HAL
open science

La qualité des aliments d'origine animale selon les conditions de production et de transformation. Synthèse de l'Expertise scientifique collective

Sophie Prache, Véronique Santé-Lhoutellier, Camille Adamiec, Thierry Astruc, Elisabeth Baéza, Pierre-Etienne Bouillot, Antoine Clinquart, Cyril Feidt, Estelle Fourat, Joël Gautron, et al.

To cite this version:

Sophie Prache, Véronique Santé-Lhoutellier, Camille Adamiec, Thierry Astruc, Elisabeth Baéza, et al.. La qualité des aliments d'origine animale selon les conditions de production et de transformation. Synthèse de l'Expertise scientifique collective. [0] INRAE. 2020, 112 p. hal-02934505v2

HAL Id: hal-02934505

https://hal.inrae.fr/hal-02934505v2

Submitted on 3 May 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

INRAE

La qualité des aliments d'origine animale
selon les conditions de production et de transformation

Synthèse de l'Expertise scientifique collective - Mai 2020

Direction de l'expertise scientifique collective, de la prospective et des études (DEPE)
Guy Richard, directeur

Responsables scientifiques :
Sophie Prache, ingénieure de recherche, INRAE Clermont Ferrand, unité mixte de recherche sur les Herbivores, Saint-Genès-Champanelle, France

Véronique Santé-Lhoutellier, directrice de recherche, INRAE Clermont Ferrand, unité de recherche sur la Qualité des produits animaux, Saint-Genès-Champanelle, France

Coordination éditoriale :
Catherine Donnars et Mégane Raulet, INRAE, DEPE

Contacts : sophie.prache@inrae.fr et veronique.sante-lhoutellier@inrae.fr

Le rapport d'expertise scientifique a été sollicité conjointement par le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et FranceAgriMer. Il a été élaboré par un collectif d'experts scientifiques sans condition d'approbation préalable par les commanditaires ou d'INRAE. La présente synthèse, tirée du rapport, n'engage que la responsabilité de ses auteurs.
Les documents relatifs à cette expertise sont disponibles sur le site web d'INRAE (www.inrae.fr).

Pour citer ce document :
Prache S. et Santé-Lhoutellier V. (pilotes scientifiques), Adamiec C., Astruc T., Baeza-Campone E., Bouillot PE., Clinquart A., Feidt C., Fourat E., Gautron J., Guillier L., Kesse-Guyot E., Lebret B., Lefevre F., Martin B., Mirade PS., Pierre F., Rémond D., Sans P., Souchon I., Girard A., Le Perchec S., Raulet M., Donnars C., 2020. Qualité des aliments d'origine animale selon les conditions de production et de transformation. Synthèse de l'expertise scientifique collective, INRAE (France), 111 pages.

Imprimé en août 2020

Synthèse de l'expertise scientifique collective

Qualité des aliments d'origine animale selon les conditions de production et de transformation

Avant-propos

À la demande des ministères en charge de l'Agriculture et de l'Environnement, et de l'Ademe, l'INRA a conduit en 2016 une Expertise scientifique collective (ESCo) sur les impacts environnementaux, économiques et sociaux des élevages européens. Le champ de cette expertise étant très large, il n'avait pas été possible d'approfondir les dimensions plus directement liées à la consommation humaine et notamment à la caractérisation de la qualité des aliments issus des animaux d'élevage.

C'est pourquoi le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et FranceAgriMer ont sollicité une nouvelle ESCo en 2018 pour dresser un état des connaissances sur les dimensions relatives à la qualité des aliments d'origine animale. Les questions centrales étaient d'éclairer, d'une part, la différenciation de la qualité des produits animaux en fonction des conditions d'élevage des animaux dont ils sont issus et, d'autre part, sur la façon dont les caractéristiques des produits sont conservées ou modifiées lors des transformations.

Sommaire

1. Introduction ... 6

Un contexte charnière pour les aliments d'origine animale ... 6

La demande d'expertise ... 8

Le cadre d'analyse : la qualité déclinée selon sept propriétés ... 8

Les principes et la démarche de l'Expertise scientifique collective ... 10

1. Tendances de consommation des aliments d'origine animale ... 13

1.1. Tendances générales ... 13

1.2. Consommations par catégories de produits ... 13

1.3. Comportements des consommateurs ... 20

2. Effets de la consommation d'aliments d'origine animale sur la santé ... 22

2.1. Contribution des aliments d'origine animale à la couverture des besoins nutritionnels humains ... 22

2.2. Risques sanitaires liés aux dangers biologiques et chimiques associés aux aliments d'origine animale ... 25

2.3. Relations entre consommation de produits animaux et maladies chroniques ... 32

2.4. Orientations pour la consommation et approches bénéfices-risques ... 36

3. Propriétés des produits bruts et leur variabilité selon les conditions d'élevage et d'abattage ... 38

3.1. Principales propriétés des produits bruts étudiés ... 38

3.2. Facteurs impliqués tout au long de la chaîne d'élaboration des produits ... 48

3.3. Étapes majeures où se construit et où s'altère la qualité pendant la phase d'élevage ... 49

3.4. Antagonismes et synergies entre propriétés ... 54

4. Propriétés des produits transformés et leur variabilité selon les opérations de transformation ... 59

4.1. Classements des aliments d'origine animale ... 59

4.2. Opérations majeures où se modifie la qualité pendant la phase de transformation ... 64

4.3. Antagonismes, synergies et compromis au cours de la chaîne d'élaboration des produits ... 71

4.4. Innovations de rupture ... 76

5. Spécificités des produits animaux sous signes de qualité ... 77

5.1. Propriétés mises en avant selon les SIQO ... 77

5.2. Démarches de construction de la qualité ... 79

5.3. Engagements de l'agriculture biologique et leurs effets sur les propriétés des produits ... 80

5.4. Défis de l'échelle des filières sous SIQO ... 84

6. Méthodes pour le contrôle et la gestion des propriétés ... 86

6.1. Gestion du risque et de l'information ... 86

6.2. Contrôles, traçabilité et aspects juridiques ... 87

6.3. Authentification de l'origine et des conditions d'élevage et de transformation des produits ... 88

6.4. Indicateurs et méthodes de mesure des propriétés ... 89

6.5. Approches multicritères et compromis ... 93

6.6. Instruments pour agir sur les comportements alimentaires ... 95

Conclusions : enseignements pour la recherche et l'action publique ... 97

Abréviations et glossaire ... 102

Sélection bibliographique ... 106

Collectif d'experts ... 111

Introduction

Un contexte charnière pour les aliments d'origine animale

L'expertise intervient alors que les niveaux de consommation des aliments d'origine animale, et de viande en particulier, sont fortement questionnés depuis 15 ans. Auparavant marqueur d'une bonne alimentation et d'une hausse du niveau de vie, cette consommation est dorénavant associée aux excès d'un mode de vie occidental urbain. De nombreux rapports ont ainsi évalué les coûts environnementaux dont climatiques associés au développement de l'élevage. La FAO a alerté en 2006 sur le risque que fait peser la hausse actuelle de la consommation de viande dans le monde sur la sécurité alimentaire mondiale. Elle devrait continuer d'augmenter de 20 à 30 % d'ici dix ans selon les projections (Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO, 2018).

Cette consommation est très différente entre grandes régions du monde. Les Européens, les Américains (nord et sud) ou les Australiens ont doublé leur consommation d'aliments d'origine animale depuis 50 ans et mangent deux fois plus de protéines d'origine animale que la moyenne mondiale. Ce niveau élevé a attiré l'attention sur les régimes occidentaux riches en viandes, sucres et graisses animales et végétales. Or, les travaux de médecine et d'épidémiologie nutritionnelles ont montré, dans les années 1990, l'existence de liens entre ces régimes et les maladies cardiovasculaires, les cancers et l'obésité. Ces maladies chroniques d'origine alimentaire sont devenues des causes majeures de mortalité dans le monde et un enjeu de santé publique dans les pays riches. En 2015, l'OMS a confirmé le lien entre certains cancers et une consommation élevée de viande rouge et de charcuterie, et recommande aux plus gros mangeurs de réduire leur consommation. La même année, la convergence entre enjeux environnementaux et de santé nutritionnelle est affirmée par la COP 21 (*Conference of parties)* lors des négociations de Paris. En 2019, le rapport du Groupe international d'experts sur le climat (GIEC) invite à réduire la consommation de aliments d'origine animale dans les pays occidentaux. Ces expertises scientifiques internationales ont apporté beaucoup d'éléments au débat social et continuent d'éclairer le questionnement sur la « trop grande » place des aliments d'origine animale dans l'alimentation.

Les mouvements de la cause animale jouent aussi un rôle important. En divulguant des vidéos de traitements indignes infligés aux animaux dans les abattoirs ou les élevages, ils ont porté les débats sur la scène médiatique. En quelques années, la promotion d'une « végétalisation » du régime alimentaire, qu'elle soit très souple comme dans le flexitarisme, ou complète comme dans le végétalisme, s'est placée au cœur des débats sur les enjeux alimentaires contemporains. Le contenu « vert » de nos assiettes est devenu le marqueur d'un engagement concret, volontaire, politique, citoyen, individuel et collectif. Réputés stables, les comportements alimentaires ont évolué dans les pays développés au cours de la dernière décennie. Près de la moitié des Français se déclaraient « flexitariens » en 2019 (enquête FranceAgriMer 2019). Cette notion qualifie les personnes qui limitent leur consommation de viande, sans être exclusivement végétariennes. Le terme est la traduction d'un mot-valise anglais réunissant « *flexible* » et « *vegetarian* ». Les végétariens représenteraient, eux, environ 5 % de la population française, 6 % en Allemagne et 8 % en Grande-Bretagne. Les végétaliens et végans avoisineraient plutôt 1 %. L'intérêt et la faisabilité d'une substitution des protéines animales par des protéines végétales ont suscité nombre de travaux scientifiques. Ils ont ouvert sur des modélisations de changements dans les régimes alimentaires et sur des travaux de recherche et des innovations tous azimuts. Des entreprises du secteur de l'industrie de la viande et du lait investissent dorénavant dans des alternatives végétales, et les grands groupes agroindustriels et alimentaires prennent progressivement le relais des startups du départ.

