



DOSSIER NUTRITION:
ALIMENTATION À BASE VÉGÉTALE

LES LÉGUMINEUSES DANS UNE ALIMENTATION À BASE DE PLANTES

PREMIÈRE PARTIE: VALEUR DES PROTÉINES DE LÉGUMINEUSES

Ulrike Gonder, Dipl. oec. troph., journaliste scientifique indépendante
Taunusblick 21, D-65510 Hünstetten
mail@ugonder.de

Berne, novembre 2022

swiss**milk**

«De petits concentrés d'énergie polyvalents et dans l'air du temps» (1) ou «Les légumineuses à la rescousse du climat» (2): depuis quelques temps les légumineuses font parler d'elles. Leur mauvaise réputation de «génératrices de flatulences» difficiles à digérer ou de «nourriture du pauvre» n'est plus qu'un lointain souvenir. Les légumineuses sont les stars de l'alimentation saine et durable. On les considère comme très riches sur le plan nutritionnel ainsi que respectueuses des animaux, de l'environnement et du climat! Leur teneur élevée en protéines retient particulièrement l'attention, les légumineuses comptant parmi les aliments végétaux les plus riches en protéines. Et s'il faut consommer moins de protéines animales, les manques ainsi causés doivent être compensés judicieusement, car l'alimentation doit rester complète et conforme aux besoins.

L'évaluation de la qualité des protéines, en particulier celles d'origine végétale, a évolué ces dernières années: de nouvelles méthodes d'analyse et échelles d'évaluation ont été développées et proposées; toutefois leur utilisation ne s'est de loin pas encore généralisée. Le présent dossier informe sur l'état actuel de la situation ainsi que sur les connaissances et données qui manquent encore.



TABLE DES MATIÈRES

4 Les Légumineuses: stars de l'alimentation à base de plantes

5 Consommation et valeur nutritive des légumineuses

7 Décorticage, trempage, germination, cuisson et fermentation

10 Pas de santé planétaire sans santé humaine!

11 Évaluation de la qualité des protéines

12 Déclaration des aliments

13 Un aspect décisif: les liens physiologiques

14 De nombreux chiffres-clés, beaucoup de confusion

14 Valeur biologique (VB)

14 Acide aminé limitant

14 Teneur totale en acides aminés essentiels

16 DIAAS vs PDCAAS: une nouvelle échelle loin d'être adoptée

18 Évaluation des scores DIAAS

20 Synthèse et perspectives

21 Annexe

22 Bibliographie et répertoire des sources

Impressum

© swissmilk 2022

Éditeur: Producteurs Suisses de Lait PSL, swissmilk, Berne

Responsable de projet: Susann Wittenberg, BSc en écotrophologie, swissmilk

Relecture: Ulrike Krüger, Flensburg

Traduction: Trait d'Union, Berne

Graphisme: Stefan Aebi, grafik & illustration, Toffen

Photos: swissmilk



LES LÉGUMINEUSES: STARS DE L'ALIMENTATION À BASE DE PLANTES

«Intégrer davantage de légumineuses dans son alimentation contribue activement à la protection du climat»: voici en substance ce que l'on peut lire sur le site Internet de l'entreprise d'alimentation naturelle Alnatura et ailleurs. «Les légumineuses contiennent beaucoup de protéines végétales qui peuvent remplacer les protéines animales.» (3) Le présent dossier «Les légumineuses dans une alimentation à base de plantes», divisé en deux parties, s'emploie à déterminer si cette dernière affirmation est vraie et, le cas échéant, sous quelles conditions. Cette première partie se concentre sur la qualité des protéines des légumineuses.

La valeur nutritionnelle des légumineuses est indiscutable, en particulier leurs quantités significatives de protéines. Il est toutefois connu que les protéines végétales présentent une valeur moindre que les protéines animales. Ce premier élément implique donc déjà de se montrer critique s'il s'agit de remplacer (dans une large mesure) les protéines animales par des protéines végétales. La Commission EAT-Lancet, qui suit une approche globale, recommande par exemple en matière de régime alimentaire sain pour la planète (Planetary Health Diet, PHD) d'augmenter nettement la consommation de légumineuses et de diminuer celle de viande et de lait par rapport à ce qui est consommé et recommandé en Suisse (4). Des voix critiques s'élèvent toutefois aussi depuis plusieurs années à l'encontre des méthodes usuelles utilisées pour l'évaluation nutritionnelle des aliments protéiques d'origine végétale (5). Étant donné que les recommandations du PHD ont été largement reconnues, reprises et acceptées par des organisations ainsi que des institutions internationales et nationales (6), il est important de les appliquer de telle sorte que la qualité, la digestibilité et la densité nutritionnelle de l'alimentation ne soit pas altérée. Les pratiques régionales devraient aussi pouvoir être prises en compte, ce qui est prévu tant par la Commission EAT-Lancet

que par l'ONU dans ses 17 objectifs de développement durable (7) (8). En outre, les effets concrets d'une alimentation intégrant une consommation nettement accrue de légumineuses devraient être observés et évalués.

La consommation de légumineuses a dernièrement déjà légèrement augmenté, également en Suisse (9). On attribue cela à l'intérêt croissant pour les régimes alimentaires végétariens. La hausse de la demande augmente aussi l'attractivité des légumineuses pour les agriculteurs suisses, même si peu d'entre elles sont cultivées pour l'alimentation humaine en Suisse, et en faible ampleur: du soja alimentaire bio et des lentilles bio en culture associée; la production de haricots et celle de pois chiches se trouvent encore au stade de projet (10). Si ces tendances devaient se poursuivre et que les consommatrices et consommateurs suisses devaient à l'avenir manger nettement plus de légumineuses pour remplacer (partiellement) des aliments protéiques d'origine animale, il faut faire toute la lumière sur la qualité de leurs protéines, ainsi que sur les combinaisons d'aliments les meilleures et les mieux applicables pour optimiser l'apport en protéines. La question des combinaisons les plus favorables est traitée dans la deuxième partie du présent dossier «Les légumineuses dans une alimentation à base de plantes».



Consommation et valeur nutritive des légumineuses

Les légumineuses sont une famille de plantes dont les fruits sont des gousses (on les appelle aussi fabacées ou papilionacées). Cette famille de plantes est répandue sur presque toute la planète et englobe 600 genres avec plus de 13 000 espèces de différentes tailles et morphologies. Lorsqu'elles sont mûres, les gousses éclatent et libèrent les graines. Les légumineuses ne sont pas seulement destinées à l'alimentation humaine, mais fournissent aussi un fourrage riche en protéines aux animaux. De plus, elles sont appréciées dans les rotations en agriculture (biologique), car leurs racines créent une symbiose avec des bactéries fixatrices d'azote. Les légumineuses sont ainsi en mesure de fixer l'azote de l'air, permettant ainsi d'économiser ou de remplacer des engrais azotés (11).

Les haricots verts, pois et pois mange-tout récoltés verts sont aussi des légumineuses, mais on les considère comme des légumes (légumineuses dites potagères) et ils ne sont pas traités dans ce dossier. Les genres suivants de légumineuses récoltées mûres et sèches (on parle aussi de «légumes secs») sont examinés ici:

- **Haricot et fève** (Genres *Phaseolus* et *Vicia*)
Le haricot commun appartient au genre *Phaseolus*, alors que la fève (ou féverole) fait partie des vesces (*Viciae*). Les graines mûres de cette dernière présentant la même composition que les autres légumineuses et étant utilisées de la même manière, elle est traitée ici avec le haricot. La fève/féverole est actuellement utilisée principalement comme fourrage pour les animaux, mais elle progresse aussi de plus en plus en cuisine, en particulier pour la fabrication industrielle de substitut de viande (12).
- **Pois** (Genre *Pisum*)
- **Pois chiche** (Genre *Cicer*)
- **Lentille** (Genre *Lens*)
- **Lupin** (Genre *Lupinus*)
- **Soja** (Genre *Glycine*)

D'un point de vue botanique, l'**arachide ou caca-huète** (Genre *Arachis*) est aussi une légumineuse. Elle n'est toutefois pas traitée explicitement ici, car on ne la cultive pas en Europe. De plus, elle est plus riche en lipides que les autres légumineuses (à l'exception du soja). C'est pourquoi on la place dans la même catégorie que les noix et on l'utilise de la même manière. Toutefois, les considérations émises sont en principe aussi valables pour l'arachide et ses protéines. Si l'arachide est bien tolérée (allergénicité!), on peut l'utiliser dans l'alimentation, grillée ou non, ainsi que sous forme de beurre ou de protéine de cacahuète.

