

LES PROTÉINES DANS L'ALIMENTATION : VERS UN ÉQUILIBRE ANIMAL – VÉGÉTAL

État des lieux établi par le Fonds français pour l'alimentation et la santé

SOMMAIRE

INTRODUCTION	p.1
I. LES PROTÉINES : DES ACTEURS INDISPENSABLES À LA VIE	p.2
I.1 Les protéines : définition et métabolisme	p.2
I.2 Les besoins protéiques de l'Homme	p.4
I.3 Couverture des besoins protéiques dans la population française	p.5
II. PROTÉINES ANIMALES ET PROTÉINES VÉGÉTALES : QUELLES DIFFÉRENCES ?	p.6
II.1 Des différences de consommation	p.6
II.2 Des différences d'origine	p.7
II.3 Des différences de teneur en protéines.....	p.7
II.4 Des différences de composition selon les sources	p.8
II.5 Des différences de digestibilité	p.9
II.6 Des différences dans les nutriments associés	p.10
III. PROTÉINES VÉGÉTALES / ANIMALES, ÉQUILIBRE ALIMENTAIRE ET SANTÉ	p.11
IV. CONSIDÉRATIONS ENVIRONNEMENTALES	p.13
IV.1 Utilisation des ressources environnementales liée aux productions animales	p.13
IV.2 Impacts environnementaux des productions animales	p.15
IV.3 Impacts environnementaux des productions végétales	p.16
CONCLUSIONS	p.17
RÉFÉRENCES	p.18
ANNEXES	p.21

INTRODUCTION

Parmi les nombreux débats et controverses qui se développent à propos de l'alimentation, figure celui des places respectives occupées par les protéines d'origine animale et végétale dans l'alimentation des Français et plus généralement dans les régimes dits occidentaux.

Cet état des lieux réalisé par le Fonds français pour l'alimentation et la santé a pour objectif d'apporter des informations de base indispensables à une bonne compréhension par le public non spécialisé des

RÉSUMÉ

La place respective des protéines d'origine animale et végétale dans les régimes occidentaux suscite de nombreux débats.

Si les aliments vecteurs de protéines d'origine animale ou d'origine végétale peuvent, en théorie, couvrir les besoins azotés et protéiques, ils sont complémentaires, chacun étant source d'autres nutriments d'intérêt. En France, comme dans la plupart des pays occidentaux, les apports alimentaires entre protéines animales et protéines végétales sont voisins d'un rapport 2/1. Un rapport plus équilibré, proche de 1, est recommandé, afin de réduire les conséquences pour la santé qu'induit une consommation excessive de l'une ou de l'autre des sources de protéines alimentaires.

Sur le plan environnemental, la production d'aliments vecteurs de protéines animales a des conséquences souvent soulignées comme étant négatives. Cependant, des points positifs, par exemple en termes de services écosystémiques, sont également à mettre en avant. Par conséquent, une baisse raisonnable des consommations protéiques d'origine animale est recommandée, plutôt qu'un objectif d'éviction. L'exploitation des synergies entre productions végétales et animales à l'échelle d'un territoire constituera un des leviers majeurs pour l'établissement de systèmes alimentaires sûrs, sains et durables, assurant la sécurité alimentaire des populations tout en permettant la maîtrise des impacts environnementaux.

différentes problématiques complexes au centre du débat.

Ce document est centré sur les fonctions complémentaires des différentes sources de protéines contribuant à un équilibre alimentaire favorable à la santé, sans éviter d'aborder l'autre point majeur du débat, qui concerne les conséquences environnementales de l'alimentation actuelle, sujet extrêmement difficile à appréhender dans sa globalité et qui comporte encore de nombreux aspects contradictoires.

I. LES PROTÉINES : DES ACTEURS INDISPENSABLES À LA VIE

I.1 Les protéines : définition et métabolisme

Présentation

Protéines vient du grec *protos*, qui signifie premier, fondamental, d'importance capitale. Les protéines sont un constituant majeur du corps humain, dont la composition moyenne pour un adulte est de 62 % d'eau, 17 % de protéines, 14 % de lipides, 6% de sels minéraux et 1 % de glucides. Les protéines entrent dans la constitution des cellules et sont indispensables au bon fonctionnement de l'organisme (hormones, anticorps, transporteurs, enzymes, structure, contraction musculaire).

D'une durée de vie limitée, elles doivent être renouvelées en permanence pour maintenir leur intégrité structurelle et fonctionnelle. Le maintien de la masse des protéines corporelles résulte d'un équilibre entre leur synthèse (anabolisme) et leur dégradation (catabolisme), qui dépend pour une part des protéines apportées par l'alimentation mais aussi de l'apport énergétique global et de signaux divers (hormones, exercice). Les protéines représentent notamment une source de composants spécifiques indispensables pour l'organisme (azote et acides aminés) et plus marginalement une source d'énergie.

Les protéines se composent d'un enchaînement d'acides aminés (AA, Figure 1), dont le nombre, les proportions relatives, l'ordre d'enchaînement (structure primaire) et l'agencement dans l'espace (structures secondaire, tertiaire et quaternaire) leur donnent l'essentiel de leurs spécificités (nutritionnelle, biologique et/ou fonctionnelle). Par convention, une protéine comportant moins de 50 AA est appelée peptide.

Il existe des centaines d'acides aminés différents dans le monde vivant mais seulement 20 composent les protéines présentes dans l'organisme humain (tableau 1). Les autres acides aminés peuvent donc avoir des fonction « non-protéinogènes » servant d'intermédiaire métabolique (ex : citrulline, ornithine) et de source d'azote pour la synthèse endogène de certains acides aminés.

Métabolisme

Les protéines alimentaires, après digestion, fournissent les précurseurs (acides aminés) pour la

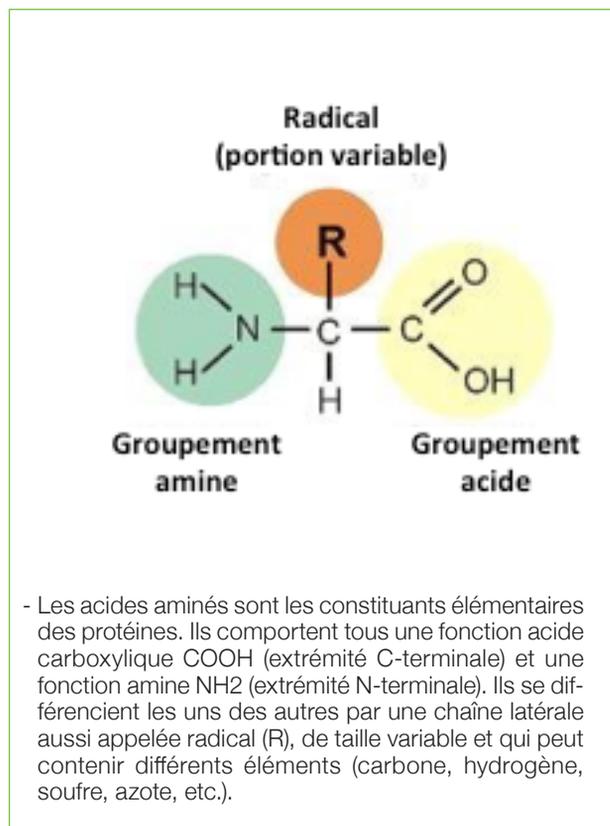


Figure 1 : Comprendre les acides aminés

resynthèse des protéines corporelles, en compensation des pertes et du catabolisme. Le renouvellement protéique journalier (équilibre dynamique entre les protéines nouvellement produites et dégradées) est estimé chez l'homme adulte entre 250 et 300 g/j, soit environ 3 % de la masse protéique totale qui est d'environ 12 kg. Les protéines du foie ou de l'intestin se renouvellent en 1 ou 2 jours, celles des muscles ou des os en plusieurs mois. Ce renouvellement est modulé par des facteurs hormonaux (insuline, hormone de croissance, etc.) et par le statut nutritionnel (apports énergétiques, bilan d'azote...), mais aussi par diverses situations (croissance, grossesse, vieillissement, activité physique, maladies, etc.). Ce renouvellement protéique représente un poste majeur de la dépense énergétique (environ 30 %). Par ailleurs, une partie des acides aminés est oxydée et génère une perte obligatoire d'azote, qui conduit notamment à la formation d'ammoniaque (NH₄) et d'urée, éliminée dans l'urine (figure 2), ce qui détermine le besoin minimal en protéines pour les populations.

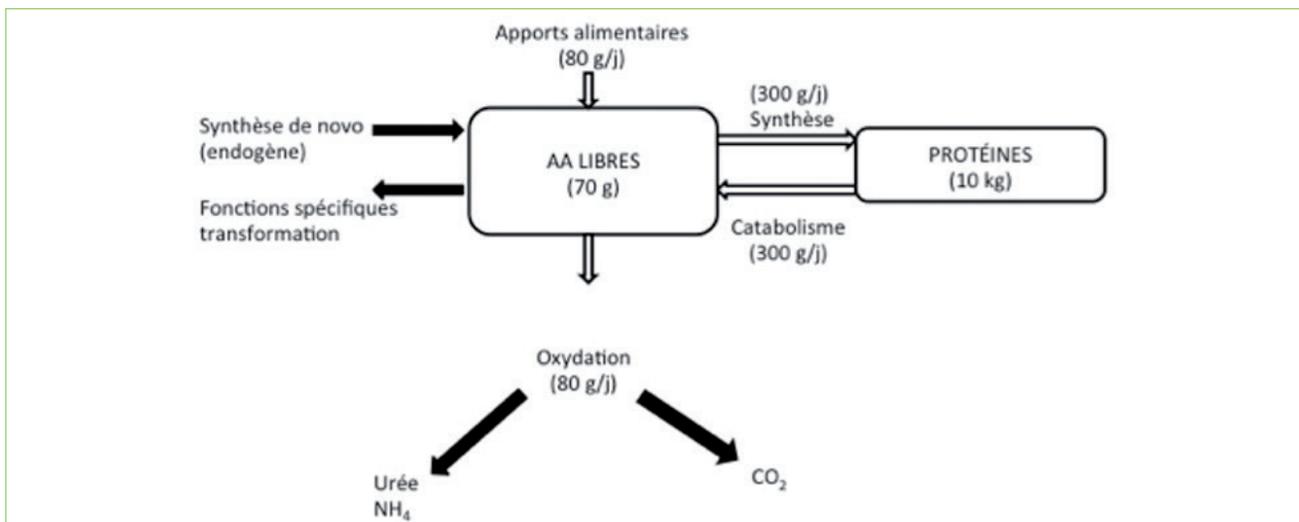


Figure 2 : Le métabolisme des protéines chez l'Homme

Parmi les vingt acides aminés nécessaires à la synthèse protéique des humains, onze peuvent être fabriqués par le métabolisme humain (synthèse de novo). Les neuf autres sont dits indispensables, car l'organisme est incapable de les synthétiser à une vitesse suffisante à partir de précurseurs disponibles via le métabolisme intermédiaire dans l'organisme (Tableau 1). Ils doivent donc obligatoirement être apportés par l'alimentation. Il s'agit de la leucine, l'isoleucine, la lysine, la méthionine, la phénylalanine, la thréonine, le tryptophane, la valine et l'histidine. En outre, dans l'évaluation des besoins, on regroupe comme « acides aminés soufrés » la méthionine et la cystéine (dont la méthionine est le seul précurseur), et de même comme « acides aminés aromatiques » la phénylalanine et la tyrosine (dont la phénylalanine est le seul précurseur).

La cystéine, la tyrosine, l'arginine, la glutamine, la glycine et la proline sont dits « conditionnellement indispensables », c'est-à-dire indispensables sous certaines conditions, notamment lors de pathologies.