Les professionnels et groupes sociaux proches du monde agricole ont argué de la place naturelle et historique des produits animaux dans notre régime omnivore et dans notre patrimoine culturel. Le débat s'est parfois crispé autour d'un jeu de miroirs disqualifiant d'un côté le jusqu'au-boutisme végan et de l'autre, le productivisme agricole. Cependant, les parties prenantes de ces débats ont aussi exploré beaucoup de sujets ardus (la comptabilité des impacts, la modélisation des futurs, la responsabilité morale envers les animaux…) et dérangeants (manger des insectes ou de la « viande » produite *in vitro*). Les questionnements ont mis en relief les limites d'une approche globalisante de l'élevage et de la consommation qui ne tient pas compte des dimensions culturelles, sociales et économiques de l'alimentation. Des études ont pointé les impacts différenciés entre territoires et entre modes de production, montrant les marges de manœuvre qu'offrent des échelles plus restreintes pour rediscuter les compromis sociétaux.

L'argumentation a souvent progressé à la manière d'un engrenage, une analyse en enclenchant une autre et reconfigurant ainsi successivement les problèmes. Des controverses sont régulièrement apparues. Elles sont souvent le terrain de

confrontations scientifiques entre disciplines et approches méthodologiques. Dans le périmètre de l'expertise, les substitutions végétales, le classement des produits, dont ceux dits ultra-transformés, et le niveau recommandé de consommation de produits animaux font l'objet de controverses. Celles-ci se doublent souvent de polémiques sur les conflits d'intérêts de leurs auteurs ou de leurs détracteurs.

S'appuyant régulièrement sur les travaux scientifiques, les acteurs sociaux ont produit leur propre expertise du sujet. Associations, professionnels, groupes de réflexion, institutions parapubliques et politiques ont publié de nombreux rapports questionnant la consommation de viande ou de produits animaux. La majorité de ces travaux semble privilégier une voie médiane autour de la notion « d'alimentation saine et durable ». C'est aussi l'expression que le Gouvernement français a adoptée dans la loi Egalim du 31 octobre 2018, à la suite des États généraux de l'Alimentation (EGA). Notion encore floue, elle autorise une large gamme d'interprétations, notamment sur la place et la composition des produits animaux dans le régime alimentaire.

Sur la période récente, les pays européens semblent trouver une issue politique à la pression sociale en revalorisant les protéines végétales dans l'alimentation humaine. En France, de nouvelles recommandations nutritionnelles du Programme national nutrition santé (PNNS) ont été publiées par Santé Publique France en janvier 2019, à partir des rapports et avis scientifiques de l'Anses (2017) et du Haut Conseil de la Santé publique (2017). Elles modifient assez radicalement les repères alimentaires sur les produits animaux pour les adultes. Une quantité maximale hebdomadaire est recommandée pour la charcuterie (< 150 g/semaine) et la viande de boucherie hors volailles (< 500 g/semaine). Les repères de consommation en produits laitiers diminuent également, passant de trois produits laitiers par jour à deux. Il est en revanche recommandé de consommer du poisson deux fois par semaine, dont un poisson gras, en variant les espèces ainsi que leurs origines géographiques, afin de limiter l'exposition aux contaminants. Les légumes secs apparaissent comme un nouveau groupe d'aliments recommandés, avec une consommation au moins deux fois par semaine, car ils sont naturellement riches en fibres. Les produits céréaliers complets font également l'objet d'une recommandation spécifique. L'autre nouveauté est d'avoir pris en compte la dimension environnementale dans l'élaboration des repères nutritionnels. Il est ainsi conseillé de privilégier les aliments produits selon des modes de production diminuant l'exposition aux pesticides, et de recourir davantage aux produits de saison et aux circuits courts. Enfin, l'attention est portée sur les produits ultra-transformés, dont il est conseillé de réduire la consommation (objectif d'une baisse de 20 % dans les cinq ans à l'échelle de la population française) au profit des produits bruts. Il est également recommandé de s'aider du Nutri-Score pour choisir entre différents produits, en limitant la consommation de produits moins bien classés (D et E).

Parallèlement, le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation anime, depuis 2017, une concertation avec les interprofessions agricoles sur leurs orientations, afin qu'elles prennent mieux en compte les attentes sociétales et les impacts environnementaux des filières animales. Les nouveaux plans des filières animales (rédigés en 2018, pour application à partir de 2019) affichent des objectifs de montée en gamme des produits, qu'ils soient sous signe de qualité (issus de l'agriculture biologique en particulier), ou standards.

Plus largement, les pays européens adoptent progressivement des « plans protéines » qui visent en premier lieu à réorienter l'alimentation des animaux vers un approvisionnement local en cultures oléo-protéagineuses afin de s'affranchir de l'importation de soja brésilien (généralement OGM) qui contribue à la déforestation de l'Amazonie. Au-delà de l'agriculture, certains plans affichent un rééquilibrage des sources végétales/animales dans les régimes alimentaires humains. Les Pays-Bas sont le seul pays européen à avoir fixé un objectif chiffré de parité entre l'apport des protéines animales et végétales dans leur régime alimentaire pour 2030, ce qui correspond aux recommandations de l'OMS. En France, la stratégie nationale sur les protéines végétales (pas encore publié en mai 2020) cherche à diversifier l'offre de légumes secs en restauration collective, et les restaurants scolaires sont dorénavant tenus d'offrir un menu végétarien par semaine.

Outre les végétaux, l'innovation inclut parfois d'autres ressources : algues, insectes... Soutenir ces nouvelles voies offre une marge de manœuvre aux gouvernements européens pour dépasser les blocages politiques. C'est en effet un fait général que promouvoir l'innovation est politiquement plus facile que promouvoir la réduction de la consommation ou de la capacité de production d'un secteur économique. Toutefois, cette stratégie n'affronte pas directement l'accompagnement de la décroissance de l'élevage, ni des filières animales. D'ailleurs seule la filière bovine prend acte de la diminution de la consommation de viande dans son plan de filière.

Ce cadrage montre que si la consommation des aliments d'origine animale a fait l'objet d'intenses débats, peu de travaux ont traité conjointement les différentes dimensions de la qualité de ces aliments, ni appréhendé l'ensemble des maillons de la chaîne d'élaboration des produits. C'est ce que cette expertise tâche d'éclairer.

La demande d'expertise

La demande d'expertise s'est inscrite dans la suite des États généraux de l'alimentation (EGA), lors de la rédaction des plans de filières, l'adoption de la loi Egalim et l'actualisation du Programme national pour l'alimentation (PNA) articulé, pour la période 2019-2023, avec le nouveau Plan national nutrition santé (PNNS), dans le cadre du Programme national de l'alimentation et de la nutrition (PNAN). Les contributions des acteurs et les attentes du public exprimées au cours des 5 mois de consultation des EGA ont mis en exergue de nombreuses questions sur les produits animaux, portant sur les enjeux sanitaires, nutritionnels, environnementaux et le bien-être animal. En charge de veiller à la sécurité et à la qualité des aliments à tous les niveaux de la chaîne alimentaire, ainsi qu'à la santé et à la protection des animaux, et pilote du PNA, la Direction générale de l'alimentation (DGAL, ministère de l'agriculture et de l'alimentation), était particulièrement intéressée par l'articulation entre les dimensions de la qualité des produits et les conditions d'élevage et de transformation, pour orienter la politique de l'alimentation. Les attentes de FranceAgriMer, établissement national des produits de l'agriculture et de la mer et second commanditaire de l'expertise se situaient également au croisement entre qualité des produits, stratégies de des filières et politiques publiques.

L'expertise a été centrée sur les principaux produits d'origine animale consommés en Europe : viandes fraîches bovines, ovines, porcines et de volaille, chair de poissons, lait (de vache, brebis et chèvre), œufs de poule, ainsi que les viandes et poissons transformés, produits laitiers, ovoproduits, ingrédients et plats composites contenant des produits animaux. Parmi les viandes, les travaux sur la santé humaine distinguent la catégorie 'viandes de boucherie' qui exclut les volailles (bœuf, veau, porc, agneau, mouton, cheval et chèvre) et celle des viandes transformées (par salage, salaison, fermentation, fumage ou appertisation) qui correspond en France à la catégorie 'charcuteries'.

Puisqu'il s'agissait d'examiner les produits au regard des conditions d'élevage et de transformation, n'ont été considérés que les produits issus d'animaux élevés en Europe. Ceux majoritairement importés (crevettes) et issus des gibiers ou de la pêche ont été exclus. L'ont été également les produits moins fréquents dans la diète (mollusques, crustacés, viandes caprine, chevaline, de lapin…) ou s'inscrivant dans des problématiques spécifiques (miel). Les procédés de transformation ont été appréhendés au travers de produits courants ayant subis des traitements thermiques ou de hachage, salage, fumaison, fermentation, tels que le lait ultra-haute-température (UHT), les jambons cuits et secs, la viande hachée de bœuf, les fromages. La grande diversité des produits composites a notamment été illustrée par les nuggets de poulet ou les pizzas, par exemple.