Allergies et allergies croisées

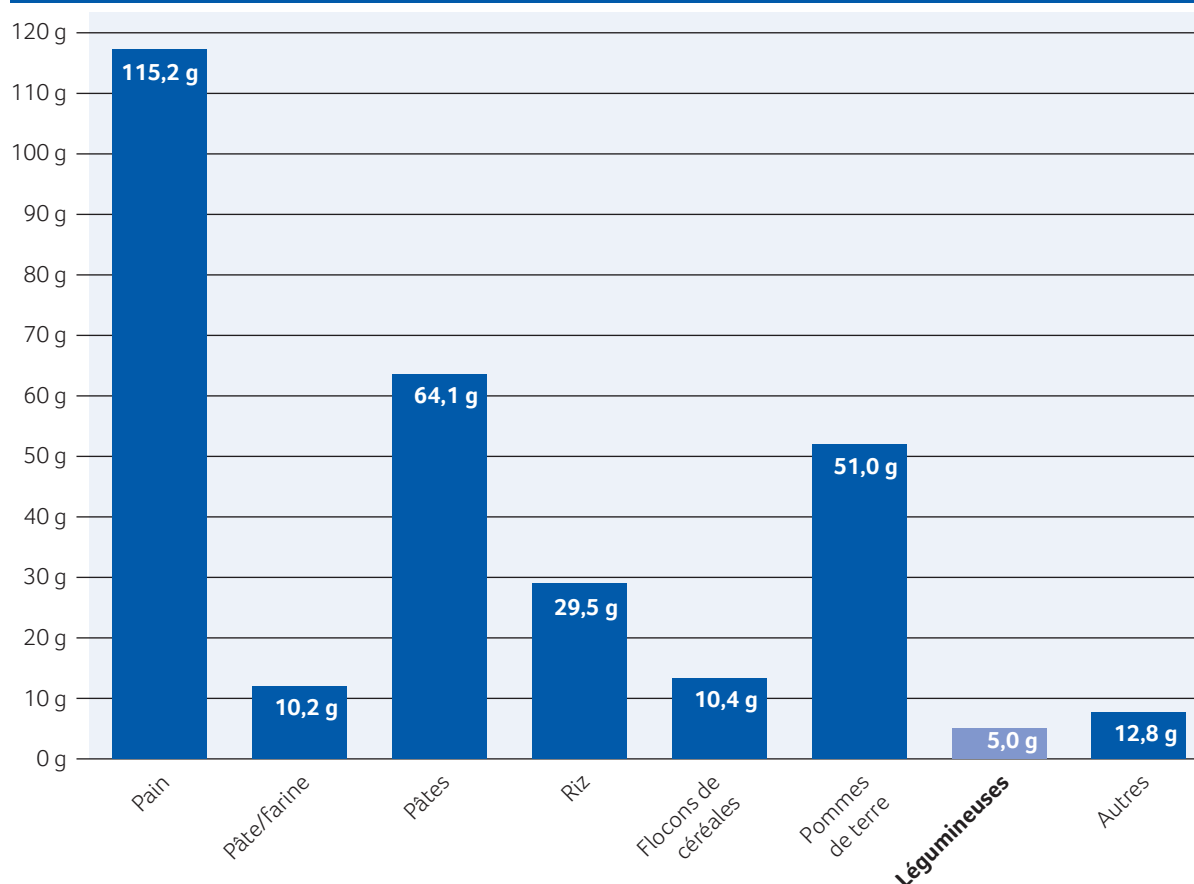
Les légumineuses peuvent être très allergènes: l'arachide, le soja et le lupin sont des allergènes importants et doivent être obligatoirement déclarés (13). Des allergies croisées entre diverses légumineuses ainsi qu'entre le pollen de bouleau et les légumineuses sont possibles et semblent se multiplier dernièrement. On peut citer par exemple les pois ou les lentilles et les pois chiches, ou les pois et les arachides (14) (15) (16) (17). La protéine de pois est souvent désignée comme hypoallergénique, pourtant les pois contiennent, comme les lentilles, les haricots, les vesces et d'autres légumineuses, les allergènes viciline et convicine. Ces substances ont aussi été détectées dans des isolats de protéine de pois (18). Le fait que le pois ne doive pas être déclaré dans la liste d'allergènes obligatoire ne signifie donc pas qu'aucun symptôme allergique ne peut apparaître.



Les légumineuses (sèches) sont consommées depuis des millénaires sur une grande partie de la planète, mais en quantités diverses. C'est surtout dans les populations pauvres d'Afrique, d'Asie et d'Amérique du Sud, ainsi que durant les «périodes difficiles» qu'elles ont servi et servent encore de source de protéines particulièrement importante car de haute qualité, rassasiante, économiquement abordable et qui se conserve bien. À l'inverse, on en consomme

peu dans les pays riches et les populations aisées. Des données de Suisse font état d'une consommation moyenne d'environ un kilo par an (19). D'après les relevés de la première enquête nationale sur l'alimentation, la consommation effective se situe autour de 5 grammes par jour. Et même si la consommation a quelque peu augmenté depuis, on peut encore affirmer qu'elle est très faible en Suisse.

Consommation de pommes de terre, de céréales et de légumineuses en Suisse, en 2014/2015 (g par personne et par jour)



Consommation totale: 298,2 g Nombre de personnes interrogées: 2085
Source: menuCH, 2017

Les légumineuses sont des aliments intéressants et importants sur le plan nutritionnel, car elles fournissent des protéines de haute valeur ainsi que beaucoup d'amidon, mais aussi des quantités significatives de vitamines, de minéraux et de fibres alimentaires. Elles présentent aussi des teneurs élevées en substances végétales secondaires, ce qui est par contre à double tranchant: il s'agit, d'une part, de «facteurs antinutritionnels», comme l'acide phytique (qui se lie aux minéraux), les inhibiteurs

enzymatiques (p. ex. les inhibiteurs de protéases et d'amylase), qui perturbent la digestion, ou encore les lectines (hémagglutinines) et les saponines potentiellement nocives pour les muqueuses. Ces substances permettent à la plante de se protéger d'une germination trop précoce de ses graines ou de se défendre contre des agresseurs (ravageurs). Cela fonctionne très bien, y compris contre l'«agresseur humain», si bien qu'il n'est généralement pas possible de consommer les légumineuses crues.

Teneurs en nutriments de diverses légumineuses
 (pour 100 g, en raison de l’eau absorbée, les valeurs des légumineuses cuites sont nettement inférieures à celles des matières premières sèches)

	E (kcal)	E (kJ)	Gluc (g)	Prot (g)	Lip (g)	Fib (g)	B1 (mg)	B2 (mg)	B6 (mg)	Folate (µg)	ER (µg)	E (mg)	K (mg)	Ca (mg)	Mg (mg)	Fe (mg)	Zn (mg)
Légumineuses sèches																	
Pois	305	1284	41	23	1	17	0,80	0,27	0,12	151	13		992	50	118	5,2	3,3
Pois chiche	339	1421	44	19	6	16	0,52	0,13	0,56	340	30	5,8	800	124	126	6,1	2,4
Haricot blanc	283	1189	35	21	2	23	0,50	0,18	0,44	205	67	0,2	1337	113	140	6,5	2,5
Haricot de Lima	310	1300	45	21	1	14	0,50	0,19	0,47	360	169	2,2	1750	89	216	6,8	2,8
Haricot mungo	312	1316	44	24	1	16	0,57	0,29	0,41	490			932	108	165	6,3	2,1
Soja	386	1617	6	38	18	22	1,03	0,46	1,00	250	63	0,6	1800	200	220	6,6	4,2
Lentilles	303	1281	41	23	2	17	0,48	0,26	0,55	168	17		837	65	129	8,0	3,4
Légumineuses cuites																	
Pois	117	489	16	9	1	6	0,25	0,09	0,04	36	5	0,1	310	19	39	1,8	1,2
Haricot blanc	124	518	17	10	1	4	0,15	0,06	0,13	31	31	0,0	463	44	55	2,4	1,1
Lentilles	129	540	19	9	1	4	0,12	0,08	0,16	27	7	0,4	256	25	45	2,6	1,3

Source: Kompendium Hülsenfrüchte, KErn, 2018

Décorticage, trempage, germination, cuisson et fermentation

Certains facteurs antinutritionnels se révèlent toutefois antioxydants, anti-inflammatoires et anticancérigènes, si bien qu’on étudie et on discute désormais aussi des effets positifs des substances secondaires. Cela ne change rien au fait que les légumineuses ne peuvent pas être consommées crues (à quelques exceptions près, p. ex. l’edamame ou le lupin doux).

Supprimer complètement les facteurs antinutritionnels n’est ni possible, ni pertinent au regard de leurs effets positifs potentiels. Il s’agit donc de les réduire à une quantité supportable et, le cas échéant, utile. C’est à cela que servent les diverses méthodes de transformation: décorticage, trempage (en jetant l’eau de trempage!), cuisson, broyage, germination et fermentation, ainsi que le fractionnement et l’extrusion dans la transformation industrielle (22).