Tableau 1 : Les vingt acides aminés nécessaires à la synthèse protéique chez l'Homme

Acides aminés indispensables	Acides aminés non indispensables
<ul style="list-style-type: none"> - Histidine - Isoleucine - Leucine - Lysine - Méthionine (+ cystéine*) - Phénylalanine (+ tyrosine*) - Thréonine - Tryptophane - Valine 	<ul style="list-style-type: none"> - Alanine - Arginine * - Asparagine - Aspartate - Cystéine* - Glutamate - Glutamine* - Glycine* - Proline* - Sérine - Tyrosine* <p>* conditionnellement indispensable</p>

Le déficit en un seul de ces acides aminés indispensables réduit la synthèse protéique (Figure 3). Il est dit « limitant » (cf. II.4). Ces acides aminés ne pouvant être stockés, ils doivent être apportés par l'alimentation, simultanément au cours du même repas (Chardigny et Walrand, 2016).

Un apport équilibré en acides aminés indispensables conditionne la qualité de la synthèse protéique.

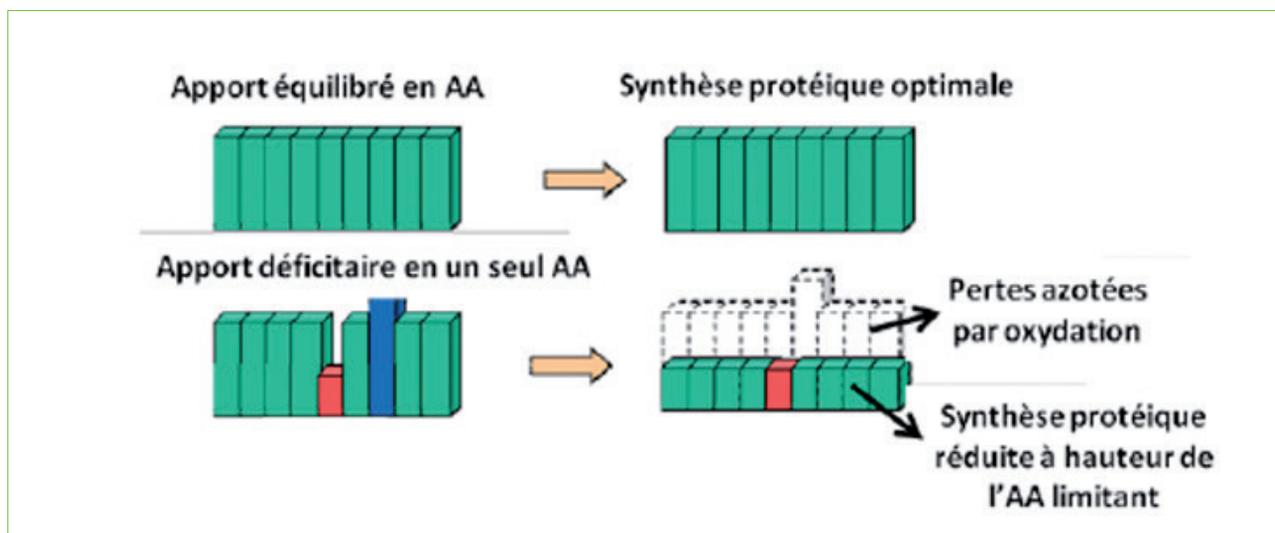


Figure 3 : Nécessité d'un apport équilibré en acides aminés indispensables pour la synthèse protéique

Nos apports alimentaires doivent donc répondre à la fois à des besoins protéiques quantitatifs pour compenser les pertes azotées obligatoires, et qualitatifs pour un apport adéquat en tous les acides aminés indispensables.

1.2 Les besoins protéiques de l'Homme

Les critères permettant de définir les recommandations d'apports en protéines et leur qualité sont encore parfois sujets à controverse du fait d'incertitudes méthodologiques et conceptuelles. Les questions posées sont nombreuses : définition précise de la nature des besoins humains en protéines, en azote et en acides aminés, évaluation de ces besoins dans diverses situations physiologiques, méthodes d'analyse... (Afssa, 2007). Des valeurs repères ont néanmoins été établies.

Besoins azotés

Le bilan azoté, différence entre les apports et les pertes (urinaires, fécales, cutanées...) en azote, doit être équilibré. Le besoin en protéines en découle : chez l'adulte c'est « l'apport minimum en protéines de bonne qualité qui assure l'équilibre du bilan azoté d'un individu en état d'équilibre énergétique et avec une activité physique modérée » (Afssa, 2007). Chez l'enfant, cet apport minimal doit aussi permettre de couvrir les besoins de croissance et permettre un bilan azoté positif.

Besoins en acides aminés indispensables

Les besoins moyens pour les acides aminés indispensables sont indiqués ci-dessous :

- valine : 18 mg/kg/j
- lysine : 30 mg/kg/j
- isoleucine : 18 mg/kg/j
- histidine : 11 mg/kg/j
- thréonine : 16 mg/kg/j
- méthionine + cystéine (acides aminés soufrés) : 15 mg/kg/j
- tryptophane : 4 mg/kg/j
- phénylalanine + tyrosine (acides aminés aromatiques) : 27 mg/kg/j

Bien que sa signification physiologique fasse l'objet de nombreuses discussions (Millward et al., 2008), le bilan azoté reste l'approche de référence car il n'y a pas de consensus concernant d'autres marqueurs pertinents du besoin en protéines.

En France, en accord avec les recommandations nord-américaines (IOM, 2005) et internationales (FAO/WHO/UNU, 2007), le besoin nutritionnel moyen (BNM) a ainsi été établi à 0,66 g de protéines par kg de poids corporel par jour chez l'adulte. La RNP (référence nutritionnelle pour la population), précédemment dénommée ANC (apport nutritionnel conseillé permet-

tant de couvrir les besoins nutritionnels de 95 % de la population), a été estimée à **0,83 g/kg/j** (Afssa, 2007).

Ces références nutritionnelles doivent être adaptées en fonction des groupes de population pour lesquels des besoins différents ont été identifiés (enfants, personnes âgées, sportifs de haut niveau, femmes enceintes et allaitantes, etc.). Par exemple, chez les personnes âgées, les protéines jouent un rôle majeur pour **lutter contre la sarcopénie (ou fonte musculaire) physiologique liée à l'âge. Un besoin accru en protéines par rapport à l'adulte est ainsi reconnu et la RNP est donc augmentée à 1,1 g/kg/jour** (Afssa, 2007 ; Anses, 2017b).

Part des protéines dans les apports énergétiques

L'Anses (2017a) a proposé que les trois groupes de macronutriments représentent respectivement 40 à 50 % de l'apport énergétique pour les glucides, 35 à 40 % pour les lipides et 10 à 20 % pour les protéines (soit 50 à 100 g/j pour un apport standardisé à 2000 kcal/j).

Il est admis que les individus sont capables de s'adapter à des apports protéiques très largement supérieurs à celui à partir duquel leur bilan azoté est équilibré. Dans ce cas, les acides aminés inutilisés pour la synthèse protéique sont oxydés (et fournissent de l'énergie) et l'azote inutilisé est éliminé sous forme d'urée ou d'ammoniaque. Le niveau d'apport maximum tolérable pour lequel un risque est avéré et la nature précise de ce risque restent imprécis (hormis dans l'insuffisance rénale).

La valeur de 3,5 g/kg/j a été identifiée comme correspondant à la capacité maximale d'adaptation de l'uréogénèse chez un adulte de 70 kg ayant une fonction rénale normale (saturation des capacités). L'Afssa a estimé en 2007 que **des apports protéiques compris entre 0,83 et 2,2 g/kg/j peuvent être considérés comme satisfaisants pour un adulte de moins de 60 ans**. Des apports compris entre 2,2 et 3,5 g/kg/j sont considérés comme élevés et ceux supérieurs à 3,5 g/kg/j comme très élevés, inutiles et même dangereux.

I.3 Couverture des besoins protéiques dans la population française

Les données d'observation en France (études INCAs) indiquent que **l'apport protéique des adultes est en moyenne de 1,4 g/kg/j** (~105 g/j pour les hommes, ~ 82 g/j pour les femmes en moyenne), les 5^{ème} et 95^{ème} percentiles (c'est-à-dire les apports observés chez les plus petits et les plus gros consommateurs¹) correspondant respectivement à 0,9 g/kg/j et 2,1 g/kg/j, chez les hommes comme chez les femmes (Anses, 2017c). La quasi-totalité des adultes français de plus de 18 ans ont donc une consommation protéique satisfaisante, c'est-à-dire supérieure à leur besoin individuel. Exprimé en pourcentage de l'apport énergétique sans alcool, l'apport protéique moyen est d'environ 17% chez les adultes, soit dans la fourchette haute de 10-20% recommandée. Cependant, certains groupes (grande précarité, personnes âgées ou lors de pathologies ou de régimes restrictifs sévères) peuvent avoir des apports protéiques insuffisants et sont à risque de dénutrition.

La quasi-totalité des adultes français de plus de 18 ans ont une consommation protéique satisfaisante, c'est-à-dire supérieure à leur besoin individuel.

<1> Par définition, 5 % des consommateurs présentent des apports inférieurs au 5^{ème} percentile et 5 % des consommations supérieures au 95^{ème} percentile. Ces valeurs permettent de donner une idée de la distribution des apports au sein d'une population.

II. PROTÉINES ANIMALES ET PROTÉINES VÉGÉTALES : QUELLES DIFFÉRENCES ?

II.1 Des différences de consommation

Historiquement, la combinaison de sources protéiques d'origine animale et végétale dans l'alimentation humaine est observée dans la quasi-totalité des populations à travers le monde, à quelques exceptions près. La prédominance des apports en protéines animales et/ou végétales dans le régime a d'abord été liée à la disponibilité alimentaire. La part des protéines végétales s'est surtout accrue avec la culture des céréales et des légumineuses (néolithique). Quant aux protéines laitières, leur présence dans le régime est liée à la pratique de l'élevage et est également très ancienne.

Dans des périodes plus contemporaines, la disponibilité a été fluctuante (en fonction des années, des régions du monde, des périodes de conflit, etc.) et la consommation a varié selon cette disponibilité, selon le coût des aliments par rapport aux revenus mais aussi selon la symbolique alimentaire. Ainsi, la viande a toujours été un aliment ambivalent en termes de symbolique. Convoitée car synonyme de force et de richesse, elle a aussi fait l'objet de tabous et de restrictions alimentaires : interdit du porc dans l'islam et le judaïsme, du bœuf dans l'hindouisme, jours sans viande chez les Chrétiens, etc. (Poulain, 2007).

Aujourd'hui, à l'échelle mondiale, les protéines disponibles pour la consommation humaine proviennent en majorité des céréales (40 %), de la viande (18 %), du lait (10 %), des légumes et légumineuses (10 %) et des animaux aquatiques (6,5 %) (FAOSTAT). Dans les pays occidentaux, les consommations de protéines animales n'ont cessé d'augmenter depuis le début du XIX^e siècle et pendant le XX^e, représentant aujourd'hui environ 60 à 70 % des apports protéiques en France selon INCA 3 (Anses, 2017c) (Figure 4). En lien avec une diversité de considérations (environnementales, nutritionnelles, religieuses, éthiques, symboliques, ou encore liées au bien-être animal), on observe aujourd'hui un intérêt renaissant pour les protéines végétales avec le développement du flexitarisme, du végétarisme et du végétalisme.

Végétarien, végétalien, flexitarien : quelles définitions ?

- **Un régime végétarien** est défini par l'exclusion des produits carnés (viande et poisson) alors que d'autres produits animaux comme les œufs, le lait et leurs produits dérivés sont admis lorsqu'il s'agit du régime végétarien classique (ovo-lacto végétarien). Mais on peut distinguer des sous-groupes (pollo-végétarien, pesco-végétarien, ovo-végétarien, lacto-végétarien ou combinaisons...).