Les aliments peuvent être 'standards' ou bénéficier d'un signe de qualité. L'expertise s'est focalisée sur les Signes officiels d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO) lesquels sont au nombre de cinq : l'Agriculture biologique (AB), l'Appellation d'origine protégée (AOP), l'Indication géographique protégée (IGP), la Spécialité traditionnelle garantie (STG) et le Label Rouge (LR), ce dernier étant une spécificité française.

Le cadre d'analyse : la qualité déclinée selon sept propriétés

La qualité d'un produit se définit par l'ensemble des propriétés qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire des besoins implicites ou exprimés par les acteurs concernés[a], dont les consommateurs. Dans le cadre de l'expertise, nous avons considéré sept propriétés (Figure 0.1) : les propriétés organoleptiques, sanitaires et nutritionnelles qui sont toutes trois directement liées à l'acte de manger ; les propriétés commerciales, technologiques et d'usage qui intéressent les acteurs professionnels et les consommateurs ; et les propriétés d'image qui couvrent les dimensions éthiques, culturelles et environnementales associées aux conditions de production, de transformation et à l'origine de l'aliment. Elles sont aujourd'hui déterminantes pour les consommateurs.

Les propriétés organoleptiques correspondent aux caractéristiques perçues par les organes des sens (couleur, texture, jutosité, odeur et flaveur). Le plaisir alimentaire est défini comme un état de bien-être transitoire provoqué par l'anticipation de la consommation ou par la consommation d'un aliment. Le plaisir alimentaire : i) est à la base des choix et de l'acte d'achat, ii) peut orienter le comportement en vue de satisfaire le bon fonctionnement de l'organisme en énergie ou en nutriments, iii) est un élément essentiel dans les processus de satiété et de rassasiement, car la « satisfaction » est un critère important pour décider d'arrêter de manger.

Les propriétés sanitaires d'un aliment sont relatives aux dangers ou aux bénéfices associés à sa consommation. Les produits animaux étant périssables, les risques associés à leur consommation font l'objet d'une réglementation. La gestion des risques

[a] Norme AFNOR, ISO9001

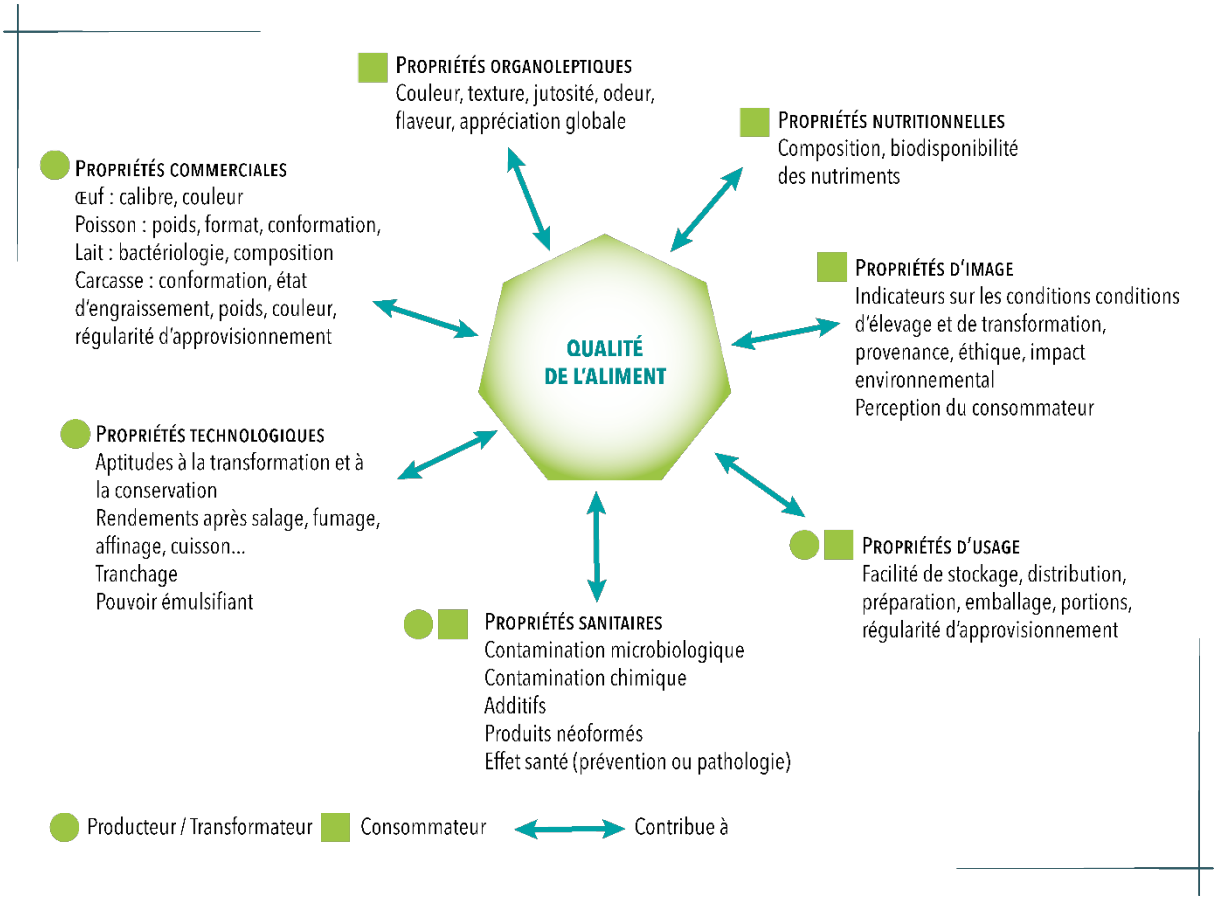
passe par l'attribution des problèmes sanitaires aux différents aliments. Les dangers microbiologiques sont de mieux en mieux caractérisés. Ce n'est pas le cas des dangers chimiques, car si la composition des produits bruts est assez bien documentée, la présence de composés issus des transformations (néoformés, additifs) et les risques associés (toxicité, interactions entre composés) sont moins connus ou le sont de façon parcellaire. Enfin, l'épidémiologie nutritionnelle permet d'évaluer les effets protecteurs ou délétères de différents groupes d'aliments sur certaines pathologies, et notamment les maladies chroniques majeures que sont les cancers, les maladies cardiovasculaires et l'obésité. L'épidémiologie nutritionnelle oriente les politiques de santé publique.

Les propriétés nutritionnelles d'un aliment reflètent sa capacité à répondre aux besoins alimentaires des consommateurs. Cette capacité est liée à sa composition et en particulier aux teneurs en nutriments favorables ou dont l'excès est défavorable à la santé, ainsi qu'à leur biodisponibilité, c'est-à-dire leur aptitude à être assimilés par l'organisme au cours de la digestion. Les produits riches en nutriments essentiels comparativement à leur apport calorique, ayant donc une forte densité nutritionnelle (nutriments essentiels pour 100 kcal), et contenant des quantités modérées de nutriments à limiter (acides gras saturés, sels, sucres notamment) favorisent un bon état de santé.

Les propriétés commerciales sont à la base du paiement aux éleveurs ; elles intéressent donc particulièrement les professionnels des filières animales. Elles dépendent du type de produit. Pour le lait, elles sont fondées sur des critères sanitaires et de composition nutritionnelles. Pour les viandes, poissons et œufs, elles reposent sur des critères de poids, d'aspect et de composition (maigre/gras), voire d'homogénéité du lot d'animaux. De manière générale, elles ne préjugent pas des propriétés perçues par les consommateurs. Bien que la notion de prix n'ait pas été traitée à part entière durant l'exercice, elle a été intégrée dans les propriétés commerciales.

Les propriétés technologiques relèvent de l'aptitude de la matière première à la transformation (rendement après salage, fumage, affinage, cuisson, par exemple) et à la conservation, en lien avec sa composition (sensibilité à l'oxydation) et les modalités de conservation (durée, température, type d'emballage). Elles intéressent essentiellement les industriels de l'agroalimentaire.

Figure 0.1. Les 7 propriétés de la qualité d'un aliment d'origine animale



Les propriétés d'usage renvoient à la praticité de l'aliment. Les consommateurs favorisent, en général, ceux qui leur font économiser des efforts (physiques et mentaux) lors des phases d'achat, de préparation culinaire, de consommation et de nettoyage post-consommation (cuisine et ustensiles). L'allongement des durées de conservation des aliments, en réduisant la fréquence d'achat, représente un gain en termes d'usage.

Les propriétés d'image couvrent l'ensemble des étapes et facteurs d'élaboration de l'aliment. Parmi les critères favorables, on peut citer l'accès des animaux au plein air et au pâturage, une faible densité des animaux, le bien-être animal, les bonnes pratiques environnementales des acteurs aux différentes étapes de la fabrication, l'utilisation d'ingrédients naturels, l'approvisionnement local, l'origine du produit… Ces propriétés renvoient à des dimensions environnementales, culturelles et éthiques dont l'évaluation s'appréhende plus souvent à l'échelle des systèmes d'élevage, des territoires, des régimes alimentaires ou des systèmes alimentaires, qu'à celle de l'aliment lui-même. Le terme d'image a été discuté : il n'est pas apparu comme complètement satisfaisant, car pouvant être perçu comme à la fois associé à une appréciation subjective et de moindre importance que les autres. C'est faute d'un autre qualificatif aussi synthétique qu'il a été choisi. Néanmoins, à l'instar des autres propriétés, les propriétés d'image reposent bien sur des résultats scientifiquement fondés. Par exemple, des synthèses récentes quantifient les impacts de l'élevage aux niveaux local et global. Leurs résultats se traduisent en propriétés d'image plus ou moins favorables à tel ou tel mode de production et/ou de transformation. Ces propriétés sont de plus en plus souvent communiquées aux consommateurs sur les étiquettes des produits ou sont garanties par les cahiers des charges, pour les produits bénéficiant de signes de qualité ou de mentions valorisantes.

