biochimie et de ces paramètres nutritionnels que nous allons comparer le service nutritionnel offert par les viandes et les analogues à la viande et aux produits laitiers. Par exemple : la présence de fer ne suffit pas, encore faut-il qu'il soit biodisponible et assimilé. Il faut veiller à ne pas annoncer une teneur en vitamine B12 quand il s'agit en réalité de ses homologues non-utiles nutritionnellement.

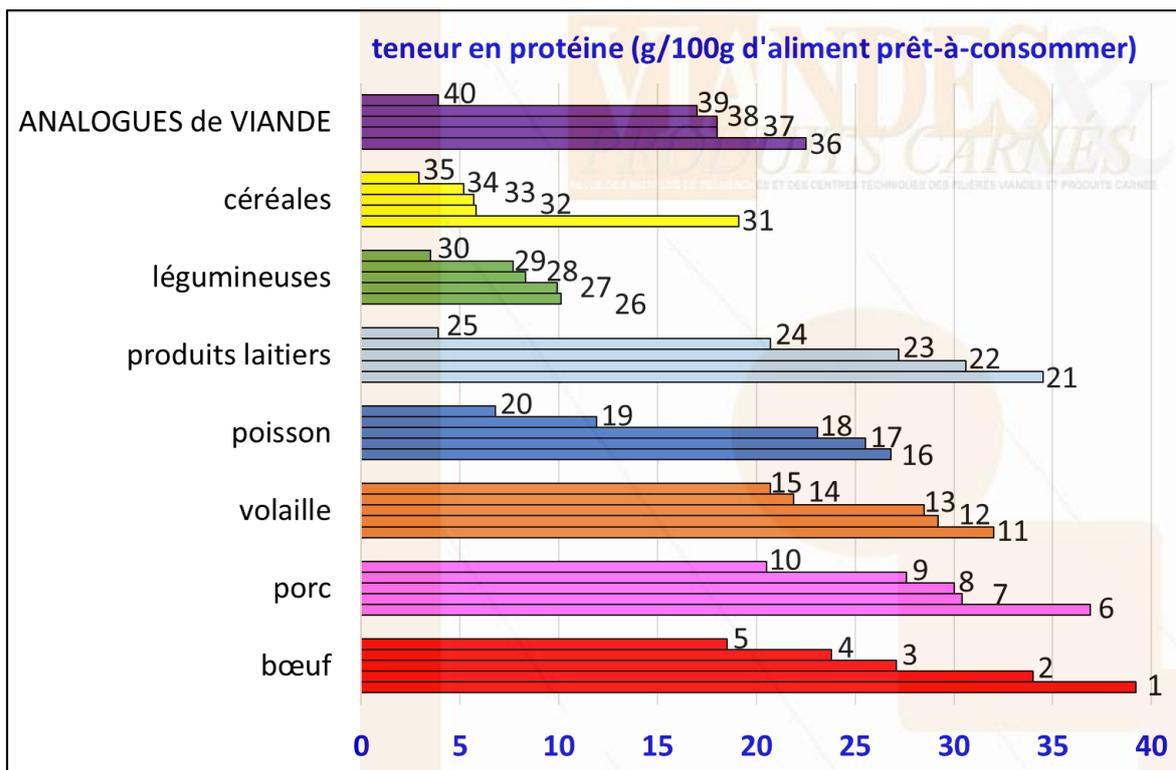
végétariens ou végétaliens pour suppléer les produits animaux possèdent des teneurs en protéines très inférieures aux produits animaux. La Figure 1 indique que les produits animaux et les chairs animales (toutes espèces confondues) en particulier apportent beaucoup plus de protéines par 100 g d'aliment que les protéagineux ou que les analogues à la viande modernes (saucisse, steak de soja et de blé...) ou "historiques" comme le tofu ou le seitan.

besoins quotidien d'un humain. Le modèle de référence de 1985 de la FAO/OMS/UNU (FAO/OMS/UNU 1986) pour les besoins d'enfants de 2 à 5 ans est le suivant (en mg d'acide aminé par g de protéines) : Histidine 19 (His) ; Isoleucine 28 (Ile) ; Leucine 66 (Leu) ; Lysine 58 (Lys) ; Méthionine & Cystéine 25 (Met+Cys) ; Phénylalanine & Tyrosine 63 (Phe+Tyr) ; Thréonine 34 (Thr) ; Tryptophane 11 (Trp) ; et Valine 35 (Val). Les scores d'acides aminés ont été déterminés en sélectionnant la teneur connue de l'acide aminé la plus faible afin de comptabiliser les acides aminés limitants quand il y en a. Pour l'adulte, les besoins diffèrent quelque peu : His 16, Ile 30, Leu 66, Lys 48, Met+Cys 23 (17+6), Phe+Tyr 41, Thr 25, Trp 6,6, et Val 40 (FAO/WHO/UNU *et al.* 2007).