Facteurs antinutritionnels et autres substances problématiques dans les légumineuses ainsi que moyens d'y remédier

Facteur antinutritionnel/ substances problématiques	Contenu dans	Propriétés négatives	Mesures correctives
Acide phytique	Toutes les légumineuses	Diminue la biodisponibilité de certains minéraux, p. ex. le fer, en se liant à eux	- Le trempage, la germination* active l'enzyme phytase qui diminue les teneurs - Cuisson: seulement pour les lentilles
Lectines (diverses, en quantités variables)	Toutes les légumineuses	Perturbent le transport de l'oxygène dans le sang et peuvent endommager la muqueuse intestinale	Le trempage, la cuisson, la germination* (pas pour les lentilles) ou la fermentation diminue les teneurs
Saponines (diverses, en quantités variables)	Toutes les légumineuses	Possèdent des effets hémolytiques et inhibiteurs d'enzyme, amères en concentrations élevées	Le trempage, la cuisson, la fermentation ou la germination* diminue les teneurs
Tanins (divers, en quantités variables)	Toutes les légumineuses, surtout dans les enveloppes des graines foncées	Diminuent la digestibilité des protéines, des vitamines et des minéraux par la formation de complexes, peuvent provoquer des diarrhées et des vomissements, goût amer	- Décorticage - Le trempage, la fermentation ou la germination* diminue les teneurs - Utilisation de variétés sans tanins (p. ex. pois et féveroles à fleurs blanches)
Inhibiteurs enzymatiques (divers, en quantités variables)	Toutes les légumineuses	Inhibent l'activité des enzymes digestives telles que les amylases et les protéases et perturbent la digestion des protéines	- Décorticage - Le trempage, la cuisson, le grillage, la germination* ou la fermentation détruit (en partie) les inhibiteurs
Oxalate	Toutes les légumineuses	Diminue la biodisponibilité de certains minéraux par la formation de complexes	- Décorticage (p. ex. fève/féverole, pois) - Le trempage, la cuisson, la fermentation ou la germination* diminue les teneurs
Oligosaccharides (divers, en quantités variables)	Toutes les légumineuses, jusqu'à 10 % des glucides	Production accrue de gaz dans l'intestin, autres problèmes en cas de sensibilité aux FODMAP	- Le trempage ou la cuisson réduit les teneurs - Accoutumance avec une consommation plus fréquente - À éviter avec un régime pauvre en FODMAP
Vicine et convicine	Dans la fève/féverole, la vesce et la gesse	Provoque une destruction des globules rouges (anémie hémolytique, favisme) chez les personnes souffrant d'un déficit héréditaire de l'enzyme glucose-6-phosphate déshydrogénase (fréquent dans les pays méditerranéens, en Asie et en Afrique)	- Éviter en cas de déficit en G6D** - Choisir des variétés avec des teneurs faibles - Un trempage de plusieurs jours dans de l'eau chaude ainsi que le grillage ou la cuisson réduit les teneurs

* La germination n'est possible qu'avec des légumineuses à graines non décortiquées

** G6D = glucose-6-phosphate déshydrogénase, enzyme dont le déficit cause l'anémie hémolytique

Important: l'eau de trempage des légumineuses doit être jetée (23)! En outre, les graines devraient encore être abondamment rincées avec de l'eau après le trempage, afin d'évacuer les facteurs antinutritionnels qui pourraient encore rester de l'eau de rinçage. Rincer jusqu'à ce que l'eau devienne claire.

Tous les procédés ne fonctionnent pas sur tous les facteurs antinutritionnels et ils n'agissent pas de la même manière sur toutes les légumineuses. Ainsi, la cuisson diminue nettement la teneur en acide phytique dans les lentilles, mais son effet n'est pas connu pour les autres légumineuses. En outre, les effets des méthodes de transformation n'évoluent pas de manière linéaire, comme le montre l'exemple des lentilles (24).

Méthodes de réduction des facteurs antinutritionnels illustrées avec les lentilles					
Facteurs anti-nutritionnels dans les lentilles	Décorticage	Trempage	Germination	Cuisson	Fermentation
Acide phytique	Oui env. -50 %	Oui	Oui min. 3 jours, jour 6 jusqu'à -75 %	Oui env. -60 %	Oui après 3 jours -60 %
Saponines	Oui	Non	Non même augmen- tation dès le jour 6	Oui env. -30 %	Oui
Inhibiteurs de trypsine	Oui jusqu'à -40 %	Oui jusqu'à -19 %	Oui jusqu'à -67 %	Oui mais seulement en cas de trem- page préalable	Oui après 4 jours jusqu'à -73 %
Lectines	Non	Oui jusqu'à -3 %	Non même augmenta- tion dès le jour 6	Oui cuisson -40 %, cuisson à la vapeur -100 %	Oui après 3 jours jusqu'à -100 %

Source: d'après: Paul, S: Brainfood-Praxis: Linsen richtig verwenden, 2022, compilé à partir de plusieurs sources

Les légumineuses décortiquées ne peuvent plus germer. D'un point de vue purement théorique, elles n'auraient pas non plus besoin d'être trempées, car le décorticage permet déjà de réduire nettement la quantité de certains facteurs antinutritionnels. Toutefois, sans trempage et temps de cuisson ensuite réduit, il resterait un pourcentage plus élevé de facteurs antinutritionnels dans les lentilles. L'inhibiteur de trypsine des lentilles ne peut pas être éliminé uniquement par la chaleur car il est très fortement lié. Ce n'est qu'en trempant brièvement (30 à 60 minutes) les lentilles décortiquées que sa teneur peut ensuite être réduite par la cuisson (25).

Important: les inhibiteurs de trypsine diminuant la digestibilité des protéines, une transformation soigneuse des légumineuses est particulièrement importante si celles-ci doivent remplacer des protéines animales mieux digestibles (voir ci-après).

Pas de santé planétaire sans santé humaine!

Le Planetary Health Diet (PHD) de la commission EAT-Lancet a été développé pour permettre à l'humanité, à l'environnement et à la planète de préserver, voire d'améliorer leur santé (26). Le PHD considère les légumineuses, les arachides, les noix, les graines et le soja comme des aliments interchangeables du point de vue nutritionnel et recommande aux personnes dont les besoins énergétiques s'élèvent à 2500 kcal/jour de consommer les quantités moyennes suivantes en remplacement (partiel) des aliments protéiques d'origine animale:

- 50 g de haricots, pois ou lentilles secs (0 à 100 g) et
- 25 g de produits à base de soja (0 à 50 g) et
- 25 g d'arachides et
- 25 g de noix

Si on laisse de côté les noix, qui sont aussi recommandées dans de nombreux autres régimes alimentaires dans des quantités similaires, et si on suppose que le soja peut aussi être utilisé sec, on obtient une quantité moyenne de 100 g de légumineuses par jour. C'est vraiment beaucoup! Si on ne tient compte que des quantités moyennes recommandées de légumineuses sèches (50 g/jour), en laissant de côté les produits à base de soja, les arachides et les noix, cela correspond déjà à une consommation moyenne plus que doublée à l'échelle mondiale par rapport à actuellement. Pour des pays tels que la Suisse (ou l'Allemagne), cela reviendrait à un décuplement (!) de la consommation actuelle (27).

Les effets de telles augmentations de la consommation sont-ils prévisibles? Et quels aspects doivent être pris en compte? Si on se concentre sur les protéines, l'élément central de ce dossier, les points suivants doivent être considérés:

- Concernant l'impact des aliments protéiques d'origine végétale sur l'environnement (p. ex. consommation d'eau douce, émissions de gaz à effet de serre), ceux-ci ne peuvent pas être comparés par kilo avec les aliments d'origine animale, car une fois prêts à la consommation, ils contiennent nettement moins de protéines que la viande, le poisson, la volaille ou le fromage. Autrement dit: pour la même quantité de protéines (de qualité), on devrait consommer davantage de légumineuses, si bien que l'empreinte écologique augmente en raison de la nécessité d'étendre la production (28).
- La préservation de la santé de la planète doit englober la santé humaine, sinon on risque des carences ou des déséquilibres alimentaires, également dans les sociétés dites prospères. Il est donc indispensable de considérer non seulement la quantité, mais aussi la qualité des protéines de légumineuses. Cela comprend, outre la teneur en acides aminés (essentiels), aussi la digestibilité et la biodisponibilité, lesquelles influencent de manière décisive la valeur nutritive pour les êtres humains (29).



ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES PROTÉINES

Le corps humain n'a pas directement besoin de protéines, mais d'acides aminés, d'azote et de soufre. Les apports recommandés en protéines servent donc plutôt à appliquer de manière pragmatique la couverture des besoins des vingt acides aminés

protéinogènes. Parmi eux, neuf sont considérés comme essentiels car l'être humain n'est pas capable de les synthétiser de novo: l'histidine, l'isoleucine, la leucine, la lysine, la méthionine, la phénylalanine, la thréonine, le tryptophane et la valine.

Apports recommandés en acides aminés essentiels de la FAO/OMS
(en mg/kg de poids corporel et par jour)

Âge	His	Ile	Leu	Lys	Met+ Cys	Phe+ Tyr	Thr	Trp	Val
0,5 – 1	22	36	73	64	31	59	34	9,5	49
1 – 2	15	27	54	45	22	40	23	6,4	36
3 – 10	12	23	44	35	18	30	18	4,8	29
11 – 14	12	22	44	35	17	30	18	4,8	29
15 – 18	11	21	42	33	16	28	17	4,5	28
> 18	10	20	39	30	15	25	15	4,0	26

Source: d'après Adhikari et al., Nutrients 2022

Les onze acides aminés restants sont désignés improprement de «non essentiels» car l'organisme peut en principe les synthétiser lui-même. Il s'agit de l'alanine, l'arginine, l'asparagine, l'acide aspartique, la cystéine, la glutamine, l'acide glutamique, la glycine, la proline, la sérine et la tyrosine. Il faut toutefois considérer que la synthèse des acides aminés par l'organisme nécessite tant un apport suffisant d'énergie que de tous les acides aminés essentiels. En outre, un bilan azoté équilibré ne peut pas être obtenu uniquement avec un apport d'acides aminés essentiels (30).