- **Un régime végétalien** est défini par l'exclusion de tous les produits d'origine animale (viande, poisson, œufs, produits laitiers, miel, etc.). Le véganisme exclut en outre l'usage de tout produit ou dérivé issu de l'animal (cuir, laine...).

- **Un régime flexitarien** est défini comme un régime tourné vers une alimentation végétale, contenant occasionnellement, et avec une fréquence variable, de la viande et/ou d'autres produits d'origine animale.

(Allès *et al.*, 2017 ; Derbyshire, 2017)

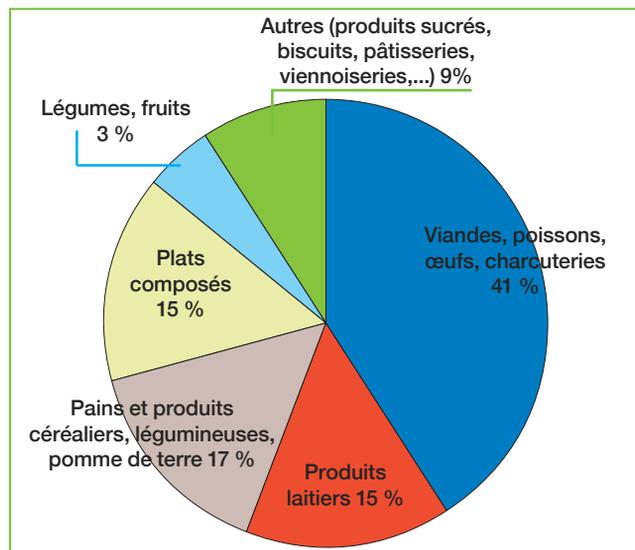
II.2 Des différences d'origine

Les protéines animales sont principalement consommées sous forme de produits carnés, de produits laitiers et de produits de la pêche (figure 4).

Les protéines végétales sont principalement consommées sous forme de produits céréaliers, de pommes de terre, de légumes et de fruits sous forme native.

Les matières protéiques végétales (MPV) sont des ingrédients issus d'espèces végétales riches en protéines (soja, pois, lupin, féverole, blé, etc...) dont l'utilisation s'accroît dans les préparations culinaires.

Des sources alternatives de protéines font leur apparition dans les pays occidentaux : insectes, algues, lentilles d'eau, soumises à des limites réglementaires en cours d'évaluation.



Source : INCA 3 (Anses, 2017c)

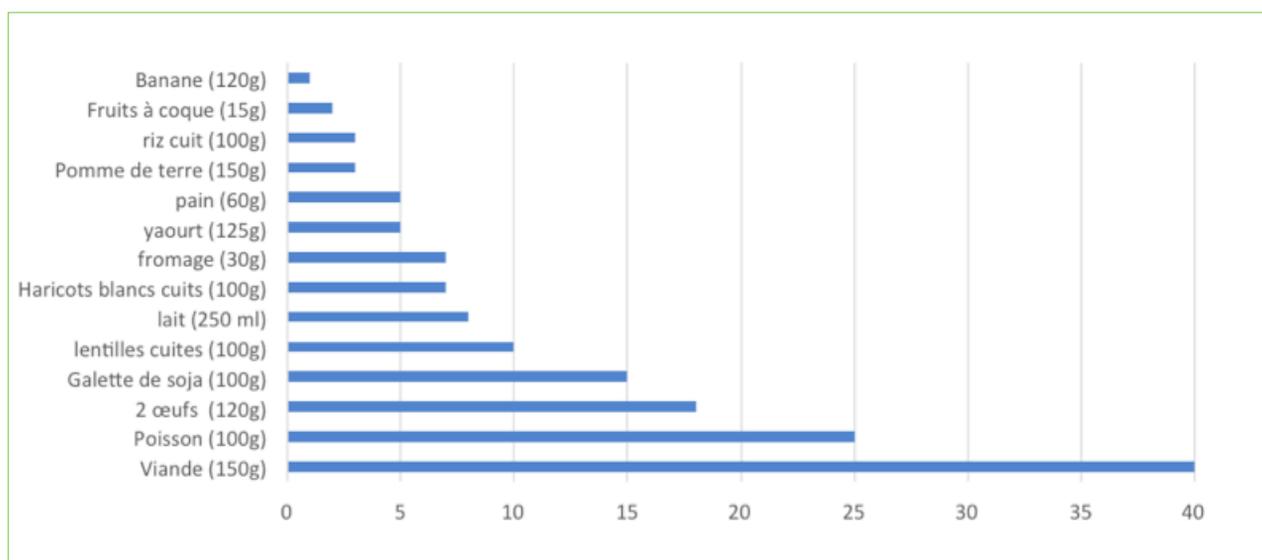
Figure 4 : Les sources de protéines des adultes en France

60 à 70 % des protéines alimentaires consommées en France proviennent de produits animaux, contre 30 % à l'échelle mondiale.

II.3 Des différences de teneur en protéines

D'un type d'aliment à l'autre, les aliments ont des teneurs en protéines très variables (Figure 5). Au sein d'une même catégorie, des variations peuvent

être notées, par exemple selon le morceau pour la viande, selon la variété et les pratiques agricoles ou le climat pour les végétaux.



Sources : table CIQUAL et Anses, 2017b

Figure 5 : Teneur en protéines de quelques portions d'aliments courants

II.4 Des différences de composition selon les sources

Teneurs en azote des protéines

Selon l'usage, on considère qu'il y a en moyenne 16 % d'azote dans les protéines. Pour déterminer la teneur en protéines d'un aliment à partir de la mesure de l'azote, on utilise classiquement un facteur de conversion de 6,25 (1/16).

Néanmoins, la teneur en azote des protéines est variable selon leur profil en acides aminés, car la teneur en azote de chaque acide aminé est différente (elle varie selon leur chaîne latérale — cf. figure 1—. Par exemple, l'arginine contient quatre atomes d'azote alors que la cystéine n'en contient qu'un). Ainsi, les facteurs de conversion varient entre 6,38 pour les protéines laitières et 5,4 pour les protéines issues de céréales (Afssa, 2007).

Teneurs en acides aminés indispensables

En règle générale, les protéines végétales ont une teneur en acides aminés indispensables plus faible que les protéines animales : 30 à 40 % des acides aminés totaux sont indispensables dans la plupart des sources végétales, contre 45 à 50 % dans les sources animales (Van Vliet *et al.*, 2015) (cf. tableaux 2 et 3 en annexe).

Pour comparer la qualité des différentes protéines alimentaires en fonction de leurs teneurs en acides aminés indispensables, on utilise une protéine dite « de référence ». Il s'agit d'une protéine théorique dont la consommation permettrait de couvrir les besoins pour tous les acides aminés indispensables. Son profil en acides aminés pour l'adulte, actualisé par la FAO en 2011, est le suivant (exprimé en mg par g de protéine) :

Valine : 40	Leucine : 61	AA souffrés : 23
Tryptophane : 6,6	Isoleucine : 30	Lysine : 48
Thréonine : 25	Histidine : 16	AA aromatiques : 41

Une protéine de bonne qualité (comme celle de l'œuf) a une composition proche de celle de la protéine de référence, c'est-à-dire qu'elle ne contient pas d'acide aminé limitant (cf. I.1 et figure 3).

Sur cette base, les protéines animales ne présentent pas d'acides aminés limitants (cf. tableau 2 en annexe). Pour les insectes, la valeur nutritionnelle varie largement selon l'espèce, le stade de croissance et l'alimentation, tant pour leur teneur en protéines que d'ailleurs en acides gras, vitamines et minéraux (Nowak *et al.*, 2016 ; Albouy

et Chardigny, 2016). Leur profil en AA indispensables semble cependant satisfaisant (Churchward-Venne *et al.*, 2017). La plupart des protéines végétales sont déficitaires en un ou plusieurs acides aminés indispensables. Ainsi, la lysine est souvent limitante, notamment dans les céréales et les fruits à coque. La faible teneur en acides aminés souffrés (méthionine notamment), souvent évoquée pour les légumineuses, concerne essentiellement les lentilles et les fèves ; la méthionine n'est pas limitante dans d'autres légumineuses comme le soja ou les pois chiche. Le tryptophane se révèle limitant dans certaines légumineuses et céréales.

Parmi les sources alimentaires dites alternatives, certaines algues marines (Odontella, Chlorella) et des cyanobactéries (spiruline), souvent utilisées en complément nutritionnel, sont relativement riches en protéines et en acides aminés indispensables (cf. tableau 3 en annexe), mais des variations importantes existent selon la souche et le mode de production (FAO, 2008). Les lentilles d'eau consommées en Asie sont une source de protéines de bonne qualité (Appenroth *et al.*, 2017). Les pseudo-céréales (plantes dont on consomme les grains, mais qui n'appartiennent pas à la famille des graminées), notamment le sarrasin et le quinoa, constituent aussi des sources protéiques riches en acides aminés indispensables, bien équilibrés par rapport aux besoins de l'Homme.

L'association de certaines familles de végétaux dans le même repas (cf. I.1.) permet d'assurer des apports concomitants pour tous les acides aminés indispensables. C'est ce qu'on appelle **la complémentation des protéines végétales**. Ainsi, l'association de céréales et de certaines légumineuses permet de compenser leur déficit respectif en lysine et en acides aminés souffrés. Cette technique est largement utilisée en zootechnie pour l'alimentation animale. En alimentation humaine, l'association est traditionnelle dans les pays où les modes alimentaires ont peu recours aux produits animaux (ex : maïs et haricots au Mexique, semoule et pois chiche au Maghreb, riz et lentilles en Inde). En France, elle n'est vraiment indispensable qu'en cas d'alimentation végétalienne, c'est-à-dire excluant tous les produits d'origine animale. Dès lors que l'alimentation comprend des aliments sources de protéines animales, ces derniers assurent l'équilibre d'apport entre tous les acides aminés indispensables. En France et dans les pays occidentaux en général, les apports quantitatifs étant élevés, sauf cas particuliers, les besoins qualitatifs sont largement satisfaits.

II.5 Des différences de digestibilité

Après ingestion, les protéines alimentaires subissent une première digestion enzymatique par la pepsine dans l'estomac, puis une protéolyse intestinale par les enzymes pancréatiques (trypsine, chymotrypsine, élastase) et la carboxypeptidase, libérant ainsi des acides aminés et des di- et tripeptides qui sont absorbés au niveau des villosités intestinales.

Digestibilité des protéines

La digestibilité des protéines mesure la quantité d'une protéine réellement absorbée par rapport à la quantité ingérée. La vitesse de la digestion conditionne la cinétique de l'apparition des acides aminés dans le sang après un repas et l'efficacité de leur utilisation pour la synthèse protéique. Des différences dans ces deux paramètres peuvent être notées entre protéines animales et végétales mais elles sont fortement modulées par une série de facteurs indépendants de leur nature (cf. ci-après).

Les produits de la digestion des protéines, acides aminés et peptides sont essentiellement absorbés dans l'intestin grêle. Dans le gros intestin, l'absorption semble quantitativement faible chez les individus adultes (Van der Wielen *et al.*, 2017), et les acides aminés libres et peptides qui atteignent ce compartiment sont rapidement utilisés par le microbiote intestinal (Fuller et Reeds, 1998).

C'est donc la mesure de la digestibilité à la partie distale de l'intestin grêle, au niveau de l'iléon, qu'il est intéressant de connaître.

Si la digestibilité iléale réelle des protéines a fait l'objet de nombreuses études chez les animaux monogastriques (porc), elles ont peu porté sur des aliments comparables à ceux que consomment les humains. Généralement, les scores de digestibilité sont plus faibles pour les protéines végétales, de l'ordre de 85 à 90 % contre 95 % pour les protéines animales ; cet écart apparaît relativement faible et sans doute négligeable lorsque les apports protéiques sont très supérieurs aux besoins.