¹ Cette table est accessible par le web gratuitement : <https://ciqual.anses.fr/>. On peut aussi consulter la base de données

américaine de l'USDA, le département de l'Agriculture des USA (Food Composition Databases ; <https://ndb.nal.usda.gov/>) particulièrement riche.

Figure 1 : teneur en protéines de quelques aliments, en g par 100g d'aliment prêt-à-consommer, d'après les données du Ciqual, version 2017 (<https://ciqual.anses.fr>) et le FoodData Central de l'USDA (U.S. Department of Agriculture ; <https://fdc.nal.usda.gov/>), par groupes d'aliments. Pour connaître le détails des aliments, référez-vous à la note de bas de page², où est indiquée la correspondance du numéro et de l'aliment.



La digestibilité fécale réelle (DPR) est calculée ainsi :

$$DPT = \frac{I - (F - F_k)}{I} \times 100,$$

avec I la quantité d'azote ingéré (source forme de protéine), F la quantité d'azote fécale excrétée par l'homme ou l'animal modèle, F_k la quantité d'azote métabolique ou endogène perdu.

Vous trouverez désormais un assez grand nombre de références sur les valeurs de PDCAAS de différentes sources de protéines. Notez que les valeurs de PDCAAS peuvent en théorie dépasser 100% mais qu'elles sont ramenées à 100% par convention. Il convient cependant d'éviter de considérer une protéine isolée mais plutôt de considérer le PDCAAS en combinant les protéines, c'est-à-dire en considérant l'ensemble du régime alimentaire. Ainsi, les végétariens combinent légumineuses et céréales pour équilibrer leurs apports en acides aminés essentiels, les protéines de céréales étant déficitaires en résidus de lysine et les légumineuses en résidus d'acides aminés soufrés, méthionine et cystéine. Nous verrons plus loin qu'avec un autre indice de qualité nutritionnel, le DIAAS, cette stratégie nutritionnelle comporte des limites. En outre, un régime alimentaire ne s'établit pas sur un repas isolé mais sur une durée plus longue, de 36 à 48 jours pour les apports

protéiques (soit près de 2 mois), et même jusqu'à plus d'une année pour les apports en vitamine A ! (Basiotis *et al.* 1987). Une alimentation variée reste la meilleure stratégie nutritionnelle...

En 2007, un rapport conjoint de l'OMS, la FAO et l'ONU avait conclu au besoin de définir un nouveau modèle d'évaluation des qualités des protéines. Finalement, en 2011, il a été recommandé de privilégier l'usage du DIASS (Digestible Indispensable Amino Acid Score) comme seul outil de mesure de la qualité nutritionnelle d'une protéine (FAO 2013). Le DIASS se définit ainsi :

$$DIAAS = 100 \times \frac{\text{mg AAEL digestibles dans 1 g de la protéine alimentaire}}{\text{mg des mêmes AAEL digestibles dans 1 g de la protéine de référence}}$$