La synthèse des protéines musculaires nécessite elle aussi des acides aminés non essentiels et essentiels. Si un seul des acides aminés essentiels n'est pas présent en quantité suffisante, cela diminue la synthèse (principe de l'acide aminé limitant). La synthèse des acides aminés non essentiels par l'organisme peut se révéler trop faible ou augmenter lors d'efforts physiques intenses ou de maladies, si bien que leur apport peut devenir critique. C'est pourquoi les acides aminés arginine, cystéine, glutamine et tyrosine sont qualifiés de «conditionnellement essentiels». Une discussion est en cours pour la glycine et la proline. Les acides aminés dits «non essentiels» ne le sont donc pas du tout au sens littéral; ils sont des nutriments importants qui doivent être apportés par le biais de la nourriture (31).



Déclaration des aliments

Les quantités de protéines figurant dans la plupart des tableaux des valeurs nutritives et sur tous les emballages d'aliments sont exprimées sous forme de protéines brutes! Il s'agit même d'une exigence légale en ce qui concerne les indications mentionnées sur les aliments. Les protéines brutes sont calculées selon la méthode de Kjeldahl, à partir de la teneur en azote analysée multipliée par 6,25 (32). Ce facteur provient de la teneur en azote moyenne des protéines alimentaires (16 %). Or la teneur en azote des protéines alimentaires fluctue entre 15 et 24 % (33). Les protéines lactiques contenant moins d'azote que la moyenne (mais davantage d'azote lié aux protéines, voir ci-dessous), on devrait utiliser pour elles un facteur de 6,38. L'ouvrage de référence «Souci, Fachmann, Kraut» le présente aussi ainsi (34). Cependant, dans de nombreuses autres tables, on ne peut pas voir quel facteur a été utilisé. En utilisant sur les emballages d'aliments le facteur de 6,25 fixé par la loi, la teneur en protéines du lait et des produits laitiers est donc sous-évaluée (35).

La situation est différente avec les protéines végétales: ces dernières contiennent en moyenne davantage d'azote et devraient donc être évaluées avec des facteurs de conversion plus bas, sans quoi leur pourcentage de protéines serait surévalué.* De plus, les sources de protéines végétales contiennent, outre de l'azote lié aux protéines, aussi des quantités significatives d'azote non protéique (NPN ou ANP, p. ex. sous forme de nitrate). Contrairement aux ruminants, les êtres humains adultes ne sont pas capables d'utiliser ces substances pour synthétiser des protéines. Cet azote présente donc une valeur moindre sur le plan nutritionnel par rapport à celui présent dans les acides aminés ou les protéines (36). La part d'azote non protéique dans les légumineuses est non seulement considérable, mais elle fluctue aussi énormément (20 à 60 %) (37). Dans ce contexte, il est véritablement absurde de vouloir comparer directement les quantités de protéines déclarées pour les légumineuses et les produits laitiers.

En outre, la digestibilité des acides aminés n'est pas non plus prise en compte dans les teneurs en protéines brutes indiquées dans les tableaux de valeurs nutritives et sur les emballages! Partant, la quantité de protéines (utilisables) est systématiquement surévaluée pour les aliments végétaux. Si ce fait reste anodin en situations d'apports suffisants ou excédentaires en énergie et en protéines, cela peut être important, et devrait être pris en compte, dans des situations alimentaires marginales, par exemple chez des personnes âgées sarcopéniques, en cas de déficit alimentaire ou dans le cadre de régimes réduits en énergie ou végétalien. Ainsi, d'un point de vue nutritionnel et dans une perspective de durabilité, il n'est pas correct de comparer les teneurs en protéines des aliments végétaux et animaux sur une base d'un gramme pour un gramme.



* p. ex. env. 19 % pour les amandes, ce qui correspond à un facteur de conversion de 5,20, env. 18 %, pour le soja, ce qui correspond à un facteur de conversion de 5,61 (d'après: Craddock, JC et al., Curr Nutrition Reports 2021; 10:93–98)

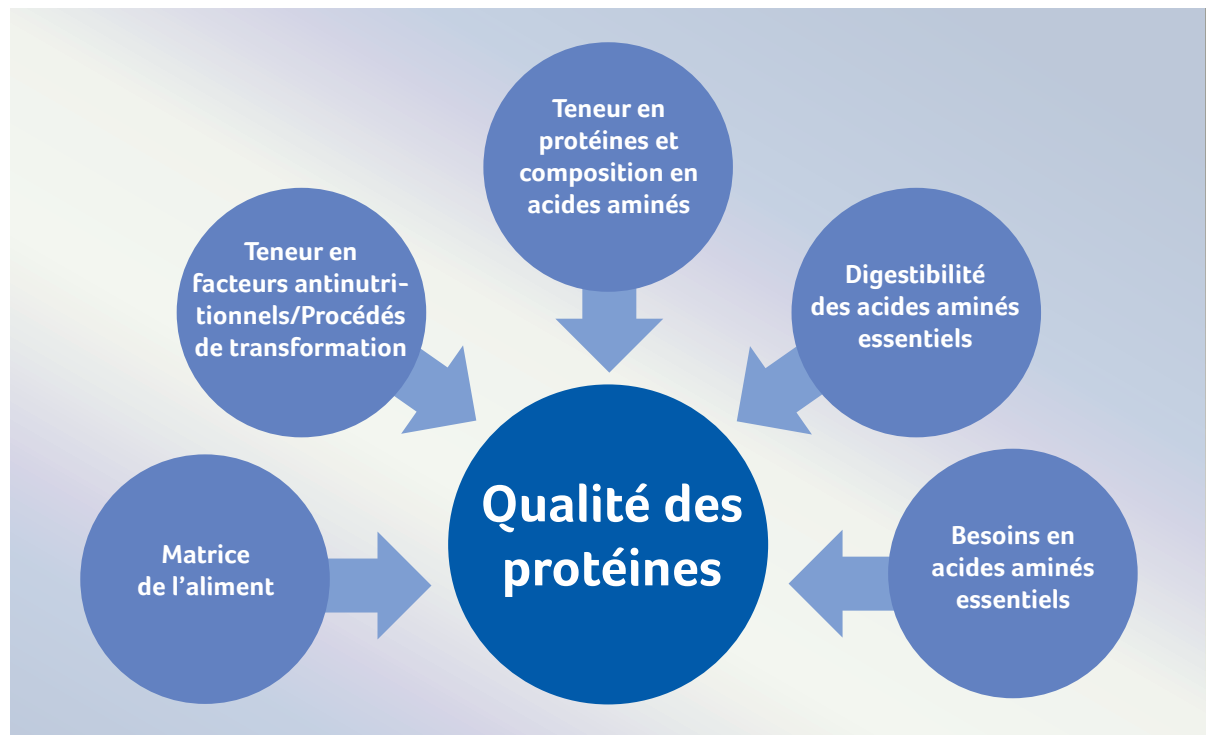
Un aspect décisif: les liens physiologiques

Les apports recommandés de protéines pour les adultes (0,8 à 1 g/kg de poids corporel) se réfèrent explicitement à un apport mixte de protéines végétales et de protéines animales de haute qualité provenant des œufs, du lait, de la viande ou du poisson avec une digestibilité réelle d'au moins 95 % (38). Dans ses recommandations, l'institut américain de médecine (IOM) part du principe que les personnes végétariennes couvrent environ la moitié de leurs besoins en protéines avec des aliments d'origine animale (39), ce qui n'est toutefois généralement pas le cas, encore moins avec une alimentation végétalienne (40).

En outre, les quantités recommandées doivent uniquement permettre d'atteindre un bilan azoté équilibré et pas d'assurer une santé optimale ou la prévention de maladies métaboliques vasculaires.

Il s'ensuit que les apports recommandés en protéines devraient être plus élevés, aussi bien pour la prévention que pour les végétariens et surtout pour les végétaliens, en particulier aussi s'il s'agit de personnes âgées (41) ou de sportifs. Une étude transversale avec des personnes pratiquant des sports d'endurance, dont 38 omnivores et 22 végétariennes, a montré qu'une alimentation omnivore conduit à un meilleur approvisionnement en protéines et est corrélée à davantage de masse corporelle maigre et de force: la qualité des protéines déterminée au moyen du DIAAS (voir ci-après) était supérieure de 11 % comparé au régime végétarien et la quantité de protéines biodisponibles de 43 % (42). Pour atteindre la quantité de protéines recommandées de 1,2 à 1,4 g par kilo de poids corporel, les athlètes végétariens devraient consommer quotidiennement 10 à 22 g de protéines végétales en plus.