En revanche, la vitesse de digestion est un paramètre important dans certaines situations physiopathologiques. Par exemple pour les personnes âgées, il est préférable d'utiliser des protéines dites « rapides » (exemple : lactosérum), élevant plus rapidement l'aminocidémie post-prandiale et stimulant mieux la synthèse protéique musculaire (Boirie *et al.*, 1997). Inversement, la vitesse de digestion semble avoir peu d'impact sur le métabolisme protéique chez les jeunes adultes. Une vitesse de digestion trop rapide pourrait même avoir un effet négatif en accentuant l'oxydation des acides aminés au détriment de la syn-

thèse protéique (Lacroix *et al.*, 2006a).

En l'absence d'une méthode standardisée, le classement des protéines en fonction de leur vitesse de digestion est actuellement difficile à réaliser, d'autant qu'une grande variété de facteurs indépendants de leur structure propre sont susceptibles de la modifier (Rémond *et al.*, 2007).

Facteurs influençant la digestibilité des protéines

La digestibilité des protéines est affectée par de nombreux facteurs :

- La matrice de l'aliment

Certains aliments végétaux, notamment les graines entières ou grossièrement broyées, ont des structures en partie résistantes à la digestion, ce qui protège leurs protéines de l'attaque des enzymes digestives et limite leur digestibilité. De plus, l'efficacité de ces enzymes se trouve également réduite lorsque l'aliment contient des facteurs antinutritionnels (facteurs antitrypsiques, saponines, tanins, etc.). C'est en particulier le cas des légumineuses.

- Les transformations des aliments

La fermentation des graines ou la mouture des légumineuses améliore leur digestibilité, de même que le hachage de la viande. Mais l'effet le plus important est celui produit par la cuisson. Elle détruit les facteurs antitrypsiques présents dans les légumineuses et modifie la structure de la matrice.

Si elle affecte peu la digestibilité de la viande (Bax *et al.*, 2013 ; Oberli *et al.*, 2015), une cuisson à 70-75 °C augmente la vitesse de digestion ; au-delà de cette température, la vitesse de digestion tend à diminuer, surtout avec des températures très élevées (>95°C) (Bax *et al.*, 2012, 2013). Chez les personnes âgées, la plus faible vitesse de digestion observée avec de la viande peu cuite par rapport à de la viande cuite à point est suffisante pour se traduire par une moins bonne assimilation des protéines (Buffière *et al.*, 2017).

Les traitements thermiques usuels appliqués au lait ont peu d'impact sur la digestibilité des protéines (Lacroix *et al.*, 2006b), sauf en cas de stérilisation (Wada et Lönnerdal, 2015).

Dans le cas du blanc d'œuf, en revanche, une cuisson est nécessaire pour rendre les protéines digestibles (Evenepoel *et al.*, 1998).

Par ailleurs, l'impact des traitements thermiques dépend de l'environnement chimique des protéines. Par exemple, la présence de sucres réducteurs est défavorable : les cuissons à température élevée entraînent, par réaction de Maillard, une diminution significative de la digestibilité de la lysine.

II.6 Des différences dans les nutriments associés

En plus de leur différence de composition en acides aminés indispensables, protéines animales et végétales se distinguent – et c'est une différence majeure – par la nature des nutriments qui les accompagnent dans les aliments qui les contiennent.

Les aliments végétaux sont sources de nutriments spécifiques peu présents ou absents dans la plupart des produits animaux, auxquels s'ajoutent des sucres, des polysaccharides, voire des lipides (huiles). C'est notamment le cas des fibres (dont les apports dans l'alimentation occidentale sont largement déficitaires), des vitamines C et B (sauf B12) et en particulier de l'acide folique, de certains minéraux (magnésium) et de la plupart des phytomicronutriments (caroténoïdes, polyphénols, antioxydants, etc.). La composition nutritionnelle des différents végétaux, fruits, légumes, tubercules, légumineuses, varie d'un type à l'autre, de l'espèce au sein de chaque groupe, du stade de maturité, de la couleur ou du mode de préparation (cuit/cru).

Certaines algues marines et certaines cyanobactéries (spiruline) constituent l'une des rares sources de vitamine B12 pour les végétariens et végétaliens (MacArthur *et al.*, 2008), les plantes terrestres en étant complètement dépourvues. Cependant, il s'agit souvent d'analogues de la vitamine B12 (ou pseudovitamine B12), non biodisponibles pour l'Homme. C'est le cas pour la spiruline. En revanche, dans l'algue rouge nori et la microalgue chlorelle, il s'agit de vitamine B12 sous sa forme active et donc assimilable (Marfaing, 2017).

Les aliments d'origine animale, viande, poisson, lait, apportent eux aussi des nutriments spécifiques, absents, en faible concentration ou avec une biodisponibilité faible dans les produits végétaux, auxquels s'ajoutent principalement des lipides et du lactose. C'est notamment le cas du **fer héminique** de la viande, des **minéraux** indispensables comme le zinc, l'iode, le calcium, des **acides gras omega 3 à longue chaîne** (Rosell *et al.*, 2005), ainsi que de la **vitamine B12**, absente des produits végétaux. Les carences en fer et en zinc peuvent être préoccupantes chez les végétariens et surtout chez les végétaliens, d'autant plus qu'une consommation élevée de céréales complètes et de végétaux riches en phytates diminue l'absorption de ces minéraux (Hunt, 2003).

Si les protéines animales et végétales peuvent, en principe, assurer chacune des apports adéquats en protéines et en acides aminés indispensables, leurs sources sont complémentaires quand on considère l'ensemble des nutriments qui leur sont associés. Les humains sont omnivores.

III. PROTÉINES VÉGÉTALES/ANIMALES, ÉQUILIBRE ALIMENTAIRE ET SANTÉ

Les proportions respectives de protéines animales (PA) et végétales (PV) dans l'alimentation humaine sont très variables selon les populations en fonction des époques, des zones géographiques, des disponibilités alimentaires, des capacités économiques, des cultures, des croyances... Des rapports PA/PV très différents peuvent permettre de satisfaire les besoins, qui s'expriment en termes d'azote et d'acides aminés indispensables, dès lors que l'apport énergétique est suffisant.

En France, comme dans beaucoup de pays occidentaux, le rapport PA/PV de l'alimentation moyenne est de l'ordre de 2/1 et il tend à s'élever dans les pays où il était traditionnellement nettement plus bas. Cette proportion relativement élevée de protéines animales, notamment d'origine carnée, est jugée excessive et source d'inconvénients nutritionnels et de dangers écologiques (cf. partie IV).

Une alimentation trop riche en protéines animales et faible en protéines végétales induit une perte de la diversité alimentaire garante d'apports nutritionnels satisfaisants (Lecerf, 2016) permettant difficilement d'atteindre les recommandations, notamment en fibres, apports déficitaires en France, et en certaines vitamines et autres antioxydants. Ce régime dit occidental est considéré comme une des sources de l'augmentation de diverses pathologies chroniques (cardiovasculaires, obésité, diabète, cancers...), en raison de l'excès de protéines animales, mais pas seulement.

À l'inverse, un rapport PA/PV très bas, comme celui des flexitariens ou des végétariens non exclusifs, et a fortiori des végétaliens, n'est compatible avec la couverture du besoin qualitatif en protéines que si des aliments végétaux complémentaires sont associés lors des repas (par exemple céréales + légumes secs : maïs + haricots rouges, boulgour + pois chiche, etc.) ou si l'apport protéique est très important. Cependant, l'apport nutritionnel conseillé en protéines a été établi sur la base d'une alimentation mixte comprenant des produits animaux et des produits végétaux ; les apports recommandés en protéines pourraient être revus à la hausse en cas d'apport exclusif en protéines végétales, afin de palier tout risque d'apport insuffisant en acides aminés indispensables (Afssa, 2007) et pour tenir compte d'une biodisponibilité plus faible des protéines végétales.

En outre, se pose la question des quantités (volume) de céréales, légumineuses, pseudo-céréales et oléagi-

neux à consommer pour atteindre les apports conseillés en protéines. Ceci est particulièrement vrai chez les enfants et chez les personnes âgées dont l'appétit est souvent réduit et les besoins accrus. La tolérance digestive à un apport élevé en fibres et la tolérance métabolique à un excès de glucides en cas d'apports exclusivement végétaux est également à considérer.

Par ailleurs, tout comme un régime déficitaire en produits végétaux pose des problèmes de déséquilibres nutritionnels, un régime végétalien entraîne des carences, notamment en vitamine B12 (Pawlak *et al.*, 2014). Il se révèle aussi déficitaire en d'autres nutriments apportés par les produits animaux (cf. II.6 : fer, zinc, calcium, iode, acides gras oméga 3 à longue chaîne). Il est, de ce fait, totalement déconseillé chez les enfants et les adolescents, les femmes enceintes et allaitantes ainsi que chez les personnes âgées.

Enfin, protéines animales comme protéines végétales peuvent être la source d'allergies chez certains

Régimes végétaliens : quelques précautions à prendre

Chez les végétaliens adultes, on peut conseiller d'être attentif à la couverture de l'apport protéino-énergétique et à l'utilisation de sources protéiques qui se complètent, ainsi qu'à la couverture des besoins en différents micronutriments (fer, zinc, calcium...). Une supplémentation en vitamine B12 est en particulier nécessaire.

Pour l'Académie royale de médecine belge, qui a émis un avis en mai 2019, le régime végétalien, ou végan ne peut être suivi par un enfant sans risque majeur pour la santé, et doit, chez l'adulte, être effectué sous suivi médical pour éviter les carences (<http://www.armb.be>).

sujets, par exemple au lait de vache, à l'œuf, au blé, ou d'hypersensibilité au gluten, etc. Quant aux nouvelles sources protéiques (insectes, lait de chèvre et de brebis, algues, lupin, fèves, pois), avec leur apparition dans l'alimentation se posent de nombreuses questions sur une augmentation de l'incidence du risque allergique (Verhoeckx *et al.*, 2016 ; Anses, 2018 ; Polikovskiy *et al.*, 2019), ainsi que sur la survenue de potentielles allergies croisées (ex : crevettes et insectes) (Broekman *et al.*, 2017).



Le végétalisme chez l'enfant : prudence

L'engouement croissant pour le végétalisme est devenu un problème de santé publique, particulièrement chez les enfants, et notamment les plus jeunes d'entre eux. L'exclusion des produits d'origine animale du répertoire diététique des enfants entraîne inexorablement des carences nutritionnelles. Les produits alimentaires d'origine animale (viandes, lait et poissons surtout) constituent en effet les sources principales de calcium, fer, zinc et DHA et exclusives de vitamine B12. Leur éviction totale du répertoire alimentaire expose donc à des carences à une période de la vie où les besoins sont les plus élevés, carences à l'origine de séquelles à vie. Des compléments nutritionnels sont indispensables chez les enfants végétaliens. Les conséquences sont particulièrement graves chez le nourrisson (Lemale *et al.*, 2018). Les parents qui imposent un régime végétalien à leur nourrisson remplacent le plus souvent les formules infantiles préparées à partir de lait de vache par des boissons végétales à base de châtaignes, amandes, noisettes, riz ou soja pour les plus courantes. La composition de ces produits est totalement inadaptée aux besoins du nourrisson et, en outre, elle n'est pas du tout conforme à la législation qui régit celle des préparations infantiles. L'utilisation de formules infantiles à base de protéines de riz permet de préserver la santé de ces enfants tout en satisfaisant les choix de leur parent.