Les principes et la démarche de l'expertise scientifique collective

Une Expertise scientifique collective (ESCo) consiste en un état des lieux critique des connaissances scientifiques publiées. La conduite du travail s'appuie sur une charte dont les principes généraux sont la compétence, l'impartialité, la pluralité et la transparence. L'expertise est conduite par un collectif d'experts pluridisciplinaire. Cette pluralité vise à ce que la diversité des connaissances et des arguments scientifiques soit bien prise en compte. L'expertise ne conclut pas sur des recommandations, mais les experts s'attachent à éclairer la décision publique en dégageant les acquis scientifiques et en pointant les controverses, les incertitudes et les lacunes dans les savoirs. Le présent exercice a mobilisé 20 experts pendant 2 ans.

La composition du collectif d'experts

Les experts ont été choisis au vu de leurs publications scientifiques et de la complémentarité de leurs domaines respectifs d'expertise. Un peu plus de la moitié des experts avait une entrée par les produits et les filières ($^1/_3$ était spécialiste des productions, ⅕e de la transformation), et l'autre moitié par des enjeux transversaux, soit sanitaires (¼), soit sociaux (⅕e : sociologie, économie, droit). Les recherches publiques sur le sujet relevant, en France, quasiment exclusivement d'INRAE, les experts appartiennent très majoritairement à l'Institut. Néanmoins, un quart des experts sont extérieurs, venant de l'université de Liège en Belgique, de l'Anses, de l'ENSAIA, du CNRS et d'AgroParisTech. Si le choix des experts repose prioritairement sur leur reconnaissance scientifique (nombre de publications et citations), varier les âges permet de mieux couvrir l'évolution des disciplines. Deux tiers des experts ont plus de 20 ans d'ancienneté dans leur domaine, 17 % moins de 10 ans. Enfin, le collectif compte 9 femmes (sur 20 personnes), dont les deux pilotes scientifiques.

Plusieurs règles visent à se prémunir des risques de partialité dans la conduite de l'exercice :

- Les missions dévolues à la maîtrise d'ouvrage (commanditaires : DGAL, FranceAgriMer) et à la maîtrise d'œuvre (INRAE) sont explicitées par une convention.
- Jusqu'à la remise du rapport final, les experts travaillent en comité autonome. Les conclusions sont de leur responsabilité.
- La pluralité des points de vue au sein du collectif s'est exprimée, avec néanmoins un noyau majoritaire de spécialistes des produits animaux et de leur transformation, chercheurs qui entretiennent de nombreuses collaborations (entre eux ou entre leurs co-auteurs).
- Les experts remplissent des déclarations de liens d'intérêts portant sur les cinq dernières années. Celles-ci sont examinées par une commission déontologique. Aucun conflit d'intérêt individuel n'a été repéré. L'absence de liens entre les experts et des partenaires privés n'est pas visée (« scientifique dans sa tour d'ivoire »). En revanche, qualifier ces liens permet d'éclairer des risques potentiels de biais. Plus que l'absence ou l'exclusion d'une catégorie d'acteurs, c'est la diversité de ces catégories qui peut prémunir contre d'éventuels partis pris. Cette analyse a montré que le collectif d'experts entretenait davantage d'interactions avec les acteurs agricoles qu'avec les acteurs de l'aval ou associatifs.

- L'expertise repose sur un dépouillement le plus exhaustif possible de la littérature scientifique internationale afin de garantir la prise en compte de la variété des approches scientifiques. Les publications des experts représentent 8 % des publications du corpus dont 4 % avec un expert en position de leader (premier ou dernier auteur).

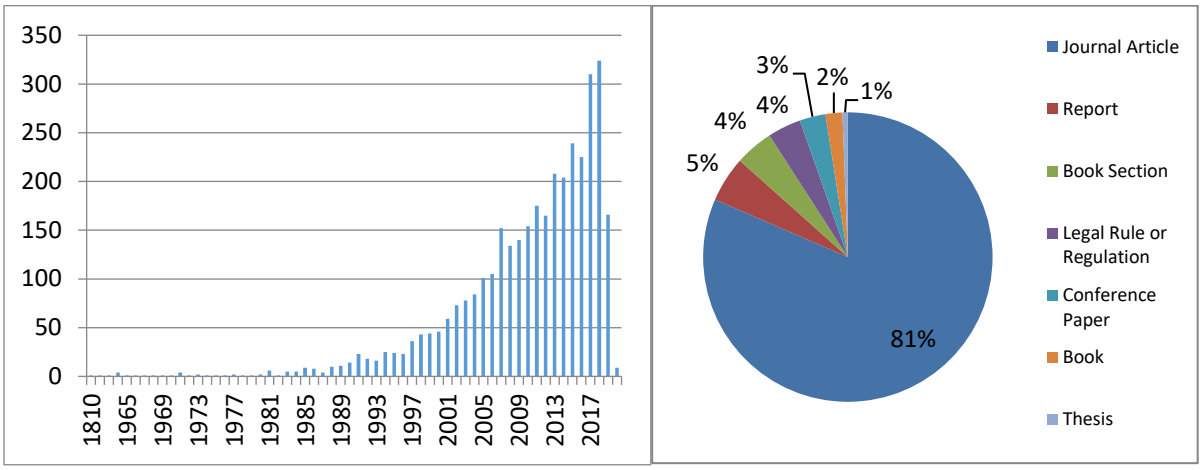
Enfin, dans un souci d'information, plusieurs directions des ministères et agences publiques ont été associées à la formulation du cahier des charges de l'expertise et/ou à son suivi (des directions du ministère de l'Agriculture, la direction générale de la Santé, l'Anses et l'Ademe). Une consultation des acteurs a eu lieu dans le cadre du Comité national de l'alimentation (CNA), notamment ceux impliqués dans son groupe de travail « Pour une alimentation favorable à la santé ». Une douzaine de membres de ce groupe a participé à deux réunions, auxquelles ont été associés des acteurs associatifs et des filières aquacoles, qui sont sous-représentés au CNA.

Les sources mobilisées dans l'expertise

L'exploration bibliographique a été faite dans les bases de données *Web of Science* (WoS), PubMed et EconLit. Ont été privilégiées les publications des quinze dernières années dans le WoS, et les méta-analyses et articles de synthèse des 10 dernières années dans PubMed. Les mots-clés utilisés pour les équations de recherche bibliographique initiales relèvent des champs des animaux, produits animaux et attributs de la qualité. Les mots-clés ont été adaptés par chapitre, sur la base du vocabulaire de la communauté scientifique ciblée.

Le corpus cité dans le rapport est constitué de 3 500 références et quelque 10 000 auteurs. Environ 80 % des sources sont postérieures à 2002 et 36 % à 2013 (Figure 0.2). Les articles les plus anciens sont des références de base dans les différents domaines. Parmi 3 500 références citées, 2 852 sont des articles scientifiques et 92 % d'entre eux sont référencés dans le WoS. Environ ⅕e des articles sont des synthèses (*reviews*) ou des méta-analyses, ces dernières étant essentiellement citées dans le chapitre dédié à la santé. Les 178 rapports émanent surtout de l'Anses, FranceAgriMer, INAO, FAO ou l'OMS. Les sources juridiques sont relativement importantes, réparties entre les cahiers des charges des produits sous signe de qualité et la législation française et européenne appliquée aux produits alimentaires d'origine animale. Les chapitres du rapport décrivant la qualité des produits, par espèce animale, mobilisent la majorité des références bibliographiques (60 %) ; puis viennent les domaines scientifiques liés à la santé et les sciences sociales. Les sources proviennent principalement d'institutions scientifiques françaises (INRAE en tête : 17 % des sources-), européennes, américaines (USA, Canada, Brésil) et d'Asie du Sud-Est.

Figure 0.2 Répartition temporelle des sources citées (gauche) et typologie des documents (droite)



Le nombre de revues scientifiques citées est particulièrement important (687), ce qui illustre l'ampleur du périmètre de l'expertise. ***Meat Science* est, de loin, la première revue citée** (Tableau 0.1). Elle est axée sur les produits carnés, couvre de l'amont à l'aval des filières et les différents volets des propriétés, ainsi que l'acceptabilité sociale des produits carnés par les consommateurs. Les revues ont généralement une notoriété excellente. La revue française *Inra Productions animales* a édité sur les dernières années plusieurs numéros spéciaux dédiés à la qualité des produits animaux avec des articles de synthèse ce qui explique sa représentation dans cette expertise.