Facteurs influençant la qualité des protéines d'un aliment



De nombreux chiffres-clés, beaucoup de confusion

Acide aminé limitant, valeur biologique (VB) ou score chimique (Chemical Score): de nombreux professionnels de la nutrition connaissent certainement l'une ou l'autre de ces méthodes d'évaluation de la qualité des protéines depuis leurs études. Celles-ci proviennent souvent de l'alimentation animale mais elles ne sont pas facilement transposables sur les êtres humains. Une des raisons à cela est que la digestibilité des protéines et des acides aminés n'est pas prise (convenablement) en compte.

Valeur biologique (VB)

La valeur biologique (VB) ne compare que la quantité d'acides aminés de la protéine à évaluer avec celle de l'œuf de poule, cette dernière étant considérée comme la protéine de la plus haute qualité, avec une VB fixée à 100. D'après cette méthode, le lait de vache affiche une VB de 88. Pour les légumineuses, les valeurs mentionnées dans la littérature fluctuent, les lentilles affichant la VB la plus basse, de 45, suivies des pois et des haricots, avec des valeurs comprises entre 60 et 70, et du soja, avec une VB de 80 (43) (45) (46).

Acide aminé limitant

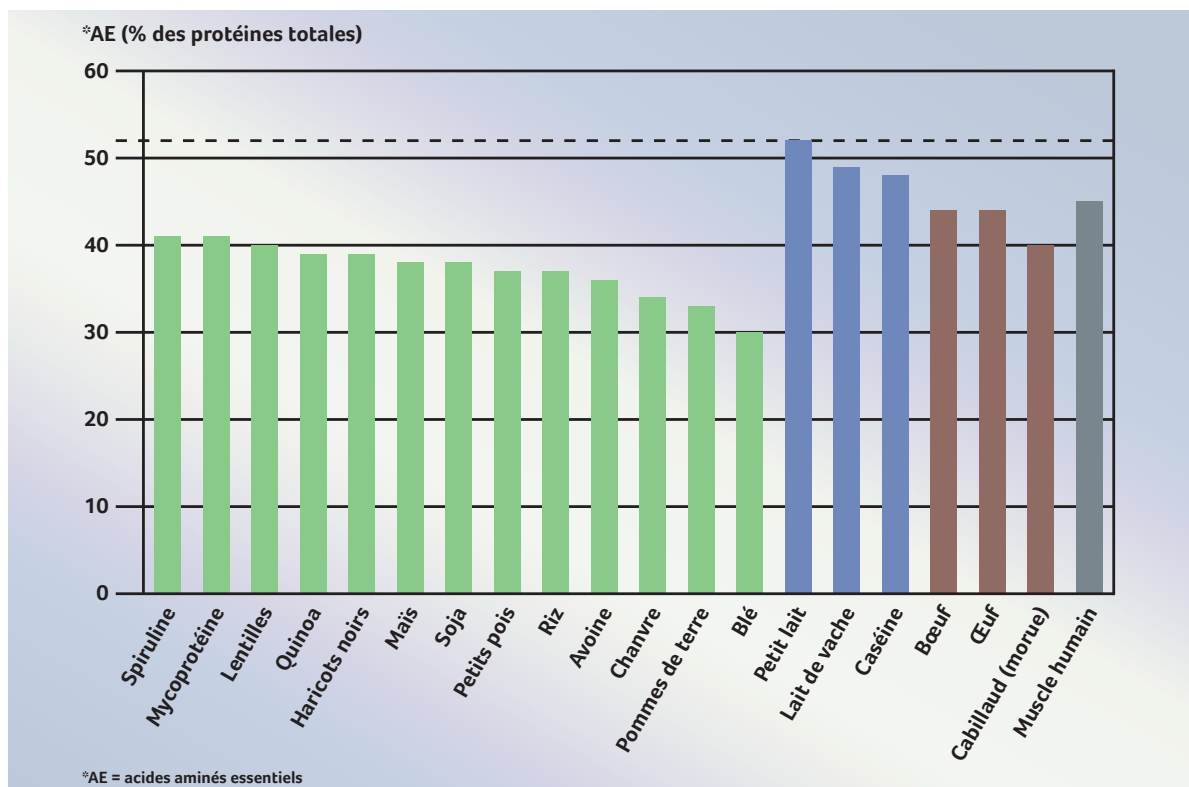
Les chiffres-clés précédemment mentionnés se réfèrent à l'utilité des protéines alimentaires pour la synthèse de nouvelles protéines corporelles ou l'obtention d'un bilan azoté équilibré. La synthèse de protéines corporelles est restreinte par l'acide aminé essentiel limitant d'une protéine, car l'organisme a besoin de tous les acides aminés essentiels. L'acide aminé limitant est l'acide aminé essentiel présent dans la plus faible concentration. L'acide aminé limitant est la lysine dans la protéine de blé, le tryptophane dans la protéine de maïs et la méthionine dans les protéines de légumineuses ainsi que dans le lait.

Teneur totale en acides aminés essentiels

La teneur totale en acides aminés essentiels d'une protéine ne doit pas non plus être négligée lors de l'évaluation. Prenons l'exemple des protéines du lait: comme dans les légumineuses, l'acide aminé limitant est la méthionine, un acide aminé soufré; cependant, contrairement à de nombreuses protéines végétales, les protéines du lait contiennent suffisamment de méthionine pour couvrir les besoins avec des portions de taille usuelle. Comme le montre le graphique suivant, le pourcentage d'acides aminés essentiels dans les protéines des légumineuses se situe entre 37 et 40 %, tandis qu'il oscille entre 48 et 52 % dans les protéines lactiques, soit environ un quart de plus et ce chiffre est même supérieur à la teneur dans le muscle humain. La situation est similaire avec les teneurs en leucine, un acide aminé déterminant pour la formation du muscle: elles se situent entre 7,8 et 8,4 % dans les lentilles, les pois, les haricots et le soja, et entre 10,2 et 13,6 % dans les protéines lactiques, et sont donc de 35 à 50 % plus élevées (46).



Parts d'acides aminés essentiels sur les protéines totales



Source: d'après: van Vliet, S et al., J Nutr 2015

Pour évaluer la qualité des protéines pour l'alimentation humaine, deux échelles, qui tiennent compte de la digestibilité des protéines, sont actuellement utilisées, le PDCAAS (Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score) et le DIAAS (Digestible Indispensable Amino Acid Score). La digestibilité est particulièrement importante avec les protéines de légumineuses, car elle est inférieure à celle des aliments d'origine animale, en raison non seulement des facteurs anti-nutritionnels, mais aussi de la teneur élevée en fibres alimentaires. Elle dépend aussi de la forme sous laquelle les aliments se trouvent: ainsi, la digestibilité iléale des protéines (= digestibilité des protéines jusqu'à la fin de l'intestin grêle, voir encadré) des pois chiches, des haricots et des pois se situe entre 56 et 74 %, celle des aliments d'origine animale est supérieure à 95 %. Toutefois, si les protéines végétales sont utilisées sous forme de concentré (60 à 90 % de protéines) ou d'isolat (> 90 % de protéines), par exemple pour des shakes protéinés, la digestibilité iléale grimpe aussi jusqu'à > 95 % (47) (48). L'extrusion utilisée dans l'industrie alimentaire conduit aussi à une nette amélioration de la digestibilité iléale des aliments d'origine végétale (49).

Digression: digestibilité des acides aminés

Pendant longtemps, la digestibilité des différents aliments protéiques ne pouvait être déterminée qu'à l'aide d'essais d'alimentation impliquant diverses espèces animales (surtout des rats et des porcs, voir ci-après). Depuis quelques années, on s'efforce aussi de la calculer directement sur l'être humain. Une méthode, toutefois invasive, consiste à déterminer la digestibilité à la fin de l'intestin grêle, dans l'iléon, car la digestion des protéines y est en grande partie terminée (50).

Depuis peu, des méthodes peu invasives pour déterminer la digestibilité des protéines ou des acides aminés sont disponibles pour les êtres humains. Elles sont toutefois exigeantes et n'ont été réalisées que pour quelques aliments: les acides aminés sont marqués avec des isotopes, durant la culture des plantes déjà, de telle sorte que leur présence peut être mesurée dans le sang après l'ingestion et la digestion. Ces valeurs sont ensuite comparées avec la digestibilité (connue) d'une protéine de référence (51).

DIAAS vs PDCAAS: une nouvelle échelle loin d'être adoptée

Recommandé en 1991 par l'OMS/FAO en tant que «meilleure méthode d'évaluation», le PDCAAS a été la première échelle qualitative internationale usuelle qui prend en compte la digestibilité. Ce «Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score» peut être traduit à peu près ainsi: échelle d'évaluation de l'acide aminé corrigée de la digestibilité. Le PDCAAS

a classé les protéines de soja, de lait et d'œuf au même niveau, contrairement à la VB (52). C'est pourquoi cet indice est, aujourd'hui encore, très volontiers utilisé par les fabricants d'aliments végétaux (53). Pourquoi ce décalage, alors que les protéines animales contiennent davantage d'acides aminés essentiels par gramme de protéines et qu'elles sont généralement mieux digestibles que les protéines végétales?