Les isoflavones du soja

Aujourd'hui, 4 Français sur 10 consomment des aliments au soja (Chevalier *et al.*, 2016). Leurs protéines sont de très bonne qualité nutritionnelle, mais contiennent aussi des isoflavones (entre 1 et 3 mg/g de protéine), qui sont des phyto-œstrogènes aux effets analogues (mais plus faibles) à ceux des œstrogènes physiologiques. Ils peuvent perturber le développement endocrinien des nourrissons. Ils sont déconseillés pour les enfants de moins de 3 ans et sont à limiter pour les adultes. L'Afssa et l'Afssaps (2005) recommandent de ne pas dépasser 1 mg/kg/jour, dose très largement supérieure à celle obtenue avec la consommation d'un ou deux produits à base de soja par jour.

Il est souvent suggéré, notamment par le PNNS, qu'un meilleur équilibre entre les proportions respectives de protéines animales et végétales ramenant le rapport PA/PV autour de 1 est souhaitable pour des raisons nutritionnelles tout en contribuant à limiter les émissions de gaz à effet de serre des productions animales (qui ne représentent toutefois qu'un des éléments entrant dans l'évaluation complexe de leurs effets environnementaux, cf. partie IV).

S'il est sans doute théoriquement possible, comme le montre un travail récent (Barré *et al.*, 2018), d'assurer, dans ces conditions, le respect de l'ensemble des recommandations nutritionnelles pour la population générale (mais sans doute pas pour les populations particulières) en réduisant sensiblement la production des gaz à effets de serre dans le sens d'une alimentation plus durable, c'est au prix de changements importants dans les pratiques alimentaires usuelles en France. Ainsi, dans les modèles proposés, la très forte diminution de la consommation de produits animaux, notamment de viande, de charcuteries et de fromages/yaourts (avec un quasi doublement de celle de lait permettant ainsi de maintenir les produits laitiers à leur niveau usuel) devrait être compensée par une très forte augmentation de la consommation de fruits frais, de légumineuses et de féculents. Une telle évolution vers une alimentation « plus saine » et supposée plus « durable » induirait de multiples conséquences économiques, sociales et culturelles qui poseraient des problèmes difficiles à résoudre à court terme ; et semble peu susceptible d'entraîner l'adhésion, aussi bien de la majorité des consommateurs que des acteurs de la chaîne alimentaire.

Une réduction même modérée de la viande, surtout de la part des forts consommateurs, amplifiant l'évolution à la baisse constatée en France depuis quelques années, sans réduction importante des produits laitiers et associée à une augmentation des fruits frais, légumes et légumineuses, comme le recommande le PNNS, aurait des conséquences positives à la fois sur la santé et sur l'environnement.

Les aliments d'origine végétale contribuent à la prévention des maladies chroniques (maladies cardiovasculaires, diabète, cancers) grâce à l'ensemble de leurs constituants et notamment leur apport en fibres.

IV. CONSIDÉRATIONS ENVIRONNEMENTALES

La population mondiale n'a cessé de croître au cours des dernières décennies, passant de 2,5 milliards en 1950 à 6 milliards dans les années 2000, avec des projections à 10 milliards à l'horizon 2050. Cela implique davantage de mangeurs à nourrir, et donc aussi plus de protéines à fournir, leur niveau de consommation – pour les protéines animales notamment - augmentant globalement avec le PIB. Les populations des pays occidentaux présentent ainsi, aujourd'hui, les niveaux de consommation protéique les plus élevés, assurés aux 2/3 par les protéines animales. Si l'apport protéique se révèle bien plus faible, voire déficitaire, dans de nombreux autres pays, une augmentation importante de la demande pour les produits animaux est attendue dans les pays émergents d'Asie, d'Amérique du Sud et d'Afrique. Les experts tablent ainsi sur un doublement de la consommation de viande dans le monde d'ici 15 ans (Guillevic *et al.*, 2017) et sur des augmentations concomitantes des productions animales

comprises entre 43 % et 121 % selon les espèces considérées (FAO, 2011).

La production de protéines n'est pas sans conséquences sur l'environnement : si l'impact des productions de protéines végétales est loin d'être négligeable, notamment du fait du recours à des intrants chimiques, c'est surtout l'empreinte environnementale de la production de protéines animales qui fait aujourd'hui l'objet de débat sociétaux, aussi bien en termes de ressources utilisées que de rejets produits. Dans un contexte de système alimentaire globalisé, où les sites de production et de consommation peuvent se révéler très éloignés les uns des autres, ces questions doivent être abordées dans une perspective mondiale, en gardant à l'esprit la diversité des pratiques agronomiques, notamment en termes de filière (bovine, porcine, avicole, piscicole...), de nature intensive ou extensive, de type d'alimentation animale et de capacités génétiques des animaux.

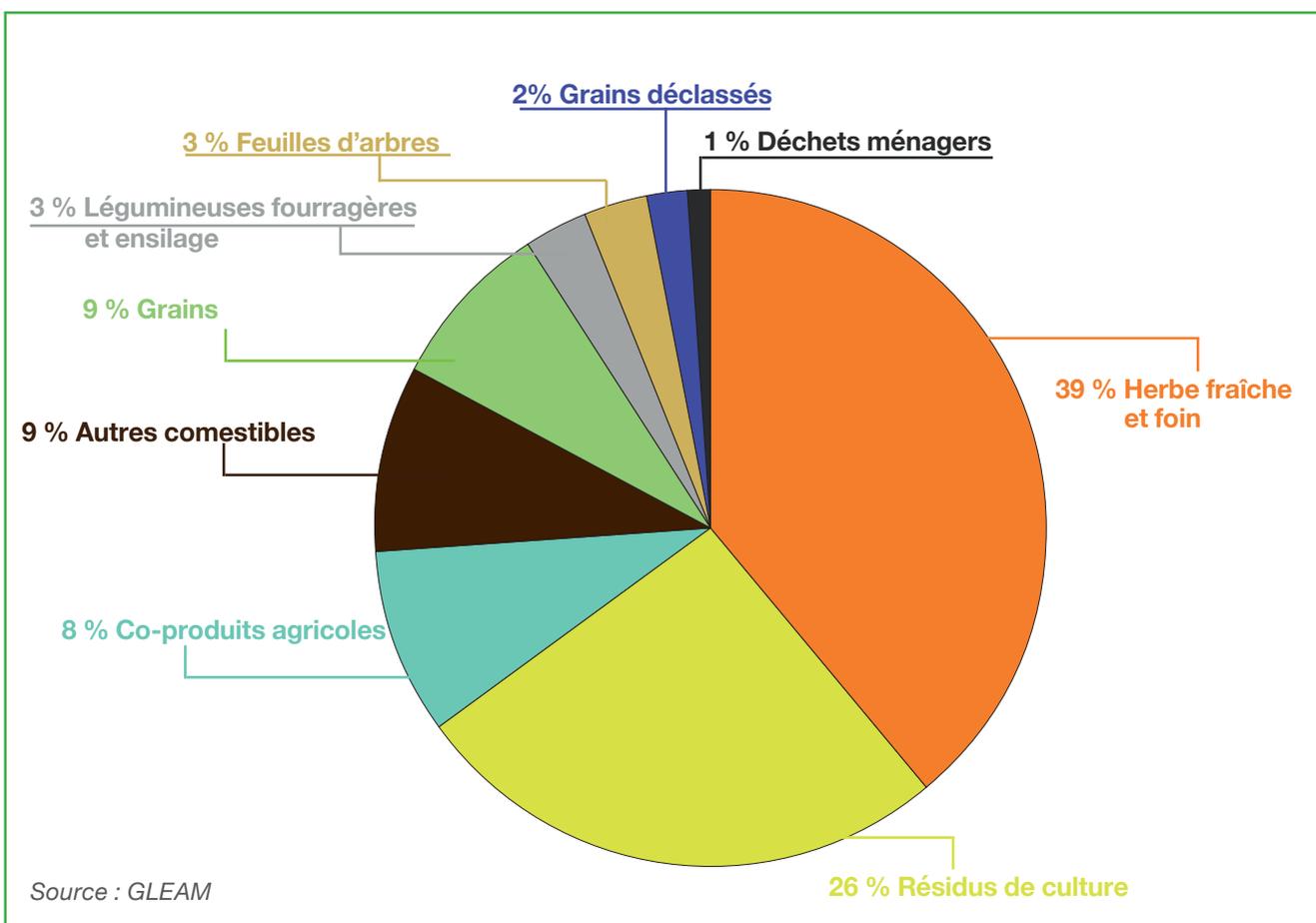


Figure 6 : Matières premières consommées en alimentation animale dans le Monde

IV.1 Utilisation des ressources environnementales liée aux productions animales

L'une des questions les plus débattues actuellement au sujet des conséquences de l'élevage concerne la compétition potentielle pour les ressources alimentaires entre l'Homme et les animaux d'élevage. Ces derniers occupent en effet une partie des terres agricoles et consomment des aliments pour partie comestibles par l'Homme (céréales, légumineuses, etc.).

Une compétition pour la ressource ?

Des recherches récentes se sont intéressées à la proportion des aliments comestibles pour l'Homme dans les rations animales. Ceux-ci représenteraient environ 14 % de l'alimentation animale (Mottet *et al.*, 2017), bien que les méthodes d'estimation, complexes, soulèvent encore de nombreuses questions (Peyraud, 2017). Il s'agit très majoritairement de céréales. En France, dans la ration des bovins, la part des aliments non comestibles pour l'Homme (herbe, foin, feuilles, résidus de culture comme la paille, coproduits agricoles comme les tourteaux d'oléagineux ou les pulpes de betterave) représente de 80 à 100 % (100 % pour des animaux en systèmes herbagers ou sur parcours, 80 % ou plus pour les vaches laitières en élevage intensif). Bien que les céréales comestibles constituent une part limitée de l'alimentation animale, les quantités produites pour cet usage représentent environ un tiers de la production céréalière mondiale. Derrière ces pourcentages globaux, des disparités liées aux types d'élevage se dessinent : ainsi, par exemple, les bovins laitiers permettent de valoriser des quantités importantes de fourrages alors que les espèces monogastriques requièrent une alimentation plus diversifiée car, ne digérant pas la cellulose, ils n'ont donc pas accès à l'herbe, l'ensilage ou autres coproduits (Peyraud, 2017).

Pour des quantités équivalentes de protéines, l'élevage d'insectes utiliserait moins de ressources que l'élevage de volailles ou de mammifères (Smetana *et al.*, 2016 ; Albouy

et Chardigny, 2016), mais cette conclusion reste à consolider, en lien notamment avec les matières premières utilisées pour ces différents élevages.

Quelle efficacité protéique ?

Pour synthétiser leurs propres protéines, les animaux d'élevage utilisent celles apportées par leur alimentation. Pour produire 1 kg de protéines animales, il faudrait ainsi 2,5 à 10 kg de protéines végétales (Peyraud *et al.*, 2014), taux variable selon les espèces et les modes d'élevage (intensif/extensif, type d'alimentation, etc.). On parle de **ratio de synthèse** (compris donc entre 0,4 et 0,1) ou d'**efficacité protéique**. Il est par exemple de 0,3 (en moyenne) pour les porcs ou pour les protéines laitières.

Les ratios ci-dessus doivent toutefois tenir compte du caractère comestible ou non pour l'Homme des protéines végétales consommées dans les élevages. On peut ainsi calculer un ratio de synthèse dit utile, c'est-à-dire rectifié en prenant en compte la proportion de protéines végétales consommées par les animaux et qui auraient été consommables par l'Homme. Selon cette approche, les ratios de synthèse utile se situeraient entre 0,3 et 2 pour les différentes productions animales françaises. Si le ratio est supérieur à 1, le système contribue positivement à la sécurité alimentaire. S'il est inférieur à 1, le système consomme davantage de protéines potentiellement comestibles par l'être humain qu'il n'en produit.

Dans le cas du lait produit par une vache, le ratio varie de 1 à 2 et s'accroît avec la part d'herbe dans les rations annuelles. Pour les porcs, il varie de 0,5 à 1,5 selon la teneur en coproduits des aliments, et pour les volailles, il varie de 0,8 à 1,2 mais diminue fortement, jusqu'à 0,4, pour le poulet en filière label du fait d'une durée d'élevage plus longue (Peyraud, 2017).