Tableau 0.1 Les 10 revues les plus citées dans le rapport

Revue	Nombre d'articles	Pourcentage d'articles	Notoriété à 2 ans (JCR 2018) [1]
Meat Science	290	10 %	Excellente
Journal of Dairy Science	96	3 %	Excellente
Food Chemistry	80	3 %	Excellente
Inra Productions Animales / Productions Animales	75	3 %	Médiocre
Journal of Agricultural and Food Chemistry	68	2 %	Exceptionnelle
Aquaculture	61	2 %	Excellente
Poultry Science	53	2 %	Excellente
Animal	51	2 %	Excellente
Journal of the Science of Food and Agriculture	47	2 %	Excellente
Journal of Food Science	44	2 %	Correcte

[1] Notoriété : Données JCR® Thomson Reuters – Traitement INRAE Crebi Noria du 27/04/2020, prise en compte de la meilleure notoriété dans la catégorie WoS

Plusieurs ouvrages de synthèse faisant référence ont été publiés récemment en français :

- Kondjoyan, A. ; Picard, B. 2019. *La viande : de l'élevage à l'assiette*. Clermont-Ferrand : Presses universitaires Blaise Pascal (PUBP), 64 p.
- Ellies-Oury, M.-P. ; Hocquette, J.-F. 2018. *La chaîne de la viande bovine. Production, transformation, valorisation et consommation*. Paris : Lavoisier. 324 p.
- Gillis, J.C. ; Ayerbe, A. 2018. *Le Fromage*. Paris : Tec & Doc Lavoisier, 1 001 p.
- Berthelot, V. 2018. *Alimentation des animaux et qualité de leurs produits*. Paris : Lavoisier Tec & Doc (*Coll. Agriculture d'aujourd'hui*). 442 p.
- INRA Productions Animales, numéro spécial, Le muscle et la viande, vol 28(2), 2015.

1. Tendances de consommation des aliments d'origine animale

1.1. Tendances générales

En France, selon l'Insee, la consommation alimentaire par habitant a augmenté régulièrement en volume depuis cinquante ans, tandis que la part du budget alloué à l'alimentation a diminué de 35 % en 1960 à 16 % du budget des ménages en 2017[b]. Ce chiffre est stable depuis 10 ans. L'alimentation est le deuxième poste de dépenses après les transports et avant le logement. Elle pèse toujours davantage dans le budget des ménages modestes que dans celui des plus aisés (hors restauration). Les motivations des comportements alimentaires sont régulièrement revisitées. Une étude de 2018[1] en identifie sept qui se superposent parfois de manière paradoxale:

- La personnalisation croissante des consommations en lien avec une responsabilisation des mangeurs vis-à-vis des conséquences de leurs pratiques alimentaires ;
- Le développement des enjeux de santé liés aux maladies d'origine alimentaire (obésité, diabète…) ;
- L'accélération des rythmes de vie et une mobilité qui rendent l'alimentation souvent secondaire par rapport à d'autres préoccupations (travail, loisirs, déplacements) ; le temps consacré à la préparation culinaire a ainsi diminué de 4 h/semaine en France, entre 1974 et 2010 ;
- Une distanciation physique et cognitive croissante entre mangeurs et producteurs qui se traduit par un besoin accru de transparence, d'informations, mais également par une recherche de proximité et une volonté de reprendre en main son alimentation ;
- La prégnance croissante des enjeux de durabilité, la recherche de nouveaux rapports à la nature ;
- Le mouvement de numérisation de nos sociétés ;
- Des préoccupations de pouvoir d'achat qui restent fortes pour une grande partie de la population.

Les volumes consommés de lait, de yaourts et de viande de bœuf ou de mouton sont sensibles aux variations respectives de leurs prix. Pour ces produits, une hausse des prix se traduit par une baisse de leur consommation et vice versa. Notons que les prix de la viande sont plus élevés en France que la moyenne européenne (+ 30 %, Insee, 2019). Si la consommation de viande reste un marqueur social, une revue de la littérature souligne que le prix a perdu sa suprématie dans les critères d'achat : la demande en porc et en bœuf, ou le report vers la volaille, varient dorénavant davantage sous l'effet de critères sociologiques, culturels ou générationnels[2].

1.2. Consommations par catégories de produits

La part des produits animaux dans la diète française est deux fois plus importante en France que dans la moyenne mondiale et supérieure également à la moyenne européenne. La tendance récente est à la baisse ou stagnation des consommations de produits d'origine animale (Figure 1.1). En France, la consommation moyenne annuelle de viande a ainsi augmenté de 16 kg ec/hab/an entre 1973 et 1998 (25 ans), atteignant un pic à 93,6 kg ec/hab/an. Sur les 20 dernières années, la consommation a reculé de 7,6 kg ec par habitant (FranceAgriMer, 2018a)[3]. Au sein des viandes, les volailles progressent au détriment des autres viandes. Les viandes bovines et ovines connaissent le plus fort recul. Les enquêtes de consommation émanant du Credoc confirment la baisse de la fréquence et de la consommation journalière de viandes de boucherie et de charcuterie depuis 15 ans. Ces tendances se retrouvent dans de nombreux pays riches. Concernant les produits laitiers, la consommation de fromages est relativement stable depuis une vingtaine d'années après une période de croissance, alors que les consommations de lait et de beurre diminuent depuis les années 1980. La consommation d'œufs diminue légèrement.

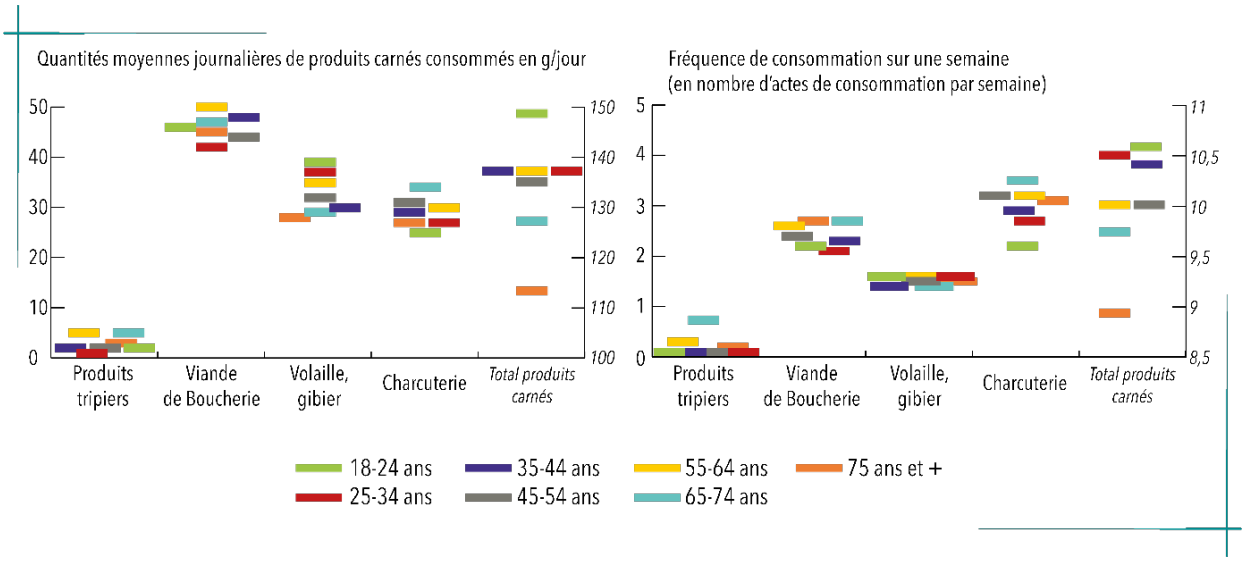
Les jeunes sont la classe d'âge qui consomme plus de produits carnés (Figure 1.2). Comparativement aux autres classes d'âge, les jeunes mangent plus de volailles et nettement moins de charcuteries. Quel que soit l'âge, les produits tripiers ne sont presque plus consommés. La fréquence de consommation de viande dépasse, en moyenne, une fois par jour dans toutes les classes d'âge.

---

[b] Insee : cinquante ans de consommation alimentaire https://www.insee.fr/fr/statistiques/1379769 (consulté mai 2020)

Figure 1.1 Évolution des consommations de viandes, d'œufs, de produits de la mer et de produits laitiers entre 1970-2013 en Europe et entre 1970-2017 en France, et répartition entre groupes d'aliments en 2013 dans le monde, en Europe et en France. Source : Our world in data (ww.ourworldindataeet Globagri (base de données INRAE-Cirad).

Figure 1.2 Quantités et fréquences de consommation des viandes selon les classes d'âges, d'après Tavoularis et Sauvage, 2018[4].



Encadré 1. Comment mesure-t-on la consommation ?

Il existe trois façons de mesurer la consommation : les méthodes globales (bilan), par groupes d'individus (au niveau du foyer) et individuelles à l'échelle de la population. Elles ne donnent pas les mêmes informations.

1) La méthode des bilans est la méthode de référence utilisée par les services statistiques (FAO, Eurostat). Pour la viande, le calcul se fonde sur les carcasses : consommation = tonnage carcasses - exportations + importations +/- variation de stock. Cette consommation dite apparente couvre tous les circuits de commercialisation (consommation à domicile et hors foyer). Les quantités sont exprimées en kg équivalent carcasse par habitant et par an (kg ec/hab/an). Pour se rapprocher de la quantité réellement consommée, il faut appliquer un coefficient de rendement en viande afin de soustraire les parties non consommées. À titre d'exemple, la consommation française de viande bovine en 2017 était de l'ordre de 23 kg ec/hab/an, le coefficient de rendement en kg de viande vendue dans les circuits de distribution (sans os sauf pour les côtes et le pot au feu) est évalué à 67 % ce qui correspond à environ 15 kg de viande bovine nette annuelle consommée par habitant. Ce coefficient de rendement dépend de l'espèce (76 % pour les agneaux, 75 % pour les volailles, 86 % pour le porc, source FranceAgriMer)

2) La méthode des panels de consommateurs est utilisée par des sociétés privées (Kantar et Nielsen par exemple) qui interrogent un échantillon constant de ménages représentatifs de la population française à qui il est demandé de faire un relevé systématique de leurs achats, sur une période de quatre ans. Par définition, cette source ne couvre pas la consommation hors foyer. Les quantités évaluées sont donc inférieures à celle de la méthode des bilans. Les résultats sont extrapolés à l'ensemble de la population française. Cette source présente l'intérêt de mesurer des évolutions rapides, de caractériser les ménages acheteurs et de connaître les prix des produits achetés, avec un niveau fin de nomenclature des produits. Elle n'est pas utilisée pour les études en nutrition/santé, car les données ne prennent pas en compte la totalité de la consommation (hors domicile). Elle ne tient pas non plus compte de ce qui est gaspillé (estimé à 20 %), ni des pertes de masse (surtout des pertes en eau qui peuvent aller jusqu'à 30 %) pendant les procédés de transformation et de cuisson.