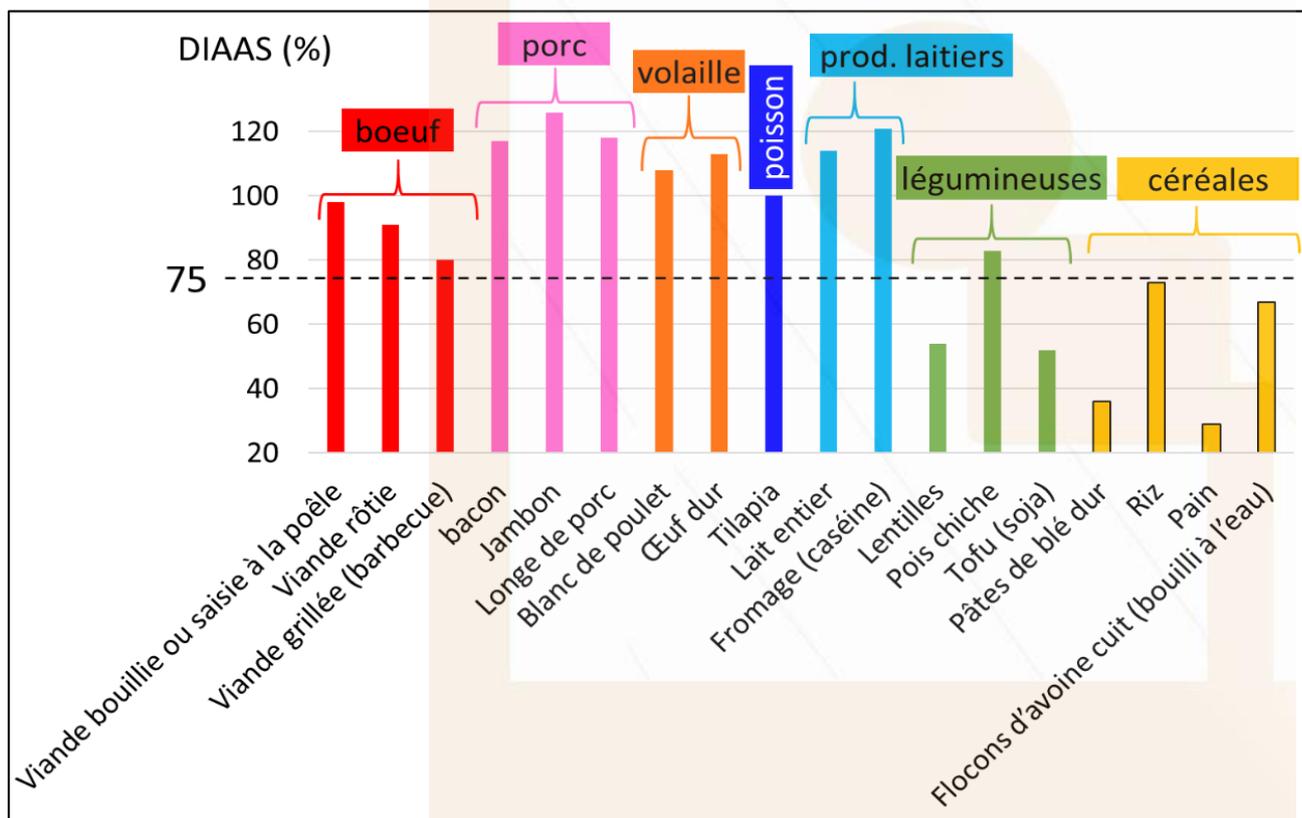
AAEL étant l'acide aminé essentiel limitant, celui dont le rapport est le plus faible. Par exemple, pour les protéines de pois, le rapport [AAE de protéines de pois / AAE de la protéine de référence (voir PDCAAS)], le plus faible est de 0,61 avec Met+Cys, et pour le riz de 0,59 avec Lys (Brestenský *et al.* 2019). Le DIAAS des protéines de pois est donc de 0,61 (où on voit le DIAAS donner en %, soit 61%), et celui des protéines de riz de 0,59.

² Groupes d'aliments : viandes de bœuf en rouge (1 joue braisée ; 2 pot-au-feu, 3 faux-filet poêlée, 4 Steak haché cuit, 5 Boulettes de viande cuites), viandes de porc en rose (6 rouelle cuite, 7 jambon sec, 8 épaule, 9 saucisson sec, 10 jambon blanc cuit découpé), viandes de volaille en orange (11 confit de canard (viande sans peau), 12 filet de poulet cuit, 13 escalope de dinde cuite, 14 magret de canard fumé, 15 jambon de poulet), poissons en bleu foncé (16 thon blanc au naturel appertisé, 17 saumon poêlé, 18 lieu noir cuit, 19 poisson pané frit, 20 moules marinières), produits laitiers en bleu pâle (21 parmesan, 22 emmental, 23 comté, 24 camembert, 25 pâte à tartiner laitière), légumineuses en vert (26 tempeh, 27 lentilles vertes cuites, 28 tofu nature, 29 Pois chiche cuit / falafel / houmous, 30 haricots rouges appertisés), céréales en jaune (31 seitan (boulette de gluten), 32 pâtes au blé dur cuites à l'eau, 33 galette de maïs prête-à-réchauffer (tortilla de maïs), 34 semoule de blé dur cuite (couscous), 35 riz blanc cuit), enfin analogues viandes (36 émincés au soja façon aiguillette, 37 boulette végétarienne, 38 steak soja et blé, 39 soyicisse, 40 pâté végétal Noix Cajou-tofu).

La digestibilité doit être basée sur la digestibilité iléale réelle (c'est-à-dire, déterminée à la fin de l'intestin grêle) pour chaque acide aminé. Cette digestibilité doit être de préférence déterminée chez l'homme mais vous trouverez beaucoup d'article où l'évaluation de la digestibilité est évaluée sur des modèles animaux. On utilise, insistons sur ce point, la plus faible valeur trouvée pour la quantité d'acides aminés essentiels digestibles pour calculer un indice DIAAS.