Les productions animales, contrairement à ce qui est souvent admis, peuvent donc être productrices nettes de protéines consommables par l'Homme. C'est en particulier le cas des ruminants, qui ont la capacité de valoriser la cellulose, lorsqu'ils sont nourris avec suffisamment d'herbe et de fourrage (Peyraud et Peteers, 2016).

Le ratio de synthèse utile représente la quantité de protéines végétales consommables par l'Homme nécessaires à la production d'1 kg de protéines animales. Selon les espèces, les modes d'élevage, et les produits considérés, il se situe, en France, entre 0,14 et 1,61.

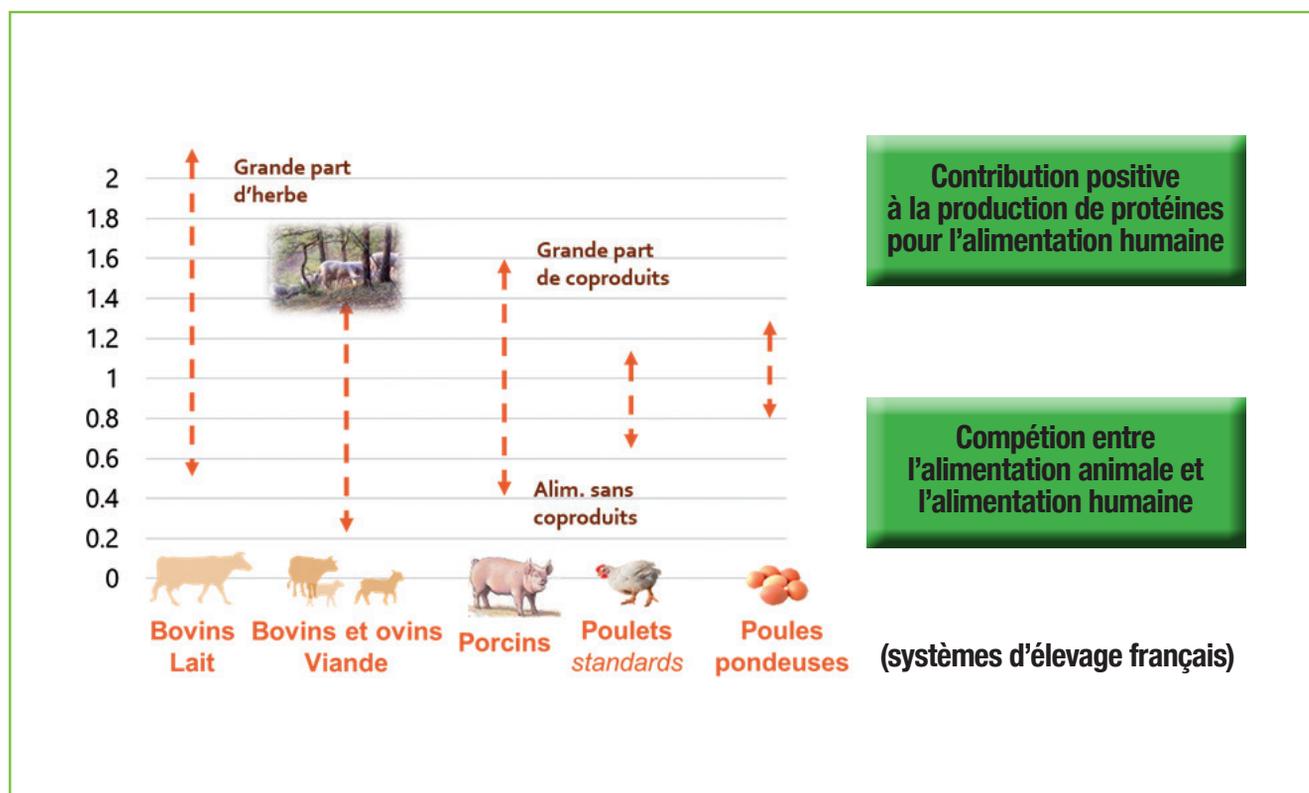


Figure 7 : Efficiences protéiques nettes

Source : institut.inra.fr

Une compétition pour les terres ?

Un autre point de compétition souvent évoqué porte sur les terres agricoles. Actuellement, à l'échelle mondiale, sur les 5 milliards d'hectares de terres agricoles (i.e. terres arables cultivées ou en jachères, prairies et pâturages, landes et parcours), la moitié a vocation à nourrir les animaux (Mottet *et al.*, 2017). Sur ces 2,5 milliards d'hectares, quelques 500 millions (soit 20 %) sont des cultures fourragères ou céréalières destinées aux animaux tandis que 80 % sont des prairies, dont 65 % ne sont pas cultivables. Pour cette dernière part, les élevages animaux permettent donc la valorisation d'espaces non cultivables pour des productions végétales directement consommables par l'Homme. La suppression de l'élevage sur ces surfaces constituerait donc une perte importante de ressources naturelles. Dans certains lieux, le pâturage participe au maintien des prairies, qui ont un rôle majeur dans le stockage du carbone et sont donc bénéfiques à l'environnement. Néanmoins, dans d'autres régions du monde, les terres agricoles destinées à l'élevage occupent des terres susceptibles d'accueillir des cultures directement destinées à l'Homme. Dans le contexte d'accroissement de la population mondiale et de la demande de produits animaux, la surface agricole occupée pour les productions

animales pourrait être amenée à augmenter, à moins que des progrès ne soient réalisés dans l'efficacité d'utilisation et de transformation de l'alimentation animale (Mottet *et al.*, 2017).

Des travaux ont cherché à modéliser la surface nécessaire pour nourrir une population en fonction de la part de protéines d'origine animale dans les apports protéiques totaux. Ils ont montré que la surface minimale nécessaire était obtenue pour un régime contenant 12 % de protéines animales. Un régime dépourvu de produits animaux diminue l'efficacité d'utilisation de la terre, du fait de la non-valorisation en alimentation animale des co-produits issus des cultures végétales. Au-delà de 12 % de protéines animales dans le régime, des cultures supplémentaires sont nécessaires pour nourrir les animaux (Van Kernebeek *et al.*, 2016).

Sur un autre plan, dans certaines régions du monde, le détournement des terres à des fins de productions animales participe à la déforestation, comme le souligne le rapport de la FAO sur les impacts de l'élevage sur l'environnement (Steinfeld, 2006). Cela contribue à l'effet de serre, en diminuant la capacité de stockage du carbone dans le sol. La perte de biodiversité constitue un autre corollaire mis en avant par la FAO parmi les conséquences de l'augmentation des surfaces attribuées aux productions

animales, qui remplacent celles de la faune sauvage. Cependant des évolutions ont lieu depuis 2006 (notamment, moindre expansion des parcours pour le bétail en Amérique latine, importation de soja du Brésil ne correspondant plus à des surfaces déforestées). De plus, il faut prendre en compte le fait que le maintien de prairies naturelles destinées aux ruminants est plus favorable à la biodiversité que les cultures végétales mécanisées.

IV.2 Impacts environnementaux des productions animales

Gaz à effet de serre

Les productions animales s'avèrent par ailleurs responsables d'une part non négligeable des émissions de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane et protoxyde d'azote) liées aux activités humaines.

L'intensité de ces émissions peut être calculée selon la méthode des inventaires nationaux réalisés dans le cadre du GIEC, qui considère les seules émissions directes (fermentation entérique, rejets d'effluents, etc.), ou par Analyse du Cycle de Vie, qui prend en compte les émissions indirectes associées à la production des aliments et le changement d'occupation des sols associé.

Les émissions de l'élevage représentent entre 7 et 14,5 % des émissions mondiales selon la méthode d'investigation, à savoir respectivement celle des inventaires (qui ne compte que les émissions du rumen et des affluents) et celle de la FAO (qui intègre tout le cycle y compris la fabrication des aliments) (Gerber *et al.*, 2013).

En Europe (UE-27), les émissions de l'élevage représentent entre 12 et 17 % des émissions totales et se répartissent à part égale entre le lait, la viande bovine et la viande de porc. L'essentiel des émissions est lié à l'alimentation des animaux (fourrages et concentrés) (42 %), puis à la fermentation entérique (22 %), aux effluents d'élevage (19 %) et à la consommation d'énergie (17 %). Dans le cas des élevages bovins laitiers, 51 % des émissions sont liées à la fermentation entérique, 18% aux intrants, 10 % à la gestion des effluents, 8% à l'épandage organique et minéral, 7 % au pâturage et 6% aux énergies directes (réseau Inosys, traitement Institut de l'élevage).

Selon la FAO, l'intensité des émissions de l'élevage pourraient être facilement réduite de 20 à 30 % en adoptant dans chaque partie du monde les pratiques des élevages les plus performants de la zone. L'amélioration de la santé des animaux, de la

conduite des troupeaux et de la qualité des fourrages sont des axes majeurs de progrès dans les pays en développement. Les démarches de réduction d'émission en élevage se multiplient dans de nombreux pays producteurs (France, Irlande, Pays Bas, USA, Nouvelle Zélande)... En termes de filières, les élevages bovins sont responsables de la majorité des émissions totales de gaz à effet de serre du secteur de l'élevage. Cependant, ils sont aussi à l'origine de la séquestration du carbone dans les sols des prairies, un phénomène très favorable, encore peu pris en compte dans les bilans carbone.

Pour des quantités équivalentes de protéines, l'élevage d'insectes pourrait générer moins d'émissions de gaz à effet de serre que l'élevage de volailles ou de mammifères (Smetana *et al.*, 2016 ; Albouy et Chardigny, 2016), mais cette comparaison reste à nuancer, en lien notamment avec les matières premières utilisées pour produire des insectes comestibles. Une évaluation environnementale par Analyse du cycle de vie (ACV) conduite par l'Inra a montré que la production de farine d'insecte a un impact supérieur à celle de farine de poisson ou de tourteau de soja (par kg de protéines), non seulement en termes d'équivalent CO₂, mais aussi de potentiel d'acidification, d'eutrophisation et d'utilisation des terres (Thévenot *et al.*, 2018).

Rejets organiques

La FAO estime que l'élevage constitue la plus grande source sectorielle de polluants de l'eau, notamment à travers les déjections des animaux et les rejets d'antibiotiques et d'hormones (Steinfeld, 2006). Cette tendance globale bien réelle ne doit pas occulter des pratiques agronomiques extensives ou couplant cultures végétales et production animales, qui limitent l'impact environnemental des rejets organiques. De plus, il faut souligner que les productions animales européennes sont les plus efficaces : elles génèrent le moins de rejets par unité produite.

IV.3 Impacts environnementaux des productions végétales

Les impacts environnementaux des cultures sont principalement liés aux émissions de gaz à effet de serre, à la contamination par des composés acidifiants ou eutrophisants (par le biais de la fertilisation azotée) et par les produits phytosanitaires, ainsi qu'aux effets sur la biodiversité et sur la gestion de l'eau.

En France, les cultures générant des gaz à effet de serre sont principalement le blé, le maïs, l'orge et le colza, en raison de l'importance des surfaces et des quantités d'engrais minéraux utilisées. Les légumineuses contribuent faiblement aux émissions, du fait de leur faible niveau de fertilisation et de leurs surfaces plus réduites. L'évolution des systèmes de culture permettrait de diminuer les quantités d'engrais azotés utilisés et de limiter les impacts environne-

mentaux négatifs : introduction de légumineuses (qui fixent l'azote dans le sol) dans l'assolement comme précédents au blé ou au colza, stratégies de fertilisation azotée à différents moments du cycle de culture, substitution d'engrais organiques aux engrais minéraux, associations variétales permettant de réduire les maladies et donc l'utilisation de pesticides, etc. (Jeuffroy *et al.*, 2017).