3) Les évaluations par des enquêtes nutritionnelles sont réalisées en France, d'une part par l'Anses et Santé publique France, qui mènent régulièrement une étude individuelle nationale des consommations alimentaires (INCA et Esteban, respectivement), et d'autre part par le Credoc (Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie) qui conduit tous les trois ans une enquête sur les comportements et consommations alimentaires en France (CCAF). Quelque 1 500 ménages (2016) renseignent pendant 7 jours un carnet de consommation où sont notés les quantités consommées et les lieux de consommation. Les personnes enquêtées estiment les quantités ingérées à partir d'un portionnaire photographique standardisé où des plats sont présentés. Les informations sont extrapolées pour la population française. Elles sont généralement exprimées en g/j. Les données sont normalisées et, bien que déclaratives, se révèlent fiables.

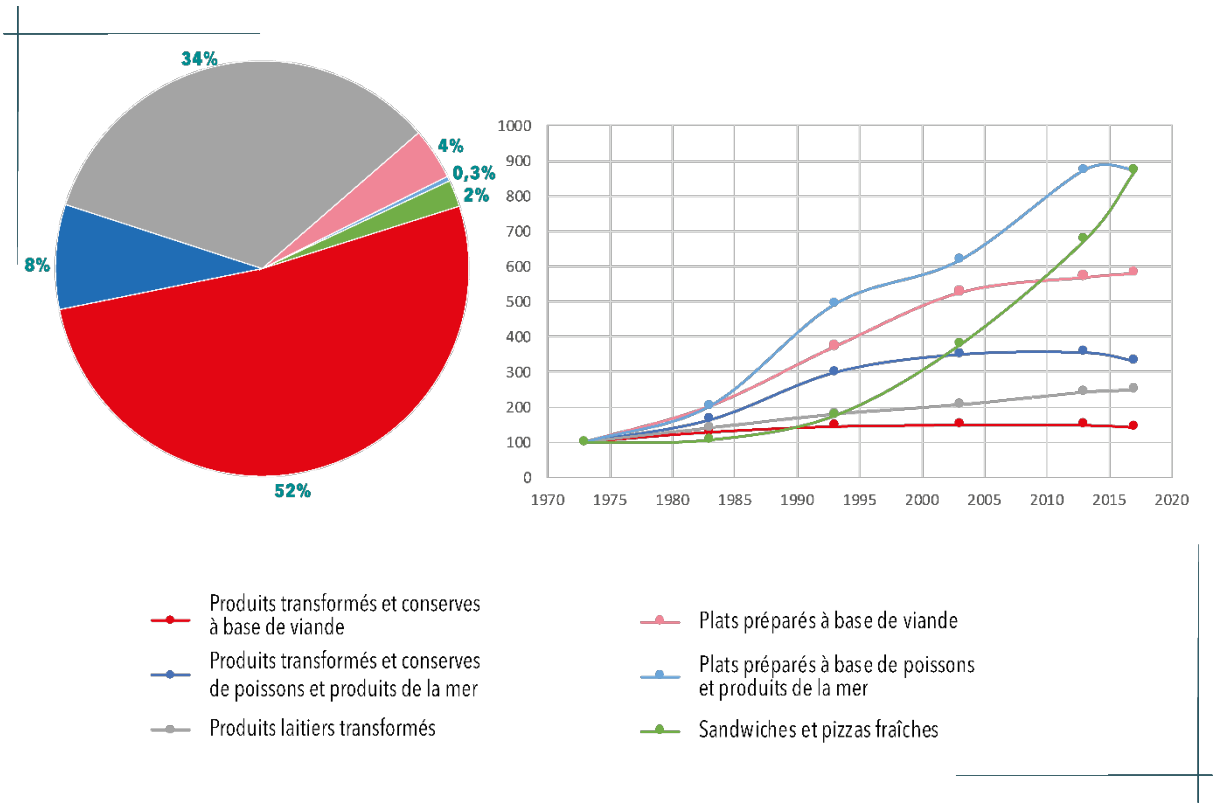
Les estimations de consommation obtenues à partir des enquêtes alimentaires et des données de bilan présentent une bonne concordance. Les données FAOSTAT de 2013 évaluent la consommation moyenne individuelle de viande à 167 g ec/hab/j. Si on y applique un coefficient de rendement viande (x 0,67) et qu'on retire les pertes et gaspillage (x 0,8), on obtient 89,5 g viande/hab/j. L'enquête CCAF de la même année (2013) évalue la consommation de viande à un chiffre voisin : 88 g/j répartis entre 53 g/j de viande de boucherie (viandes bovine, ovine, porcine sauf volailles) et 35 g/j de charcuterie par habitant.

1.2.1 Forte progression des aliments « prêts à l'emploi »

Souvent hautement périssables, les produits animaux sont rarement vendus en vrac, principalement en portions. Les industries agroalimentaires ont largement développé leur offre de plats préparés et cuisinés à base de produits animaux, soit pour un usage au domicile, soit pour la restauration hors foyer. Les supermarchés français référencent ainsi quelque 44 000 produits transformés à base de produits animaux (Observatoire de la qualité des aliments, OQALI, 2018). Les produits transformés à base de lait et d'œuf (incluant la biscuiterie) sont les plus nombreux, suivis par ceux à base de porc, puis de poulet et de bœuf.

L'analyse des dépenses des ménages à domicile (hors restauration collective) apporte une indication sur la répartition et sur l'évolution de la consommation des différents types d'aliments d'origine animale (Figure 1.3). Les sandwiches et pizzas fraîches représentent ainsi une petite fraction des produits transformés consommés mais c'est celle qui connaît la plus forte croissance sur la période récente. Les plats préparés progressent beaucoup tandis que les conserves et les produits transformés traditionnels ont tendance à stagner. La praticité des produits prêts à l'emploi épargne du temps et des tâches, les rendant particulièrement adaptés à la vie active. Cet atout s'est accompagné d'une perte des savoir-faire culinaires qui apparaît aujourd'hui préjudiciable pour soutenir des changements vers une alimentation plus saine et plus durable[5].

Figure 1.3 Part relative de plusieurs catégories d'aliments transformés contenant des produits animaux dans la consommation moyenne des ménages français, en volume (2017) et tendance d'évolution de leur consommation entre 1973 et 2017 (base 100 en 1973, prix chaînés, base 1994). Source : Comptes de la Nation.



La transformation et la formulation des aliments d'origine animale conduisent à deux formes d'invisibilité. La première, décrite de longue date, souligne la « désanimalisation » des aliments d'origine animale[6] : les parties les plus proches de l'animal vivant (oreilles, pieds) ne sont plus consommées brutes, la consommation de viandes rouges qui rappellent le sang régressent au profit des viandes blanches, les jambons sont désossés et redessinés en carré, les nuggets et wings ressemblent à des frites, les cordons bleus sont panés, la viande est hachée ou prédécoupée dans les plats préparés... La deuxième « invisibilité » concerne la contribution des nutriments d'origine animale dans le régime alimentaire. La part des ingrédients d'origine animale dans les produits transformés « à base de » produits animaux varie beaucoup, y compris pour un même produit. La teneur en viande des plats préparés peut, par exemple, varier du simple au quintuple[c]. De plus, presque la moitié des volumes de lait et d'œufs sont consommés sous la forme d'ingrédients présents dans des produits très divers. Dans les

[c] www.clcv.org/alimentation-enquetes/quantite-de-viande-qualite-nutritionnelle-que-valent-vraiment-les-plats-prepares-a-base-de-boeuf, Intervalles de teneur en viande : lasagnes = [5% - 27%], raviolis = [4% - 37%], hachis Parmentier = [12%- 32%]. (Consulté en mai 2020)

biscuits, les protéines sont ainsi généralement d'origine laitière. Dans le recensement de l'Observatoire de la qualité des aliments, on trouve ainsi 15 000 références d'aliments contenant des œufs et près de 20 000 du lait. La contribution énergétique de ces ingrédients au régime alimentaire n'est pas connue. On sait que les produits transformés représentent environ 50 % du régime alimentaire global d'un adulte et 70 % de celui d'un enfant en termes massiques (INCA 3)[7].

1.2.2 Principales caractéristiques des produits selon les espèces

En viande bovine, la viande hachée représente dorénavant 45 % de la viande consommée, les morceaux à la coupe 43 % et les plats préparés 12 %. La viande hachée vendue en frais est d'ailleurs le seul segment du marché de la viande bovine qui progresse : +14 % entre 2010 et 2017, alors que les pièces à rôtir ou à bouillir reculent, respectivement de 14 % et 23 %. Le burger n'est plus associé à l'image de la « malbouffe » et intègre de plus en plus les cartes de la restauration traditionnelle. Les grandes et moyennes surfaces vendent la moitié des volumes de morceaux à la coupe et en viande hachée, les boucheries 10 %, tandis que la restauration hors domicile totalise un quart des volumes et est en hausse. La vente directe reste rare, 3 %. Les importations représentent un peu moins d'un quart de la consommation totale française en viande bovine. Les viandes importées approvisionnent surtout la restauration collective[d] ; la quasi-totalité des importations proviennent de l'UE28 (2 % des pays tiers, FranceAgriMer, 2019). Enfin, la viande bovine consommée en France est issue pour moitié du cheptel allaitant et pour l'autre du troupeau laitier. Notons que le recul de la consommation, -16 % entre 2010 et 2017, est plus rapide que celui des effectifs au niveau de la production.