La principale différence entre les DIAAS et les PDCAAS est que l'on utilise la digestibilité réelle des acides aminés iléaux pour les acides aminés alimentaires indispensables plutôt qu'une valeur unique de digestibilité des protéines brutes fécales. Le DIAAS exclut de fait l'usage des acides aminés par la flore intestinale. En Figure 2 sont présentés des valeurs de DIAAS comparatives entre les protéines animales et végétales.

Figure 2 : qualité nutritionnelle de quelques protéines évaluée à l'aide du DIAAS (digestible ileal amino acid score) parmi quelques aliments habituellement consommés. Données obtenues à partir de différentes sources³



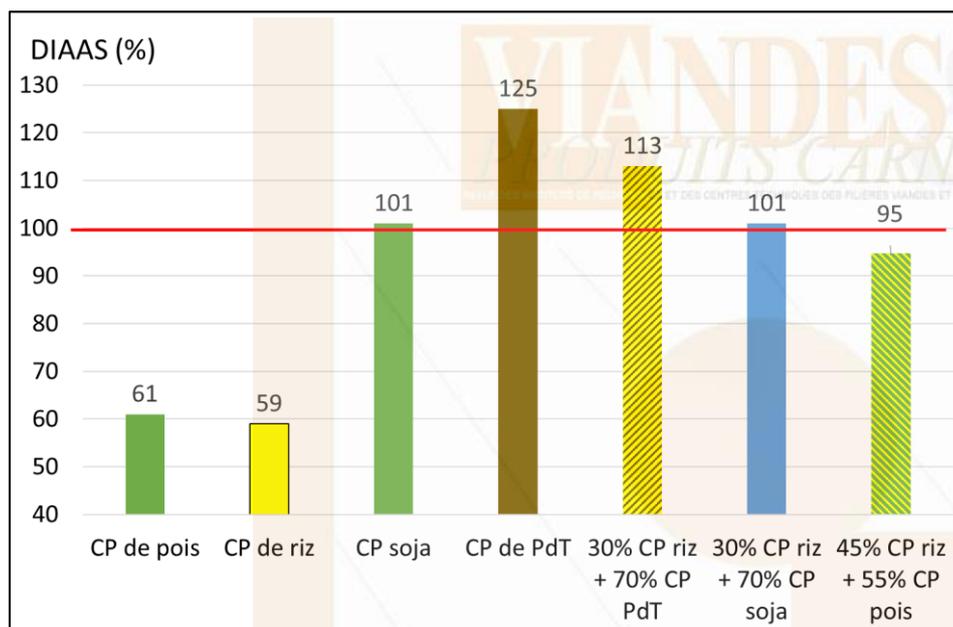
Une valeur de DIAAS inférieure à 75% signifie que la protéine ou l'ensemble des protéines contenues dans un aliment ne satisfait pas les besoins en acides aminés essentiels dont le corps a besoin. Comme le montre la figure 2, **l'ensemble des protéines de céréales** (y compris le riz, avec un DIAAS = 73%, mais avec une teneur en protéine très faible, 2,9 g de protéine pour 100 g de riz), et **la quasi-totalité des légumineuses**, excepté le pois chiche cuit prêt-à-consommer, présentent des **qualités protéiques faibles** (DIAAS < 0,75). Pour un DIAAS compris entre 75% et 100%, on considère les protéines de bonne qualité bien que ne satisfaisant pas de manière optimale (à 100%) aux besoins en acides aminés essentiels, comme le pois chiche cuit (DIAAS = 83%, teneur en protéine, 8,3 g/100g ; Figure

1), la viande de bœuf grillée au barbecue (DIAAS = 80%, teneur en protéine, 26,7 g/100g), rôtie (DIAAS = 91%) ou mijotée en bouillon (DIAAS = 98%). Enfin, les protéines dont le DIAAS égalent ou dépassent 100% sont considérées comme des **protéines de haute qualité** ou d'excellente qualité comme les **protéines de lait, de volaille ou d'œuf et de porc**.

Les mélanges de protéines végétales donnant une valeur de DIAAS ≥ 100% sont aussi considérés comme un apport optimal d'acides aminés essentiels, même si individuellement ces protéines végétales présentent un DIAAS < 100% (Figure 3).