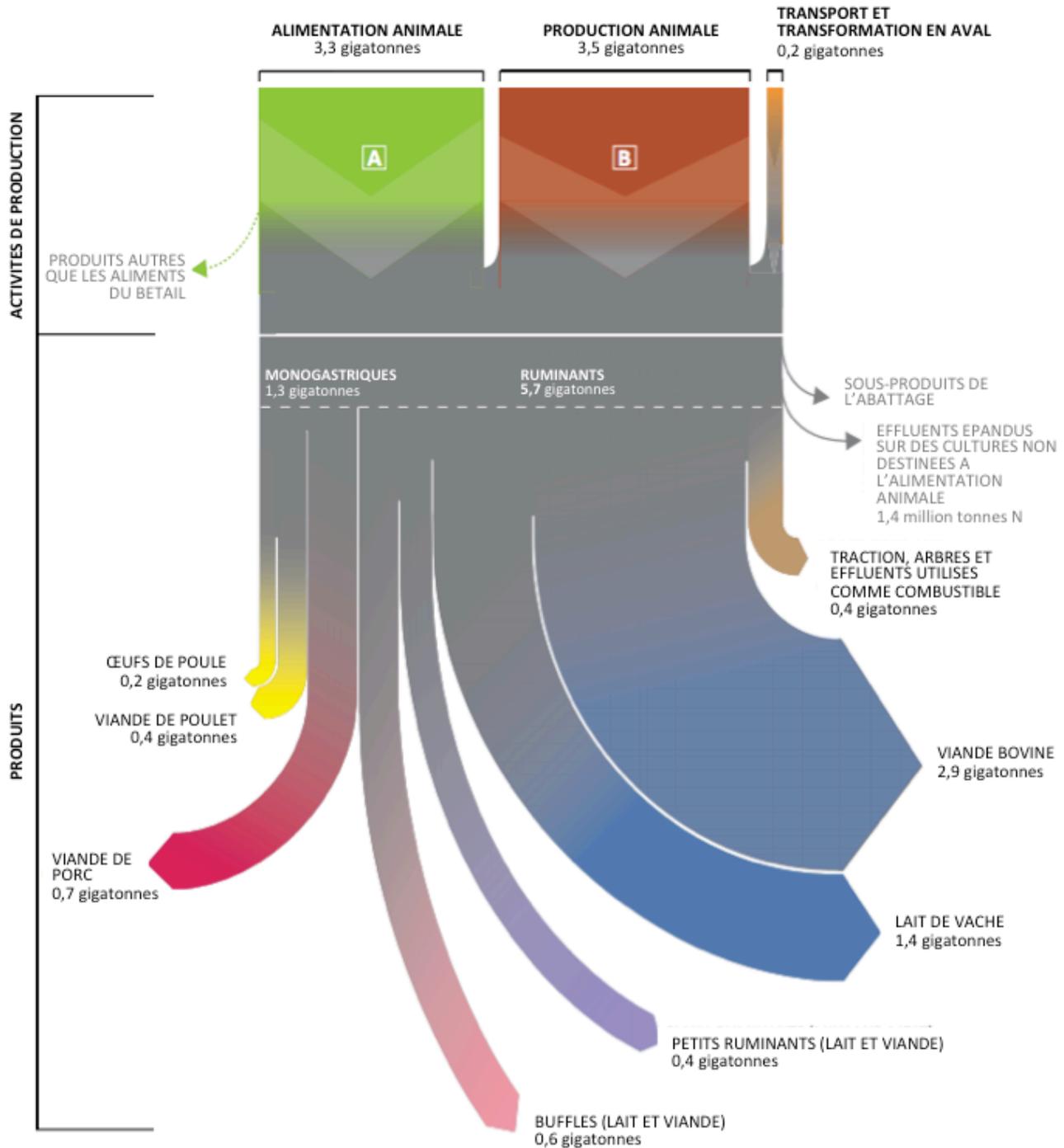


Figure 8 : Impact sur l'environnement (d'après Gerber *et al.*, 2013)

CONCLUSIONS

D'un point de vue nutritionnel, les protéines d'origine animale et végétale se distinguent par leur différence de composition en acides aminés indispensables, par la nature des nutriments qui les accompagnent et, dans une moindre mesure, par leur digestibilité.

En règle générale, les protéines d'origine végétale ont une teneur en acides aminés indispensables moins compatible avec les besoins de l'espèce humaine que les protéines animales. L'association de certaines familles de végétaux (notamment céréales et légumineuses) dans le même repas permet cependant d'assurer des apports satisfaisants pour tous les acides aminés indispensables.

Les aliments végétaux sont sources de nutriments spécifiques peu présents ou absents dans la plupart des produits animaux : fibres, vitamines C et B (sauf B12), magnésium, phytomicronutriments (caroténoïdes, polyphénols, antioxydants, etc.). Quant aux aliments d'origine animale, ils apportent eux aussi des nutriments spécifiques, absents, en faible concentration ou avec une biodisponibilité faible dans les produits végétaux : fer héminique, zinc, iode, calcium, acides gras oméga 3 à longue chaîne, vitamine B12.

Si les protéines d'origine animale comme celles d'origine végétale peuvent, en théorie, assurer des apports adéquats, leurs sources sont complémentaires. En France, comme dans la plupart des pays occidentaux, le rapport protéines animales / protéines végétales (PA/PV) de l'alimentation est voisin de 2/1 (60 à 70 % des protéines consommées étant d'origine animale) et jugé trop élevé. Un rapport PA/PV plus équilibré, proche de 1, est recommandé, afin de réduire les conséquences pour la santé qu'induit une consommation excessive de l'une ou de l'autre des sources de protéines alimentaires.

Outre la modération des protéines animales, une augmentation des protéines végétales dans le

régime alimentaire des Français, en vue d'un rapport PA/PV plus équilibré, apparaît justifiée, étant toutefois précisé que, pour certaines catégories de population dont les enfants, les régimes végétaliens sont à proscrire.

Des sources alternatives de protéines font leur apparition (insectes, algues, lentilles d'eau) mais elles doivent encore faire l'objet d'évaluations du fait qu'elles n'entrent pas dans les régimes alimentaires courants.

En ce qui concerne les impacts environnementaux, la production de protéines animales génère une partie non négligeable de l'émission de gaz à effet de serre, bien que leur bilan carbone soit difficile à évaluer en totalité. Il ne faut cependant pas méconnaître que l'élevage rend aussi des services agro-environnementaux (fertilisation organique des terres, recyclage des sous-produits des cultures, entretien des prairies stockant du carbone et des pâturages riches en biodiversité...).

La promotion des modes d'élevage à moindre impact environnemental devrait être un objectif plus affirmé des politiques publiques.

En définitive, la réflexion scientifique sur les protéines de l'alimentation oriente vers une diminution de la consommation de protéines animales, mais pas vers leur éviction, l'Homme étant omnivore, ainsi que vers une augmentation de la consommation de protéines végétales.

L'équilibre et les synergies entre protéines animales et végétales devraient être recherchés à l'échelle de chaque territoire pour l'établissement de systèmes alimentaires durables. L'institution de « plans territoriaux protéines » serait certainement un moyen adéquat de parvenir à un meilleur équilibre entre protéines animales et protéines végétales, tant en matière de production que de consommation.

RÉFÉRENCES

- Afssa. Apport en protéines : consommation, qualité, besoins et recommandations. Rapport d'expertise collective. 2007.
- Afssa et Afssaps, Sécurité et bénéfices des phytoœstrogènes apportés par l'alimentation – Recommandations. 2005.
- Albouy V, Chardigny JM, Des insectes au menu ?, Quae, 2016.
- Allès B, Baudry J, Méjean C, *et al.* Comparison of Sociodemographic and Nutritional Characteristics between Self-Reported Vegetarians, Vegans, and Meat-Eaters from the NutriNet-Santé Study. *Nutrients*. 2017, 9(9).
- Anses. Actualisation des repères du PNNS : élaboration des références nutritionnelles. Rapport d'expertise collective. 2017a.
- Anses. Actualisation des repères du PNNS : révision des repères de consommations alimentaires. Rapport d'expertise collective. 2017b.
- Anses. INCA 3 : Evolution des habitudes et modes de consommation, de nouveaux enjeux en matière de sécurité sanitaire et de nutrition. 2017c.
- Anses. Avis de l'Anses relatif à l'actualisation des données du rapport « allergies alimentaires : état des lieux et propositions d'orientations ». 2018.
- Appenroth KJ, Sree KS, Böhm V, *et al.* Nutritional value of duckweeds (Lemnaceae) as human food. *Food chemistry*. 2017, 217: 266-273.
- Barré T, Perignon M, Gazan R, *et al.* Integrating nutrient bioavailability and coproduction links when identifying sustainable diets : How low should we reduce meat consumption? *PLoS One*. 2018, 14, 13(2):e0191767. doi: 10.1371/journal.pone.0191767.
- Bax ML, Aubry L, Ferreira C, *et al.* Cooking temperature is a key determinant of in vitro meat protein digestion rate: investigation of underlying mechanisms. *J Agric Food Chem*. 2012, 60(10): 2569-2576.
- Bax ML, Buffière C, Hafnaoui N, *et al.* Effects of Meat Cooking, and of Ingested Amount, on Protein Digestion Speed and Entry of Residual Proteins into the Colon: A Study in Minipigs. *PLOS One*. 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0061252>
- Birlouez-Aragon I. La réaction de Maillard dans les aliments : quels enjeux pour la santé humaine?. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*. 2008, 43(6): 289-295
- Boirie Y, Dangin M, Gachon P, *et al.* Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1997, 94(26): 14930-14935.
- Bos C, Airinei G, Mariotti F, *et al.* The poor digestibility of rapeseed protein is balanced by its very high metabolic utilization in humans. *J Nutr*. 2007, 137: 594-600.
- Broekman HC, Knulst AC, de Jong G, *et al.* Is mealworm or shrimp allergy indicative for food allergy to insects? *Molecular nutrition & food research*. 2017, 61(9). <https://doi.org/10.1002/mnfr.201601061>
- Brufau G, Boatella J, Rafecas M. Nuts: source of energy and macronutrients. *Br J Nutr*. 2006, 96 Suppl 2: S24-28.
- Buffière C, Gaudichon C, Hafnaoui N, *et al.* In the elderly, meat protein assimilation from rare meat is lower than that from meat that is well done. *Am J Clin Nutr*. 2017. pii: ajcn158113
- Chardigny JM, Walrand S. Les protéines végétales pour l'alimentation : des opportunités et des verrous. *OCL*. 2016, 23(4).
- Chevalier D, Debeuf C, Joubrel G, *et al.* Les aliments au soja : consommation en France, qualités nutritionnelles et données scientifiques récentes sur la santé. *OCL*. 2016, 23(4).
- Churchward-Venne TA, Pincakers PJM, van Loon JJA, van Loon LJC. Consideration of insects as a dietary protein for human consumption. *Nutrition Reviews*. 2017, 75(12):1035–1045.
- Derbyshire EJ. Flexitarian Diets and Health: A Review of the Evidence-Based Literature. *Front Nutr*. 2017, 3:55.
- Dufour C, Loonis M, Delosière M, *et al.* The matrix of fruit & vegetables modulates the gastrointestinal bioaccessibility of polyphenols and their impact on dietary protein digestibility. *Food Chem*. 2018, 240: 314-322.
- Evenepoel P, Geypens B, Luypaerts A, *et al.* Digestibility of cooked and raw egg protein in humans as assessed by stable isotope techniques. *The Journal of nutrition*. 1998, 128(10): 1716-1722.
- FAO. Maize in human nutrition. FAO, 1992.
- FAO. A review on culture, production, and use of spirulina as

food for humans and feeds for domestic animals and fish. FAO Fisheries and Aquaculture Circular N°1034 FIMA/C1034 (En); ISSN 2070-6065. 2008.