Valeurs PDCAAS de quelques sources de protéines

Source	PDCAAS, plafonné	PDCAAS, non plafonné
Protéine de lait	1,00	1,16
Protéine lactosérique	1,00	1,07
Œuf (cuit)	1,00	1,05
Isolat de protéine de soja	1,00	0,93
Caséine	1,00	1,20
Viande de bœuf	1,00	1,14
Farine de soja	0,98	
Pois, cuit	0,60	
Gruau d'avoine, cuit	0,67	
Protéine de blé	0,50	

Source: Burd, NA et al., Sports Medicine 2019; 49: 59-68

Celui-ci est directement lié à la méthodologie du PDCAAS et aux dispositions relatives à son application: parmi elles figure le fait que les valeurs PDCAAS devaient toujours être arrondies et qu'elles ne pouvaient pas être supérieures à 1, et donc qu'elles étaient plafonnées. Les protéines de soja pouvaient ainsi être arrondies vers le haut, tandis que les protéines lactosériques et d'œuf, dont le PDCAAS est supérieur à 1, ne pouvaient se voir attribuer qu'une valeur maximale de 1. Non seulement cela paraît illogique, mais encore il n'est ainsi plus possible d'identifier quelle protéine de qualité peut le mieux compléter une autre dont la valeur est inférieure à 1. Cela a donné lieu à de vives critiques et au fait que des valeurs PDCAAS «non plafonnées» ont parfois été publiées. Tout cela montre à nouveau clairement que les protéines animales présentent la plupart du temps une valeur plus élevée que les protéines végétales, les protéines de soja affichant de très bons résultats parmi ces dernières.

Il existe toutefois d'autres points critiques (54): pour déterminer le PDCAAS, seule la teneur en acide aminé limitant de la protéine à évaluer est comparée à une protéine de référence dont la composition en acides aminés est considérée comme optimale pour la synthèse de protéines corporelles humaines chez les enfants de 2 à 5 ans. L'indice d'acide aminé ainsi déterminé est ensuite corrigé par la digestibilité. Pour cela, on déduit de l'azote apporté par la protéine à évaluer les excréments d'azote dans les fèces déterminées dans le cadre d'une expérimentation animale (digestibilité fécale de l'azote, qui n'est en fait pas la digestibilité réelle des protéines). Une protéine avec un PDCAAS de 0,9 devrait par conséquent être en mesure de couvrir 90 % des besoins en acides aminés essentiels (mesurés par rapport à une protéine de référence).

Un autre point critique du PDCAAS est l'utilisation de la digestibilité fécale de l'azote chez les rats. Ces derniers ne sont en effet pas de bons organismes modèles pour la digestion humaine. En outre, la digestibilité fécale, donc la différence entre la quantité ingérée et excrétée, ne permet pas d'évaluer précisément ce qui a été résorbé dans l'intestin grêle. Beaucoup de choses peuvent encore se passer entre la fin de l'intestin grêle (iléon) et la fin du gros intestin, ce qui restreint la pertinence du PDCAAS. Les matières excrétées au niveau fécal contiennent ainsi par exemple aussi de l'azote provenant de cellules intestinales exfoliées et du microbiote. Le fait que les protéines végétales contiennent aussi de l'azote non protéique a déjà été évoqué précédemment. Cela peut à nouveau modifier les valeurs PDCAAS en faveur des protéines végétales (55) (56). Malheureusement, le PDCAAS est encore souvent utilisé pour comparer la qualité des protéines de divers aliments. Cela s'explique certainement par le fait qu'on manque encore de données suffisamment fiables pour mettre en place une nouvelle échelle d'évaluation développée depuis longtemps.

L'OMS/FAO a proposé, en 2013 déjà, un meilleur procédé pour l'évaluation de la qualité des protéines: le DIAAS ou «Digestible Indispensable Amino Acid Score», qui signifie: score de digestibilité des acides aminés essentiels. Bien que celui-ci ait été très critiqué pour l'évaluation de régimes alimentaires exclusivement végétaux et ait déjà été rejeté

à cause de cela (57), il résout de nombreux points critiques de son prédécesseur (58). Ainsi, la détermination du DIAAS implique que...

- la digestibilité standardisée de chaque acide aminé essentiel soit déterminée, pas seulement la digestibilité apparente de l'acide aminé limitant. Cela correspond davantage aux conditions physiologiques.
- la digestibilité iléale des acides aminés soit déterminée, si possible sur des porcs en croissance. Le porc est considéré comme un meilleur modèle animal que le rat, car il est plus proche de l'être humain. De plus, la digestibilité des acides aminés à la fin de l'iléon se rapproche davantage de la digestibilité réelle que la digestibilité fécale utilisée auparavant (59).
- il ne soit pas plafonné et puisse être additionné. Il est ainsi possible de déterminer des combinaisons idéales de protéines au moyen du DIAAS (effet complémentaire des protéines en raison des différents acides aminés limitants) et la qualité des protéines de repas entiers peut être évaluée.
- il recommande, pour la digestibilité de la lysine, de corriger selon la mesure dans laquelle le procédé de transformation ou l'action de la chaleur a rendu cet acide aminé indisponible (réaction de Maillard).
- il fournisse des valeurs de référence pour trois classes d'âge (au lieu d'une seule).

Valeurs de référence de l'OMS/FAO pour les acides aminés avec la méthode DIAAS (en mg/g des besoins en protéines!) (60)

Classe d'âge (années)	His	Ile	Leu	Lys	Met + Cys	Phe + Tyr	Thr	Trp	Val
Nourrissons (0 à 6 mois)	21	55	96	69	33	94	44	17	55
Jeunes enfants (6 mois à 3 ans)	20	32	66	57	27	52	31	8,5	43
Enfants de plus de 3 ans, adolescents et adultes	16	30	61	48	23	41	25	6,6	40

Source: FAO 2013

Une comparaison des valeurs DIAAS et PDCAAS a montré que le PDCAAS a tendance à sous-évaluer les protéines de haute qualité, telles que les protéines lactiques, et à surestimer les protéines de qualité inférieure, telles que les protéines de blé. Cela peut avoir de l'importance, en particulier chez les personnes dont les apports énergétiques sont marginaux, dont l'état nutritionnel est critique ou qui subissent des restrictions dans le choix des aliments (61).

Évaluation des scores DIAAS

Aucune affirmation positive sur la qualité des protéines ne peut être formulée pour des valeurs DIAAS inférieures à 75. Les aliments dont les valeurs DIAAS

sont comprises entre 75 et 99 sont considérés comme des sources de protéines de «haute qualité», ceux avec des valeurs égales ou supérieures à 100 comme «excellentes». Comme le montre le tableau, les protéines de soja et de lait se trouvent dans la catégorie «excellent», les protéines de pois et de lupin dans «haute qualité» tandis que les protéines de fève ne présentent pas de qualité particulière.

Important: si le DIAAS est supérieur à 100, l'acide aminé limitant ne joue plus de rôle particulier pour la qualité de la source de protéines, car cette dernière en contient suffisamment pour couvrir les besoins ou satisfaire à la valeur de référence.

DIAAS d'acides aminés essentiels et de protéines ainsi que d'acides aminés limitants de diverses légumineuses et protéines lactiques

Valeurs moyennes pour la classe d'âge dès 3 ans (y compris les adolescents et les adultes)

Source de protéine	DIAAS pour la leucine	DIAAS pour la méthionine et la cystéine*	DIAAS pour la protéine*	Acide aminé limitant
Protéine de fève	103	64	64	Méthionine + cystéine
Protéine de lupin	104	83	83	Méthionine + cystéine
Protéine de pois	94	83	83	Méthionine + cystéine
Protéine de soja	110	106	103	n. a.**
Protéine lactosérique	145	152	106	n. a.**
Caséine	152	137	137	n. a.**

* Le DIAAS de l'acide aminé limitant détermine le DIAAS de l'ensemble de la protéine mais seulement tant que le DIAAS de l'acide aminé limitant est inférieur à 100.

** n. a. = non applicable, car lorsque les valeurs DIAAS sont supérieures à 100, la quantité d'acide aminé limitant dans la protéine suffit pour couvrir les besoins (pour un apport recommandé en protéines de 0,66 g/kg de poids corporel)