³ Données pour les lentilles (dal) et le poisson (tilapia)(Shaheen *et al.* 2016), pour les pâtes de blé dur (Desai *et al.* 2018), pour le riz (Rutherford, Moughan 2012) et pour les flocons d'avoine cuits (bouillis à l'eau) (Rutherford *et al.* 2015; Abelilla *et al.* 2018), pour le pois, l'œuf dur, le blanc de poulet et le lait entier (Marinangeli, House 2017), pour les pois chiches cuits, le tofu (soja), les viandes de bœufs bouillies ou saisies à la poêle, rôties ou grillées (barbecue) (Hodgkinson *et al.* 2018), pour la viande de porc (bacon, jambon, longe de porc) (Bailey *et al.* 2020), et pour le fromage (lait écrémé en poudre en réalité) (Mathai *et al.* 2017).

Figure 3 : intérêt et limite de la combinaison des protéines végétales, en général protéines de légumineuses (acides aminés limitants, Met+Cys) et protéines de céréales (acide aminé limitant, Lys). Valeurs du DIAAS de concentrés protéiques (CP) de pois, de riz, de soja et de trois mélanges de concentrés protéiques⁴ (Brestenský *et al.* 2019). PdT : pomme de terre.



Il est fréquent de lire que l'association des céréales et de légumineuses permet d'obtenir un apport satisfaisant en acides aminés essentiels, les protéines de céréales compensant le déficit en résidus de méthionine (et cystéine) des légumineuses et les protéines légumineuses en résidus de lysine. Mais **les faits scientifiques ne semblent pas entièrement attester qu'un mélange de légumineuses et de céréales permette un apport suffisant en acides aminés essentiels**. Par exemple, le PDCAAS de pâtes à base de farine de maïs (protéines de céréales) est de 38, mais l'association à une autre farine, en l'occurrence de pois (*Vicia faba* ; protéines de légumineuses) à raison de 30% ou de quinoa à raison de 20% ne donne qu'une PDCAAS de 50% et ne suffit pas à accroître suffisamment la valeur du PDCAAS pour atteindre les 100% (Giménez *et al.* 2016). La Figure 3 montre ce même type de résultat avec le paramètre DIAAS.

La Figure 3 montre des mélanges de protéines végétales qui offrent des valeurs de DIAAS supérieures à 100. Il convient cependant de préciser que les auteurs ont obtenu ces valeurs avec des concentrés de protéines, et non avec des aliments du quotidien (Brestenský *et al.* 2019). Pour obtenir un apport satisfaisant en protéine, il faut atteindre un apport journalier d'au moins 60 g de protéine avec un indice

de qualité global, un DIAAS global égal ou supérieur à 100 %. En considérant la teneur en protéines de la pomme de terre cuite à l'eau avec sa peau (1,9 g de protéine par 100 g d'aliment cuit prêt-à-consommer), de riz cuit à l'eau (2,9 g / 100g), on obtient la quantité totale d'aliment seul pour fournir 60 g de protéine (figure 4). Et comme pour obtenir un DIAAS de 100%, il faut combiner 70 % de protéine pure de pomme de terre et 30 % de protéine pure de riz, cela revient à devoir consommer 2,21 kg de pomme de terre et 620 g de riz pour satisfaire ses besoins journaliers en acides aminés essentiels comme indiqué dans les calculs de la figure 4.

On peut ainsi réitérer le raisonnement avec la purée de pois cassés cuits à l'eau (8,5 g / 100 g) et le tofu extra-ferme (10 g / 100 g avec un tofu fabriqué à partir de jus de soja coagulé avec du nigari ; données FoodData USDA). En faisant un calcul rapide qui prend en compte les besoins quotidiens d'un adulte de 70 kg (0,83 g·kg⁻¹·j⁻¹ de protéine ; AFFSA, 2007), nous arrivons en tableau 1 à des quantités « délirantes » d'aliment d'origine végétale pour satisfaire les besoins protéiques avec un DIAAS de 100 % selon les mélanges de protéines végétales décrits en Figure 3

⁴ On trouve un mélange de 30% de concentrés protéique de riz et de 70% de concentrés protéique de pomme de terre (CP PdT), un mélange de 30% de concentrés protéique de riz et de 70% de concentrés protéique de soja, et un mélange de 45% de concentrés protéique de riz et de 55% de concentrés protéique de pois (optimisé pour accroître au maximum le DIAAS). La valeur de DIAAS du mélange concentré protéique de riz – concentré protéique de pois a été calculée à partir des données de Brestenský *et al.* (2019).