La viande de porc est la principale viande consommée en France et en Europe. Les trois-quarts de la viande de porc sont consommés sous forme de charcuteries. Les principaux produits sont le jambon et l'épaule cuits (21 %), les saucisses (22 % environ) et saucissons secs (10 %), les viandes salées, séchées, fumées (15 %), les pâtés et rillettes (10 %) et les produits traiteur et conserves (16 %). Le Code des usages de la charcuterie, de la salaison et des conserves de viandes[e] recense plus de 450 spécialités charcutières. La France (comme l'Italie) importe beaucoup de jambons frais pour sa production de jambons cuits et secs. Elle importe également des charcuteries cuites, en provenance d'Allemagne, et des charcuteries sèches, en provenance d'Espagne et d'Italie. La grande variété de produits contraste avec la faible diversité de l'offre en viande fraîche porcine où les côtelettes, la longe (rôti) et le filet mignon constituent l'essentiel des ventes, surtout en grande distribution.

Les porcs proviennent très majoritairement d'élevages intensifs, avec des animaux vivant confinés en bâtiment, sur un sol en béton ajouré (caillebotis). Les systèmes alternatifs et sous signe de qualité, avec litière de paille et/ou animaux en plein air sont très minoritaires. La préoccupation croissante en matière de bien-être animal entraîne une réduction de la pratique de la castration des porcelets mâles qui n'est déjà plus pratique courante en Espagne ou au Royaume-Uni. La castration évite le risque d'odeurs désagréables de certaines viandes issues des mâles et augmente l'engraissement.

La consommation de viande de volaille progresse, surtout les « élaborés de volailles » (panés, nuggets...) qui avoisinent un tiers des achats de volailles. En revanche les volailles entières ne représentent plus qu'un quart des achats des ménages. La part des découpes reste stable autour de 47 %, les filets (le « blanc ») étant le morceau le plus prisé. Environ 70 % de la viande de poulet consommée en restauration hors foyer est importée.

L'amélioration du bien-être des volailles est une demande forte des consommateurs européens. L'âge à l'abattage a récemment tendance à augmenter alors qu'il était tombé jusqu'à 35 jours. Les élevages confinés sont incités à enrichir le milieu de vie des animaux (bottes de paille, ballons…) et ceux avec parcours extérieurs *(free range)* se développent. Plusieurs labels « bien-être » ont vu le jour en Europe, sous l'égide des pouvoirs publics aux Pays-Bas (pionnier en 2005) et en Allemagne, ou au gré d'initiatives de distributeurs au Royaume-Uni et récemment en France (deux groupes distributeurs en 2019 et 2020). Ces labels ne représentent toutefois que 3 % des ventes sur les marchés nationaux.

La consommation de viande ovine est modeste en France où plus de la moitié de la viande consommée est importée. Son attractivité est faible chez les jeunes (les moins de 35 ans représentaient 6 % des consommateurs en 2016, source Panel Kantar). Par ailleurs, l'offre en produits transformés est peu variée. De plus, la production de lait et de viande d'agneau est généralement saisonnière (sauf à employer des races qui se dé-saisonnent ou des traitements hormonaux interdits en bio). À l'échelle européenne, le type de viande consommée et les systèmes d'élevage apparaissent plus diversifiés : depuis de très jeunes agneaux issus d'élevages laitiers (Espagne) jusqu'à des animaux adultes (Royaume-Uni), depuis l'élevage à l'herbe jusqu'à l'élevage en bâtiments. La filière ovine a une image de naturalité et bénéficie d'un grand nombre de signes de qualité. Les importations européennes proviennent majoritairement de Nouvelle Zélande et celles françaises, du Royaume-Uni.

---

[d] Depuis 2011, un décret permet à tout acheteur public de privilégier, à égalité d'offre, les circuits court (un seul intermédiaire).
[e] https://www.code-des-usages-charcuterie.fr/

Les poissons d'élevage représentent 22 % de la consommation en poissons en France (5,3 kg issus de pisciculture[8]) contre 53 % en moyenne dans le monde. Ils sont en grande partie issus d'importations : saumon de Norvège, bar et daurade de Grèce, Espagne et Turquie. La truite Arc-en-ciel est la principale espèce élevée en France. Les poissons consommés en France sont donc principalement issus de la pêche. Leur consommation augmente régulièrement, tout comme celle des autres produits de la mer (environ 10 kg/hab/an de coquillages, crustacés et céphalopodes ; hors du périmètre de l'expertise).

Le lait représente environ 10 % de la consommation totale de produits laitiers en France. Il s'agit généralement de lait de vache. Entre 1975 et 1995, les laits demi-écrémés et écrémés ont remplacé presque complètement le lait entier. Néanmoins, alors que les consommations des deux premiers ont baissé récemment, celle du lait entier est stable. Les fromages sont le premier débouché du lait (un tiers du volume environ), mais la part des yaourts et autres desserts lactés a presque triplé en 30 ans. Les composants du lait servant d'ingrédients alimentaires représentent dorénavant un quart des débouchés du lait. Notons que les Français consomment plus de beurre (7 % du volume total) que leurs voisins européens.

La consommation d'œufs reste globalement stable. Les Français consomment quelque 219 œufs par an (30 g/jour)[9], correspondant environ à la moyenne européenne (de 14 œufs/hab/an en Grèce à 250 œufs/hab par an au Danemark). Les ménages français achètent 42 % des œufs consommés ; l'autoconsommation est assez importante (6 %) et 11 % des œufs sont consommés en restauration hors domicile. En France, les ovoproduits utilisés par l'industrie dans les plats cuisinés ou les produits transformés représentent 41 % du volume total. Ce pourcentage est environ le double de la moyenne européenne[f]. Les ovoproduits sont des solutions pratiques, tant pour l'industrie alimentaire que pour la restauration. Les œufs durs écalés sont le premier produit en restauration collective, puis les préparations pour omelettes (catégorie non standardisée) fabriquées à partir d'œufs entiers auxquels peuvent être ajoutés du lait ou des garnitures de fromage, lardons, légumes… Si, en France, les consommateurs n'achètent que des œufs de consommation (vendus dans leur coquille) pour leur alimentation domestique, des ovoproduits cuisinés en vue d'un usage domestique sont commercialisés en supermarchés dans les pays anglo-saxons.

1.2.5 Produits animaux sous signes de qualité

Cette expertise a analysé les produits sous signes officiels de qualité et d'origine, les « SIQO », pas les marques collectives et privées qui peuvent cependant représenter des volumes de marché importants. Les statistiques de consommation des produits sous SIQO ne sont ni facilement accessibles, ni standardisées à l'échelle européenne. L'information sur l'agriculture biologique (AB) est souvent distincte de celle des autres signes de qualité. Lorsque les données de consommation ne sont pas disponibles, celles de la production indiquent les tendances à l'œuvre.

La consommation d'aliments d'origine animale issus de l'agriculture biologique (AB) est généralement faible, mais en forte hausse (Tableau 1.1). La hausse concerne surtout le lait, les produits laitiers et les œufs. La part du lait biologique dans les productions nationales européennes varie beaucoup. En 2016, elle était de 15 % en Autriche, 13 % en Suède et 9 % au Danemark, mais restait aux alentours de 3 % aux Pays-Bas, en France, en Allemagne et en Italie. La tendance haussière est cependant forte (soutenue aussi par la demande chinoise en lait infantile biologique). Le Danemark et l'Autriche exportent près de la moitié de leur collecte de lait biologique vers le reste de l'UE. La part de la viande biologique est plus faible, mais augmente aussi depuis quelques années. La France est le premier marché européen, avec environ 3 % du marché (en €) en AB. L'offre en viande porcine biologique est très inférieure à la demande. L'Allemagne importe ainsi un tiers de sa consommation en viande porcine AB. La législation européenne sur l'aquaculture biologique est récente (2010). En 2016, la quasi-totalité du saumon d'élevage irlandais est issu de l'agriculture biologique. Il est notamment exporté vers la France et l'Allemagne.

Les autres signes officiels de qualité ont des poids très variables. En France, les produits piscicoles sont la catégorie de produits ayant le plus fort pourcentage de produits sous SIQO (hors AB): 37 %. Les fromages, viandes ovines et volailles sous SIQO (hors AB) avoisinent 10 % de leur marché respectif (Tableau 1.2). Les données sont lacunaires au niveau européen : on ne connaît pas les volumes commercialisés, seulement le nombre de SIQO par catégorie (Tableau 1.3). Les Spécialités traditionnelles garanties (STG) à base de produits animaux sont peu nombreuses, mais peuvent concerner de grands volumes, comme le jambon Serrano d'Espagne, par exemple. **Les fromages européens sous signe de qualité sont très nombreux.** L'Italie et la France en détiennent plus de la moitié. Les fromages français sous AOP (Appellation d'origine protégée) représentent 15 % de la consommation en volume et 25 % en valeur[10].