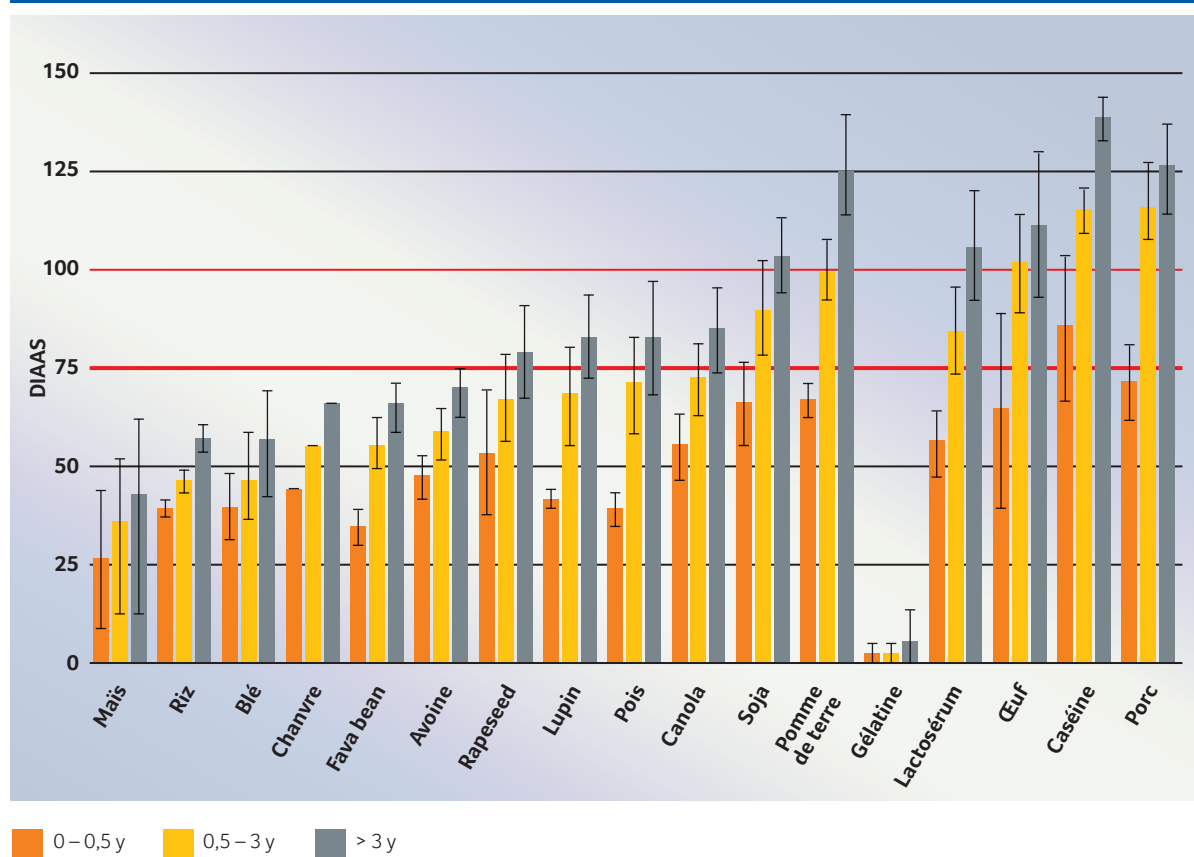
Source: sélection de valeurs provenant du tableau S3 tiré de Herreman, L, Food Sci Nutr 2020; 8: 5379–5391



Comme le montrent les écarts-types (traits noirs verticaux) dans le graphique suivant, les valeurs DIAAS des aliments fluctuent parfois considérablement. Cela est entre autres dû aux différents procédés de transformation des aliments et fourrages analysés (p. ex. cru ou cuit), ainsi qu'aux différences méthodologiques dans les diverses études. La détermination de la qualité des protéines reste donc un exercice délicat. Le graphique montre cependant

aussi que les protéines animales, à l'exception de la gélatine, se situent plus souvent et plus haut dans la catégorie «excellent» que de nombreuses protéines végétales (à l'exception des protéines de soja et de pomme de terre). Ces informations permettent d'identifier de bonnes combinaisons de protéines pour les différentes classes d'âge (62). Cet aspect sera développé dans la deuxième partie du dossier.

Valeurs DIAAS moyennes de diverses sources de protéines



Source: Herreman et al., Food Science & Nutrition 2020; 8: 5379–5391



SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES

Il est grand temps de rendre notre alimentation plus durable. Dans ce but, on recommande souvent en bloc une alimentation végétale. Cela est toutefois peu pertinent, d'une part parce que l'alimentation se compose déjà d'environ 75 % d'aliments d'origine végétale, aussi dans les pays industrialisés (63) et, d'autre part, parce qu'on ne considère pas la valeur nutritionnelle des aliments. Ainsi la quantité de protéines apportées n'est pas le seul aspect déterminant, il y a aussi la qualité, notamment la teneur en acides aminés essentiels et leur digestibilité. La détermination de la qualité des protéines reste toutefois difficile, car elle est influencée par une multitude de facteurs. Toutes les méthodes développées jusqu'ici connaissent des limites.

Les légumineuses sont des aliments végétaux de haute valeur et riches en protéines, qui fournissent également des quantités significatives de vitamines, minéraux et fibres alimentaires. La digestibilité des protéines, en particulier, est toutefois entravée par la matrice de l'aliment et la présence de facteurs antinutritionnels. Afin de réduire les facteurs antinutritionnels et d'alléger la matrice, les légumineuses doivent être soigneusement préparées et apprêtées avant d'être consommées. Cela améliore nettement la digestibilité et donc aussi la biodisponibilité des protéines, ce qui augmente la qualité de ces dernières. Les légumineuses peuvent ainsi apporter une précieuse contribution à une alimentation saine et durable, en particulier si elles proviennent de cultures indigènes. Les quantités, les modes de préparation et les combinaisons avec d'autres aliments, qui sont pertinents d'un point de vue nutritionnel, sont traités dans la deuxième partie du dossier.



ANNEXE

Comparaison entre le Planetary Health Diet, les valeurs de référence pour une alimentation complète de la DGE et les apports d'aliments dans l'étude nationale allemande sur l'alimentation (NVS) II

Planetary Health Diet		Alimentation complète selon la DGE		Étude nationale allemande sur l'alimentation II	
Groupe d'aliments	Quantité (g/j) (apport énergétique de 2500 kcal/j)	Groupe d'aliments	Valeur de référence (g/j) (apport énergétique de 1600-2400 kcal/j)	Groupe d'aliments	Consommation moyenne (g/j) (apport énergétique de 1968 kcal/j)
Légumes et légumineuses	400 (200-905)	Légumes y.c. légumineuses	≥400	Légumes y.c. légumineuses	134
Légumes	300 (200-600)			Légumes	126
Légumineuses, cuites	140 (0-305)	Légumineuses, cuites	125	Légumineuses, cuites	8
Haricots, lentilles, pois; secs	50 (0-100)				
Haricots, lentilles, pois; cuits	90 (0-180)			Légumineuses, excepté arachides, cuites	7
Soja sec	25 (0-50)				
Arachides	25 (0-75)			Arachides	1

(Les calculs pour les légumineuses cuites ont été effectués avec un facteur de conversion de 1,8.)

Source: Évaluation du PHD par la DGE, ErnUmschau Int, 2022

Comparaison entre le Planetary Health Diet, les valeurs de référence pour une alimentation complète de PSL et les apports d'aliments dans l'enquête nationale sur l'alimentation menuCH

Planetary Health Diet		Alimentation selon les recommandations de PSL		Enquête nationale sur l'alimentation menuCH	
Groupe d'aliments	Quantité (g/j) (apport énergétique de 2500 kcal/j)	Groupe d'aliments	Valeur de référence (g/j) (apport énergétique de 2150 kcal/j)	Groupe d'aliments	Consommation moyenne (g/j) (apport énergétique de 2232 kcal/j)
Légumes et légumineuses	440	Légumes et légumineuses	391	Légumes et légumineuses	n.d.
Légumes	300	Légumes	360	Légumes	3,3 %, 101-303
Légumineuses totales, cuites	140	Légumineuses totales, cuites	31	Légumineuses	5
Légumineuses, sèches	50	Légumineuses, sèches	11 (80 g/portion, légumineuses recom. 1×/semaine)		
Légumineuses, cuites	90	Légumineuses, cuites	20		
Soja sec	25				
Arachides	25				

(Les calculs pour les légumineuses cuites ont été effectués avec un facteur de conversion de 1,8.)

Sources: PHD (d'après: Willett, W et al.: Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. Lancet 2019; 393: 447-492); pyramide alimentaire de PSL; OSAV, Enquête nationale sur l'alimentation menuCH 2014/2015