Figure 4 : calcul pour définir quantité de pomme de terre et de riz à consommer pour atteindre un apport de 60 g de protéine avec un DIAAS de 100 %. Calculs servant à l’instruction du tableau 1

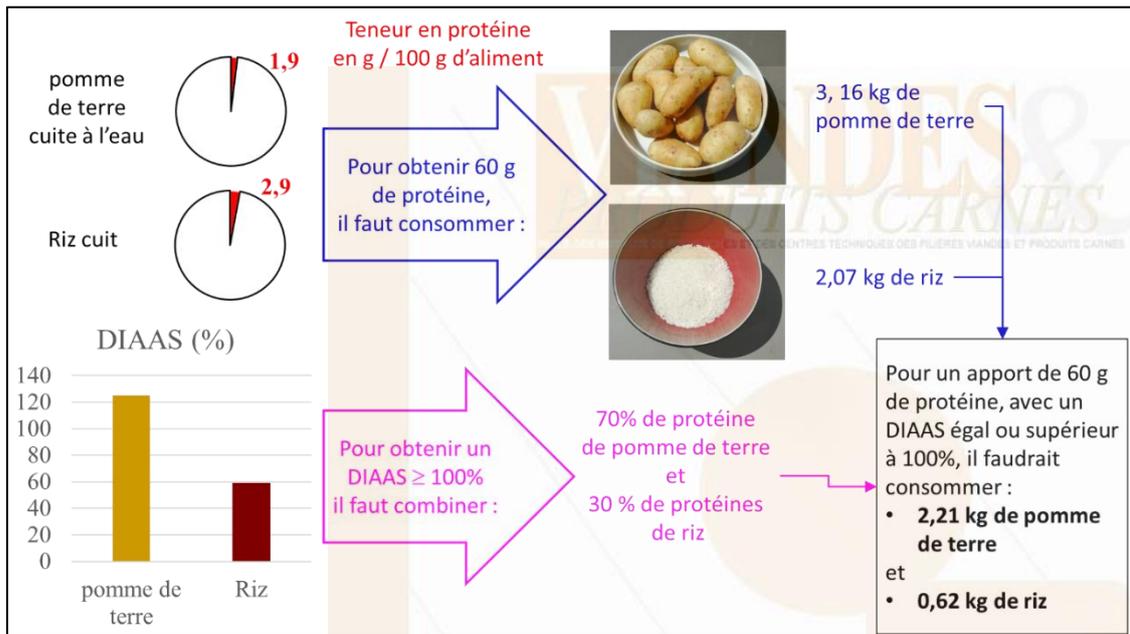


Tableau 1 : Calcul de la quantité d'aliments réels à consommer pour un repas végétalien afin que soient satisfaits l'apport protéique (60 g par jour avec un DIAAS de 100%), selon les données de la figure 2 et d'après le mode de calcul fait en figure 3. PdT = pomme de terre. CP : concentré protéique

Aliments	Teneur en protéine (g/100g)	Quantité d'aliment (en kg) pour obtenir 60 g de protéine	Quantité d'aliments à consommer pour obtenir un apport de 60 g de protéine avec un DIAAS ≥ 1 sur la base de mélange de protéines avec un DIAAS ≥ 1 (fig.2)		
			70% CP PdT + 30% CP riz ↓	70% CP soja + 30% CP riz ↓	55% CP pois + 45% CP riz ↓
Pomme de terre cuite à l'eau avec peau	1,9	3,16 kg	2,21 kg		
Tofu extra-ferme (lait de soja coagulé au nigari)	10	0,60 kg		0,42 kg	
Purée de pois cassés cuite à l'eau	8,5	0,71 kg			0,39 kg
Riz cuit	2,9	2,07 kg	0,62 kg	0,62 kg	0,93 kg
Soit un repas complet constitué de :			2,2 kg de PdT et 0,6 kg de riz	0,4 kg de tofu et 0,6 kg de riz	0,4 kg de pois cassé et 0,9 kg de riz
			Menu 1	Menu 2	Menu 3

Pour le premier menu, il faut manger 620 g de riz (3 fois la portion normale de riz consommé en un repas) et 2,2 kg de pommes de terre (11 fois la portion normale dans un repas) pour un apport de 60 g de protéines végétales avec un DIAAS de 100 ; pour le second menu, à 620 g de riz (3 portions) doivent s'ajouter 420 g de tofu (3 fois la portion

d'un repas) pour un DIAAS de 100 ; pour le troisième menu qui permet d'obtenir un DIAAS proche de 100% (95%), il faut combiner 930 g de riz (4,5 fois la portion normale) à 390 g de purée de pois cassé (soit 2 fois la portion normale) pour satisfaire les besoins journaliers en acides aminés essentiels. Nous pouvons ainsi conclure que seuls les

produits à base de soja (soja en graine, tofu, tempeh), combinés à une céréale (de préférence riche en protéine, comme seitan riche en protéine de blé), dans un apport quotidien réparti sur plusieurs repas, parviennent à couvrir convenablement les besoins journaliers en acides aminés.