FAO. L'élevage dans le monde en 2011. Contribution de l'élevage à la sécurité alimentaire. FAO, 2011.

FAO. Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAO Expert Consultation, 31 March–2 April, 2011, Auckland, New Zealand. FAO Food and Nutrition Paper 92. FAO, Rome, 2013.

FAOSTAT

FAO/WHO/UNU. Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. Geneva, World Health Organization, 2007. <http://www.who.int/iris/handle/10665/43411>

Fuller MF, Reeds PJ. Nitrogen cycling in the gut. *Annu Rev Nutr.* 1998, 18: 385-411.

Gerber PJ, Steinfeld H, Henderson B, *et al.* Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. FAO, Rome, 2013.

Guillevic M, Dourmad JY, Mourrot J, *et al.* L'empreinte végétale de la consommation humaine de protéines animales. *Pratiques en nutrition.* 2017, 51: 25-51.

Hunt JR. Bioavailability of iron, zinc, and other trace minerals from vegetarian diets. *Am J Clin Nutr.* 2003, 78(3): 633S–639S.

IOM. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber,

Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids. The national Academies Press, Washington, D. C. 2005

Janicki J, Sobkowska E, Warchalewski J, *et al.* Amino acid composition of cereal and oilseed. *Nahrung.* 1973, 17: 359-365.

Jeuffroy MH, Cellier P, Mignolet C, Systèmes de culture métropolitains : fourniture de protéines et coût environnemental, in : *Le Déméter* 2017, pp. 333-354.

Lacroix M, Bos C, Léonil J, *et al.* Compared with casein or total milk protein, digestion of milk soluble proteins is too rapid to sustain the anabolic postprandial amino acid requirement. *Am J Clin Nutr.* 2006a, 84(5): 1070-1079.

Lacroix M, Léonil J, Bos C, *et al.*, Heat markers and quality indexes of industrially heat-treated [15N] milk protein measured in rats. *J Agric Food Chem.* 2006b, 54(4): 1508-1517.

Lecerf JM, *La viande un peu beaucoup passionnément pas du tout*, Paris, éditions Buchet et Chastel, 2016.

Lemale J, Salaun JF, Assathiany R, *et al.* Replacing breastmilk or infant formula with a nondairy drink in infants exposes them to severe nutritional complications. *Acta Paediatr.* 2018, 107: 1828-1829.

MacArtain P, Gill CI, Brooks M, *et al.* Nutritional value of edible seaweeds. *Nutrition reviews.* 2008, 65(12): 535-543.

Marfaing H. Qualités nutritionnelles des algues, leur présent et futur sur la scène alimentaire.

Cahiers de Nutrition et de Diététique. 2017, 52: 257-268.

Millward DJ, Layman DK, Tomé D, Schaafsma G. Protein quality assessment: impact of expanding understanding of protein and amino acid needs for optimal health. *Am J Clin Nutr.* 2008, 87(5): 1576S-1581S.

Mota C, Santos M, Mauro R, *et al.* Protein content and amino acids profile of pseudocereals. *Food Chem.* 2016, 193: 55-61.

Mottet A, de Han C, Falcucci A, *et al.* Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. *Global Food Security.* 2017, 14: 1-8.

Nowak V, Persijn D, Rittenschober D, Charrondiere UR. Review of food composition data for edible insects. *Food chemistry.* 2016, 193: 39-46.

Oberli M, Marsset-Baglieri A, Airinei G, *et al.* High True Ileal Digestibility but Not Postprandial Utilization of Nitrogen from Bovine Meat Protein in Humans Is Moderately Decreased by High-Temperature, Long-Duration Cooking. *J Nutr.* 2015, 145(10): 2221-2228.

Pawlak R, Lester SE, Babatunde T. The prevalence of cobalamin deficiency among vegetarians assessed by serum vitamin B12: a review of literature. *Eur J Clin Nutr.* 2014, 68(5): 541–548.

Peyraud JL, L'élevage contribue à la production durable de protéines, in : *Le Déméter* 2017, pp. 363-388.

Peyraud JL, Cellier P, Donnars C, Vertes F. Réduire les pertes d'azote dans l'élevage. Expertise scientifique collective. Édi-

tions Quæ, Collection « Matière à débattre et décider », 2014.

Peyraud JL, Peteers A. The role of grassland based production system in the protein security. Proceeding of the 25th General Meeting of the European Grassland Federation, Germany, 2016, vol 19, 695-715.

PNNS, Plan National Nutrition Santé

Polikovskiy M, Fernand F, Sack M, *et al.* In silico food allergenic risk evaluation of proteins extracted from macroalgae *Ulva* sp. with pulsed electric fields. *Food Chem.* 2019, 276: 735-744.

Poulain JP (dir). L'homme, le mangeur, l'animal. Les Cahiers de l'OCHA n°12, 2007.

Rémond D, Machebeuf M, Yven C, *et al.* Postprandial whole-body protein metabolism after a meat meal is influenced by chewing efficiency in elderly subjects. *Am J Clin Nutr.* 2007, 85(5): 1286-1292.

Rosell MS, Lloyd-Wright Z, Appleby PN, *et al.* Long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids in plasma in British meat-eating,

vegetarian, and vegan men. *Am J Clin Nutr.* 2005, 82(2): 327-334.

Smetana S, Palanisamy M, Mathys A, Heinz V. Sustainability of insect use for feed and food: life cycle assessment perspective. *Journal of cleaner production.* 2016, 137: 741-751.

Steinfeld H. Livestock's long shadow: environmental issues and options. Rome, FAO, 2006.

Thevenot A, Rivera JL, Wilfart A, *et al.*, Mealworm meal for animal feed: Environmental assessment and sensitivity analysis to guide future prospects. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 170: 1260-1267. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.054>

USDA Nutrient Data Base, <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>

Van Kernebeek HRJ, Oosting SJ, Van Ittersum MK, Bikker P, De Boer IJM. Saving land to feed a growing population: consequences for consumption of crop and livestock products. *The international Journal of Life Cycle Assessment*, 2016, 21(5):677-687.

Van der Wielen N, Moughan PJ, Mensink M. Amino Acid Absorption in the Large Intestine of Humans and Porcine Models. *J Nutr.* 2017, 147(8): 1493-1498.

van Vliet S, Burd NA, and van Loon LJ. The Skeletal Muscle Anabolic Response to Plant-versus Animal-Based Protein Consumption. *J Nutr.* 2015, 145: 1981-1991.

Verhoeckx K, Broekman H, Knults A, *et al.* Allergenicity assessment strategy for novel food proteins and protein sources. *Regul Toxicol Pharmacol.* 2016, 79: 118-124.

Wada Y, Lönnerdal B, Effects of Industrial Heating Processes of Milk-Based Enteral Formulas on Site-Specific Protein Modifications and Their Relationship to in Vitro and in Vivo Protein Digestibility. *J Agric Food Chem.* 2015, 63(30): 6787-6798.

Weber M, Grote V, Closa-Monasterolo R, *et al.* Lower protein content in infant formula reduces BMI and obesity risk at school age: follow-up of a randomized trial. *Am J Clin Nutr.* 2014, 99: 1041-1051.



ANNEXE - TABLEAU 2 : COMPOSITION EN ACIDES AMINÉS DE SOURCES ALIMENTAIRES COURANTES EN ALIMENTATION HUMAINE

	Profil FAO 2007	Lait ¹	Oeuf ¹	V viande ¹	Poisson ¹	Mollus- ques ¹	Blé ²	Mais ³	Riz ⁴	Millet ²	Soja ¹	Fèves ¹	Lentilles ¹	Pois Chiche ¹	Noix ⁵	Arachide ⁵
valine	39	65	68	50	52	51	48	45	24	41	47	45	50	42	50	42
isoleucine	30	52	53	53	46	47	35	42	37	33	48	41	43	43	41	35
leucine	59	95	86	75	81	82	67	122	79	104	77	76	73	71	77	65
lysine	45	84	73	64	92	77	27	30	21	16	61	65	70	67	28	36
AA soufrés	22	32	52	40	40	41	28	29	48	20	25	21	22	26	29	25
AA aromatiques	38	102	94	74	73	79	64	75	112	62	89	75	76	78	73	94
thréonine	23	43	44	42	44	48	31	30	31	26	36	36	36	37	39	34
tryptophane	6	13	13	12	11	14	-	5	11	-	13	10	9	10	11	10
histidine	15	30	25	31	29	20	22	27	29	18	26	26	28	27	26	25
aspartate		86	106	89	102	110	50	62	90	55	116	113	111	117	120	122
sérine		60	77	35	41	47	46	45	114	48	52	46	46	50	61	49
glutamine		225	133	152	149	153	267	203	318	181	198	172	155	174	185	209
proline		99	41	42	35	34	109	110	74	60	56	43	42	41	46	44
glycine		20	34	49	48	44	43	48	140	20	41	42	41	41	54	60
alanine		34	59	54	60	60	37	88	54	38	41	41	42	43	46	40
arginine		29	65	60	60	62	43	51	88	28	76	94	77	94	150	120
% AA ⁶		48	50	49	49	46	35	40	31	43	42	42	44	42	36	36

a : acides aminés indispensables

Sources :

1 USDA Nutrient Data Base, <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>

2 Janicki *et al.*, 1973

3 FAO, 1992

4 Mota *et al.*, 2016

5 Brufau *et al.*, 2006

6 Bos *et al.*, 2007



ANNEXE - TABLEAU 3 : COMPOSITION EN ACIDES AMINÉS DE SOURCES ALIMENTAIRES ALTERNATIVES EN ALIMENTATION HUMAINE

	Profil FAO 2007	Colza ⁶	Tournesol ²	Amaranthe ⁴	Quinoa ⁴	Sarrasin ⁴	Spiruline ¹
valine	39	43	48	33	37	44	61
isoleucine	30	34	43	30	31	33	56
leucine	59	72	63	50	59	65	86
lysine	45	57	32	39	42	45	53
AA soufrés	22	39	43	35	27	47	32
AA aromatiques	38	70	72	93	102	121	93
thréonine	23	48	35	31	33	40	52
tryptophane	6	-	-	13	12	15	16
histidine	15	28	22	31	36	41	19
aspartate		69	92	71	79	100	101
serine		43	44	57	46	59	52
glutamine		178	202	158	163	194	146
proline		56	46	37	36	41	41
glycine		51	54	69	55	63	54
alanine		47	43	31	39	41	79
arginine		59	93	89	70	113	72
% AAI ^a		42	38	41	44	42	46

a : acides aminés indispensables

Sources :

1 USDA Nutrient Data Base, <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/>

2 Janicki *et al.*, 1973

3 FAO, 1992

4 Mota *et al.*, 2016

5 Brufau *et al.*, 2006

6 Bos *et al.*, 2007

À PROPOS DE L'ÉTAT DES LIEUX

Dossier rédigé par le Fonds français pour l'alimentation et la santé

> Contributions écrites initiales de :

Yves Boirie (CHU de Clermont-Ferrand), Claire Gaudichon (AgroParisTech/INRA/Université Paris Saclay), Jean-Michel Lecerf (Institut Pasteur de Lille), Jean-Louis Peyraud (INRA Rennes), Didier Rémond (INRA Clermont-Ferrand), Patrick Tounian (Hôpital Armand-Trousseau, Paris), Stéphane Walrand (Université Clermont Auvergne)

Les contributeurs ont fourni leur déclaration publique d'intérêt. Celles-ci sont consultables auprès du Fonds français pour l'alimentation et la santé.

> Coordination scientifique :

Jean-Michel Chardigny et Bernard Guy-Grand



Fonds Français pour l'alimentation et la santé

42 rue Scheffer - 75116 PARIS - 01 45 00 92 50 - www.alimentation-sante.org