BIBLIOGRAPHIE ET RÉPERTOIRE DES SOURCES

- (1) KErn, Kompetenzzentrum für Ernährung (Hrsg.): Hülsenfrüchte. Landesanstalt für Landwirtschaft. Freising, 2018
- (2) <https://www.alnatura.ch/de/aktuelles/thema-des-monats/huelsenfruechte-als-klimaschuetzer.html>
- (3) <https://www.alnatura.ch/de/aktuelles/thema-des-monats/huelsenfruechte-als-klimaschuetzer.html>
- (4) Willett, W et al.: Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. Lancet 2019;393:447–492
- (5) Schaafsma, G: The protein digestibility-corrected amino acid score. J Nutr 2000;130:1865–1867
- (6) Breidenassel, C et al.: Einordnung der Planetary Health Diet anhand einer Gegenüberstellung mit den lebensmittelbezogenen Ernährungsempfehlungen der DGE. Ein DGE-Statement. Ernährungs Umschau International 2022;69:56–72
- (7) Willett, W et al.: Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. Lancet 2019;393:447–492
- (8) ONU, 2016: Objectifs de développement durable (ODD) – Sustainable Development Goals (SDGs) <https://biofarm.ch/de/landwirtschaft/anbau/hulsenfruchte>
- (9) <https://biofarm.ch/de/landwirtschaft/anbau/hulsenfruchte>
- (10) <https://biofarm.ch/de/landwirtschaft/anbau/hulsenfruchte>
- (11) KErn, Kompetenzzentrum für Ernährung (Hrsg.): Hülsenfrüchte. Landesanstalt für Landwirtschaft. Freising, 2018
- (12) <https://de.wikipedia.org/wiki/Vicin>
- (13) <https://www.pollenundallergie.ch/home/petits-pois-en-vogue-mais-peuvent-provoquer-des-allergies>
- (14) Skypala IJ: Food-induced anaphylaxis: Role of hidden allergens and cofactors. Frontiers in Immunology 2019;10:673
- (15) <https://www.daab.de/blog/2022/04/erbsenproteine-das-sollten-allergiker-wissen/>
- (16) Bar-El Dadon, S et al.: Food allergy and cross-reactivity – chickpea as a test case. Food Chemistry 2014;165:483–488
- (17) Wensing, M et al.: Patients with anaphylaxis to pea can have peanut allergy caused by cross-reactive IgE to vicilin (Ara h 1). J Allergy Clin Immunol 2003;111:420–424
- (18) Garcia-Arteaga, V et al.: Screening of twelve pea (Pisum sativum L.) cultivars and their isolates focusing on the protein characterization, functionality, and sensory profiles. Foods 2021;10:758
- (19) Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires OSAV (éd.): Bulletin nutritionnel suisse, Berne 2019
- (20) Office fédéral de la sécurité alimentaire et des affaires vétérinaires OSAV (éd.): Consommation de céréales, de pommes de terre et de légumineuses en Suisse en 2014 et 2015. Communiqué sur l'enquête nationale sur l'alimentation menuCH 2017
- (21) d'après: Paul, S: Brainfood Praxis: Linsen richtig verwenden. <https://www.nerven-power.de/brainfood-praxis-linsen-richtig-verwenden/>
- (22) Rivera del Rio, A et al.: Effect of Fractionation and Processing Conditions on the Digestibility of Plant Proteins as Food Ingredients. Foods 2022;11:870
- (23) Dans l'alimentation intégrale et parmi les consommatrices et consommateurs ayant une approche particulièrement durable, il est parfois recommandé de ne pas jeter l'eau de trempage. Toutefois, si l'objectif est de diminuer le plus globalement possible les teneurs en facteurs antinutritionnels, cette dernière ne devrait pas être utilisée pour cuisiner.

- (24) Paul, S: Brainfood Praxis: Linsen richtig verwenden. <https://www.nerven-power.de/brainfood-praxis-linsen-richtig-verwenden/>
- (25) Paul, S: Brainfood Praxis: Linsen richtig verwenden. <https://www.nerven-power.de/brainfood-praxis-linsen-richtig-verwenden/>
- (26) Willett, W et al.: Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet* 2019;393:447–492
- (27) Breidenassel, C et al.: Einordnung der Planetary Health Diet anhand einer Gegenüberstellung mit den lebensmittelbezogenen Ernährungsempfehlungen der DGE. Ein DGE-Statement. *Ernaehrungs Umschau International* 2022;69:56–72
- (28) Tessari, P et al.: Essential amino acids: master regulators of nutrition and environmental footprint? *Scientific Reports* 2016;6:26074
- (29) Moreno, LA et al.: Perspective: Striking a balance between planetary and human health – Is there a path forward? *Adv Nutrition* 2022;13:355–375
- (30) Richter, M et al.: Revised reference values for the intake of protein. *Annals of Nutrition & Metabolism* 2019;74:242–250
- (31) Wu, G: Dietary protein intake and human health. *Food & Function* 2016;7:1251–1265
- (32) <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:02011R1169-20180101>
- (33) Richter, M et al.: Revised Reference Values for the Intake of Protein. *Ann Nutr Metab* 2019;74:242–250
- (34) Souci, Fachmann, Kraut: La composition des aliments. Tableaux des valeurs nutritives. 8e édition révisée et complétée, MedPharm, Stuttgart 2016
- (35) Craddock, JC et al.: Limitations with the Digestible Indispensable Amino Acid Score (DIAAS) with Special Attention to Plant-Based Diets: a Review. *Current Nutrition Reports* 2021;10:93–98
- (36) p. ex.: Peter Ballerstedt sur Twitter: <https://twitter.com/grassbased/status/1086186041910927360>
- (37) Periago, MJ et al.: Variations of non-protein nitrogen in six Spanish legumes according to the extraction method used. *Food Res Int* 1996;29:489–494, zit. n. Colombani, P, Mannhardt, C: Der deklarierte Proteingehalt täuscht. *Notabene Nutrition*, article du 19.4.2022
- (38) DACH (Hrsg.): Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr. Umschau/Braus, Frankfurt 2000
- (39) Institute of Medicine: Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids. National Academic Press, Washington, 2005
- (40) Kniskern, MA et al.: Protein dietary reference intakes may be inadequate for vegetarians if low amounts of animal protein are consumed. *Nutrition* 2011;27:727–730
- (41) Domic, J et al.: Perspective: Vegan diets for older adults? A perspective on the potential impact on muscle mass and strength. *Advances in Nutrition* 2022;13:712–725
- (42) Ciuris, C et al.: A Comparison of Dietary Protein Digestibility, Based on DIAAS Scoring, in Vegetarian and Non-Vegetarian Athletes. *Nutrients* 2019;11:3016
- (43) Biesalski, HK, Vaupel, P (Hrsg.): Ernährungsmedizin, Proteine. Thieme, Stuttgart 2017, S. 145–158
- (44) Erbersdobler, H et al.: Körnerleguminosen in der Humanernährung. Nährstoffgehalt und Proteinqualität von Hülsenfrüchten. *Ernaehrungs Umschau international* 2017;9:134–138
- (45) Pfeuffer, M et al.: Hülsenfrüchte in der Humanernährung. Gesundheitliche Aspekte – Teil 1. *Ernährungs Umschau* 2020;9:M516-M521
- (46) van Vliet, S et al.: The skeletal muscle anabolic response to plant- versus animal-based protein consumption. *J Nutr* 2015;145:1981–1991
- (47) Kashyap S et al.: True ileal digestibility of legumes determined by dual-isotope tracer method in Indian adults. *American Journal of Clinical Nutrition* 2019;110:873–882

- (48) Devi, S et al.: Measurement of protein digestibility in humans by a dual-tracer method. *American Journal of Clinical Nutrition* 2018;107:984–991
- (49) Herreman, L et al.: Comprehensive overview of the quality of plant- and animal-sourced proteins based on the digestible indispensable amino acid score. *Food Science & Nutrition* 2020;8:5379–5391
- (50) Adhikari, S et al.: Protein Quality in Perspective: A Review of Protein Quality Metrics and Their Applications. *Nutrients* 2022;14:947
- (51) Adhikari, S et al.: Protein Quality in Perspective: A Review of Protein Quality Metrics and Their Applications. *Nutrients* 2022;14:947
- (52) Rutherfurd, SM et al.: Protein digestibility-corrected amino acid scores and digestible indispensable protein quality in growing male rats. *Journal of Nutrition* 2015;145:372–379
- (53) <https://proveg.com/de/ernaehrung/naehrstoffe/eiweiss-proteinmangel-vegan-vorbeugen/> (consulté le 29.6.2022, dernière mise à jour en 2018)
- (54) Schaafsma, G: Advantages and limitations of the protein digestibility-corrected amino acid score (PDCAAS) as a method for evaluating protein quality in human diets. *British Journal of Nutrition* 2012;108:333–336
- (55) Boye, J et al.: Protein quality evaluation twenty years after the introduction of the protein digestibility corrected amino acid score method. *British Journal of Nutrition* 2012;108:183–211
- (56) Sarwar, G: The protein digestibility-corrected amino acid score method overestimates quality of proteins containing antinutritional factors and of poorly digestible proteins supplemented with limiting amino acids in rats. *Journal of Nutrition* 1997;127:758–764
- (57) Craddock, JC et al.: Limitations with the Digestible Indispensable Amino Acid Score (DIAAS) with Special Attention to Plant-Based Diets: a Review. *Current Nutrition Reports* 2021;10:93–98
- (58) Herreman, L et al.: Comprehensive overview of the quality of plant- and animal-sourced proteins based on the digestible indispensable amino acid score. *Food Science & Nutrition* 2020;8:5379–5391
- (59) Moughan, P, Wolfe, RR: Determination of dietary amino acid digestibility in humans. *Journal of Nutrition* 2019;149:2101–2109
- (60) FAO Protein Quality subcommittee 2012: <https://www.fao.org/ag/humannutrition/35978-02317b979a686a57aa4593304ffc17f06.pdf>
- (61) Rutherfurd, SM et al.: Protein digestibility-corrected amino acid scores and digestible indispensable protein quality in growing male rats. *Journal of Nutrition* 2015;145:372–379
- (62) Herreman, L et al.: Comprehensive overview of the quality of plant- and animal-sourced proteins based on the digestible indispensable amino acid score. *Food Science & Nutrition* 2020;8:5379–5391
- (63) Rubach, M: Die Ökobilanz auf dem Teller. Hirzel, Stuttgart 2020



Producteurs Suisses de Lait PSL
swissmilk
Santé & saveur

Weststrasse 10
CH-3000 Berne 6

+41 31 359 57 28
marketing@swissmilk.ch
www.swissmilk.ch

© swissmilk 2022

Suisse. Naturellement.