Plus généralement, certains scientifiques considèrent que les végétariens stricts ont des apports protéiques insuffisants en quantité et qualité (Kniskern, Johnston 2011). Les végétariens qui s'autorisent les œufs et certains produits laitiers sont plus certains d'atteindre les apports minimums requis en acides aminés essentiels. Un autre chercheur a calculé que pour compléter 1 g de protéine de blé (soit 10 g de pain français), il fallait 6,2 g de protéine de soja (soit 60 g environ de tofu) mais seulement 2,6 g de protéines d'œuf (soit 20,6 g d'œuf, c'est à dire 1/3 d'œuf) et 1,6 g de protéines de lait (soit à peine 7 g d'une tranche de comté, soit environ 1/6^{ème} d'une portion normale de fromage à un repas) (Schaafsma 2000) : **l'avantage nutritionnel concernant l'apport protéique est sans conteste en faveur des produits animaux comparés aux analogues de viandes.**

CONCLUSION

Les indices de qualités nutritionnelles, PDCAAS et DIAAS, donnent une indication sur le ratio en résidus d'acides aminés essentiels sur le total des résidus d'acides aminés des protéines, et sur la digestibilité des protéines. PDCAAS et DIAAS ne considèrent pas les apports en quantité de protéines.

Dans les tables d'indication nutritionnelle sur les emballages des aliments, il n'apparaît que la teneur en protéine. Bien sûr, les aliments ne pourvoient pas la même quantité de protéine et il convient nécessairement de distinguer les aliments riches en protéine. Toutefois, cette approche n'est que partiellement satisfaisante car elle ne prend pas en compte la qualité nutritionnelle d'une protéine. On peut ainsi avoir un apport important de protéines mais dont l'apport en acides aminés indispensables est faible. C'est le cas pour le seitan (gluten) qui apporte 19,1 g de protéine /100g d'aliment contre 12,1 g de protéine /100g pour un œuf à la coque, alors que sa qualité nutritionnelle est très faible, qualité nutritionnelle exprimée par deux paramètres, le PDCAAS ou le DIAAS. En simplifiant, plus le PDCAAS et le DIAAS sont élevés, plus la valeur nutritionnelle est forte. En considérant la valeur

Vous trouverez beaucoup plus de données PDCAAS que de données DIAAS, en raison de freins méthodologiques (Gaudichon 2019). A défaut de DIAAS, les comparaisons sur la qualité nutritionnelle des protéines seront réalisées à l'aide du PDCAAS pour réellement juger de la valeur de ces « nouvelles » sources de protéines qui fleurissent dans les magasins spécialisés de nutrition et de produits biologiques. Un autre marqueur de la qualité des protéines est utilisé : le PER (protein efficiency ratio, ou ratio d'efficacité protéique). Le poids de rats ou de cochons nains d'expérimentation, servant de modèle à l'homme, sont enregistrés durant une période d'alimentation (qui prend en compte en même temps l'acclimatation et la phase d'équilibre). L'efficacité de la conversion alimentaire, mesurée comme la quantité de gain de poids par unité d'aliment, est calculée et exprimée en pourcentage de l'efficacité de conversion alimentaire avec le régime de référence à base de caséines (protéines majeures du lait de vache). Cette notion PER ne sera pas développée, même s'il s'agit d'un autre outil d'évaluation de la qualité des protéines à fournir des acides aminés essentiels.

nutritionnelle des protéines de seitan et celle de l'œuf, il est évident que le seitan offre un apport très insatisfaisant en acides aminés essentiels quand on le compare à l'œuf : le PDCAAS du seitan n'est que de 0,22 (Anwar et El-Chaghaby, 2019), celui du gluten de la farine de blé de 0,5 (Mathai *et al.*, 2017) contre 1,18 pour l'œuf (Schaafsma, 2000) ; le DIAAS du gluten est de 0,36 dans des pâtes de semoule de blé (Desai *et al.*, 2018) et de 0,45 dans la farine de blé (Mathai *et al.*, 2017), tandis que le DIAAS de l'œuf (œuf dur) est de 1,13 (Phillips, 2017). Il s'agit donc de ne surtout pas considérer le seul apport protéique mais de ne pas l'oublier non plus.

En conclusion : si l'on se réfère à l'apport en acides aminés bio disponibles, la qualité nutritionnelle des protéines d'analogues traditionnels (tofu, seitan, houmous) et d'analogues modernes à la viande, est très inférieure à celle des protéines d'origine animale. Même en associant gluten et soja comme c'est le cas dans certains analogues végétaux aux aiguillettes de volaille ou aux steaks hachés. Concernant la qualité nutritionnelle plus globalement, les oligoéléments seront étudiés dans un deuxième article à suivre...

Références bibliographiques

Abelilla J.J., Liu Y., Stein H.H. (2018). Digestible indispensable amino acid score (DIAAS) and protein digestibility corrected amino acid score (PDCAAS) in oat protein concentrate measured in 20- to 30-kilogram pigs. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(1), 410–414.

Bailey H.M., Mathai J.K., Berg E.P., Stein H.H. (2020). Pork products have digestible indispensable amino acid scores (DIAAS) that are greater than 100 when determined in pigs, but processing does not always increase DIAAS. *The Journal of Nutrition*, 150(3), 475–482.

Basiotis P.P., Welsh S.O., Cronin F.J., Kelsay J.L., Mertz W. (1987). Number of days of food intake records required to estimate individual and group nutrient intakes with defined confidence. *The Journal of Nutrition*, 117(9), 1638–1641.

Brestenský M., Nitravová S., Patráš P. and Nitrav J. (2019). Dietary requirements for proteins and amino acids in human nutrition. [En ligne] *Current Nutrition & Food Science*. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <http://www.eurekaselect.com/161874/article> [Consulté le 17 March 2020].

Desai A.S., Brennan M.A., Brennan C.S. (2018). Amino acid and fatty acid profile and digestible indispensable amino acid score of pasta fortified with salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*) powder. *European Food Research and Technology*, 244(10), 1729–1739.

FAO (ed.) (2013). Dietary protein quality evaluation in human nutrition: report of an FAO expert consultation, 31 March-2 April, 2011, Auckland, New Zealand Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.

FAO/OMS/UNU (1986). Besoins énergétiques et besoins en protéines : rapport d'une consultation conjointe d'experts FAO/OMS/UNU [s'est réunie à Rome du 5 au 17 octobre 1981]. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://apps.who.int/iris/handle/10665/62734> [Consulté le 17 March 2020].

FAO/WHO/UNU (2007). Protein and amino acid requirements in human nutrition : report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. World Health Organization. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://apps.who.int/iris/handle/10665/43411> [Consulté le 17 March 2020].

Gaudichon C. (2019). Les critères de qualité des protéines ont-ils évolué ? *Médecine des Maladies Métaboliques*, 13(3), 235–239.

Giménez M.A., Drago S.R., Bassett M.N., Lobo M.O., Sammán N.C. (2016). Nutritional improvement of corn pasta-like product with broad bean (*Vicia faba*) and quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Food Chemistry*, 199, 150–156.

Hodgkinson S.M., Montoya C.A., Scholten P.T., Rutherford S.M., Moughan P.J. (2018). Cooking conditions affect the true ileal digestible amino acid content and digestible indispensable amino acid score (DIAAS) of bovine meat as determined in pigs. *The Journal of Nutrition*, 148(10), 1564–1569.

Kniskern M.A., Johnston C.S. (2011). Protein dietary reference intakes may be inadequate for vegetarians if low amounts of animal protein are consumed. *Nutrition*, 27(6), 727–730.

Marinangeli C.P.F., House J.D. (2017). Potential impact of the digestible indispensable amino acid score as a measure of protein quality on dietary regulations and health. *Nutrition Reviews*, 75(8), 658–667.

Mathai J.K., Liu Y., Stein H.H. (2017). Values for digestible indispensable amino acid scores (DIAAS) for some dairy and plant proteins may better describe protein quality than values calculated using the concept for protein digestibility-corrected amino acid scores (PDCAAS). *British Journal of Nutrition*, 117(4), 490–499.

Rutherford S.M., Fanning A.C., Miller B.J., Moughan P.J. (2015). Protein digestibility-corrected amino acid scores and digestible indispensable amino acid scores differentially describe protein quality in growing male rats. *The Journal of Nutrition*, 145(2), 372–379.

Rutherford S.M., Moughan P.J. (2012). Available versus digestible dietary amino acids. *British Journal of Nutrition*, 108(S2), S298–S305.

Schaafsma G. (2000). The protein digestibility-corrected amino acid score. *The Journal of Nutrition*, 130(7), 1865S-1867S.

Shaheen, N., Islam S., Munmun S., Mohiduzzaman Md., Longvah T. (2016). Amino acid profiles and digestible indispensable amino acid scores of proteins from the prioritized key foods in Bangladesh. *Food Chemistry*, 213, 83–89.

soyinfo center Archer Daniels Midland Company. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.soyinfocenter.com/HSS/archer_daniels_midland.php [Consulté le 24 March 2020].