[f] https://www.itavi.asso.fr/download/10325

Signe de qualité spécifique à la France, le Label Rouge (LR) a été lancé dans les années 1950 en réaction contre l'élevage standard de poulets à croissance rapide. Aujourd'hui, deux tiers des poulets vendus en carcasse entière sont estampillés Label Rouge, tandis que le poulet standard se positionne sur la découpe et les plats élaborés (12 % seulement en LR). Globalement, un quart de la viande de volailles consommée en France bénéficie d'un signe de qualité. Les poulets issus de l'AB sont en retrait par rapport au Label Rouge (10 % des poulets prêts à cuire et 4 % des morceaux découpés), ce qui peut s'expliquer par l'antériorité du Label Rouge, l'alignement de leurs cahiers des charges en France et le coût supérieur des rations alimentaires issues de l'agriculture biologique. Le Label Rouge est surtout présent en volailles (Tableau 1.2).

La législation européenne autorise l'utilisation de mentions valorisantes et définit notamment les produits de montagne. Les produits laitiers sont les plus concernés. Environ 11 % du lait de vache européen est produit dans les zones de montagne, les Alpes françaises et le Massif central fournissant un quart du total[11]. Les produits laitiers sont une autre mention valorisante possible : le volume de lait de vache sous cette mention est faible (6 %), mais significatif pour le lait de chèvre : 27 %.

Tableau 1.1 Données sur la consommation et la production de produits d'origine animale issus de l'agriculture biologique en UE, France et autres États membres – Sources : Eurostat, Agreste, INAO

Filière AB	UE (2016)	France (2017)	Autre pays européens (2016)
Produits laitiers	3,4 % du cheptel 2,7 % de la collecte totale	5,4 % du cheptel 12 % de la consommation nationale de produits laitiers	Autriche : 7 % de la consommation en produits laitiers ; 15 % de la collecte de lait Suède : 10 % de la consommation en produits laitiers, 1 % de la collecte nationale en lait Danemark : 31 % de la consommation en produits laitiers, 9 % de la collecte nationale en lait
Viande bovine	4,5 % du cheptel	4,1 % du cheptel 1,8 % de la consommation mais avec une croissance d'environ +50 % sur 5 ans.	Allemagne : 21,8 % du cheptel national (dépendant des importations)
Viande ovine	5 % du cheptel (laitier et allaitant)	5,5 % du cheptel français (laitier et allaitant)	UK : plus grand cheptel ovin bio, mais 2,5 % du cheptel ovin national Estonie : 50 % du cheptel ovin national
Viande porcine	0,7 % du cheptel	0,5 % du cheptel ; croissance de +50 % sur 5 ans, qui s'accélère.	Danemark : 0,9 % du cheptel national Allemagne : 0,7 % du cheptel national
Volaille	19,8 millions de poules pondeuses	11 millions de poulets de chair 2,9 % des parts de marché (2015)	Allemagne : 2,5 % parts de marché volaille (2015)
Œufs		8,8 % du cheptel 26,5 % des parts de marché	Allemagne : premier producteur œufs bio UE 10,9 % du cheptel national, 11 % d'œufs bio sont importés Danemark : 18 % du cheptel national
Poisson	12 % de la production. 1 % poisson et fruits de mer consommés	2 à 3 % de la production (jusqu'à plus de 7 % pour les espèces marines)**	Irlande : 92 % de la production, fort export Ecosse : 2,3 % de la production

*CA : chiffre d'affaires ; ** source : https://www.natexbio.com

Tableau 1.2 Volume des produits animaux sous SIQO en France – Source : INAO 2017 et Eurostat 2018 pour l'AB, Les chiffres dans ce tableau sont régulièrement inférieurs à ceux donnés par les filières pour la production française. Ex : IFIP : 4,8 % de porcs LR . https://www.inao.gouv.fr/Publications/Donnees-et-cartes/Informations-economiques.

Types de produits	Part en volume par filière (2017, % tonnes)				
	AB (2018)	AOP	IGP (et IGP-LR)	LR	Total SIQO hors AB
Produits laitiers (total)	3 %	2,7 %	0,3 %	0 %	3,0 %
Fromages		10,1 %	1,3 %	0 %	11,5 %
Crèmes et beurres		4,5 %	0,2 %	0 %	4,7 %
Viande bovine	2 %	0,1 %	0,9 %	1,5 %	2,5 %
Viande porcine	1 %	0,1 %	0,4 %	2,0 %	2,5 %
Charcuteries		0,0 %	2,6 %	1,2 %	3,8 %
Viande ovine	2 %	0,1 %	5,0 %	5,1 %	10,2 %
Viande de volaille	1 %	0,1 %	0,2 %	9,7 %	10,0 %
Œufs	12 %	0,0 %	0,5 %	3,3 %	3,8 %
Pêche et aquaculture	2 %	3,9 %	28,4 %	4,4 %	36,7 %

Remarque : ces proportions peuvent varier selon la méthodologie de recensement et l'unité utilisées.

Tableau 1.3 Nombres de produits AOP, IGP et STG (sigles : voir glossaire) enregistrés en UE – Source : https://ec.europa.eu/agriculture/quality/door/list.html?locale=fr

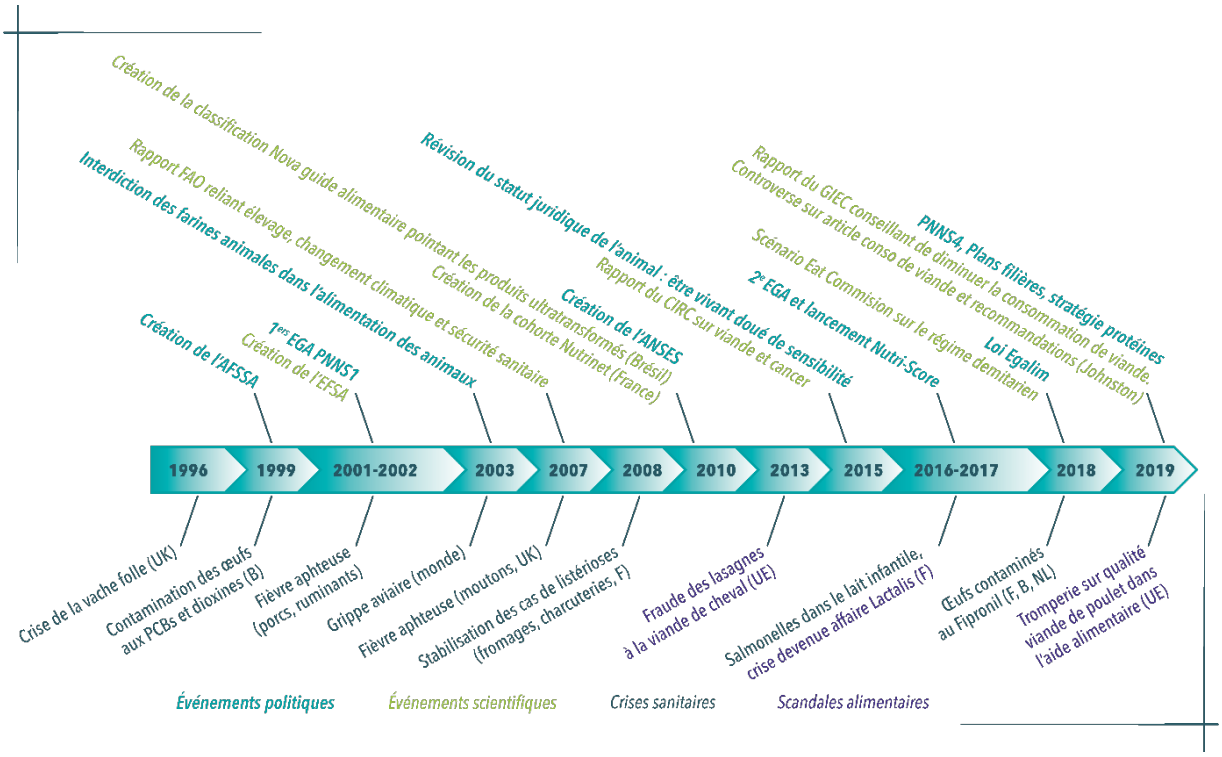
Nombre de produits enregistrés sur DOOR (2019)	AOP/IGP	STG
Viande et abats frais	165	3
Produits à base de viande	181	16
Fromages	239	7
Autres produits d'origine animale (œuf, miel…)	47	5
Huiles et matières grasses (beurre, margarine, huile…)	135	1
Poissons, mollusques, crustacés frais et produits dérivés	50	3

1.3. Comportements des consommateurs

1.3.1 Rapport aux risques alimentaires et défiance

Alors que les risques sanitaires liés à l'alimentation étaient jusqu'au XIXe siècle situés dans l'environnement naturel, ils sont dorénavant associés aux interventions humaines. Les prises de risques au motif d'intérêts économiques sont notamment dans le collimateur depuis la crise de la vache folle (Encéphalopathie spongiforme bovine) qui a débuté à cause de farines animales insuffisamment chauffées en vue d'abaisser le coût de leur fabrication. Même les maladies animales, telles que les cas d'influenza aviaire qui ont touché les volailles en 2017 ou la peste porcine africaine en 2019, ont soulevé des critiques sur les modes de production et la gestion des marchés plutôt que de renvoyer à la fatalité d'une épidémie. Sans être généralement associées à des risques sanitaires, les fraudes qui entachent les filières agroalimentaires animales accentuent une certaine défiance envers les aliments d'origine animale. La crise des lasagnes de bœuf substitué par de la viande de cheval relevait, par exemple, d'une vaste tromperie à l'échelle européenne, sans pour autant faire encourir de risques sanitaires aux consommateurs. C'est aussi le cas du scandale de 2019 sur des élaborés de volailles destinés à l'aide alimentaire dont la teneur très faible en viande portait avant tout atteinte à la morale. Ces scandales et crises érodent durablement la confiance des consommateurs. La frise chronologique ci-dessous synthétise les principaux événements sanitaires et politiques qui ont marqué les 25 dernières années (Figure 1.4). Ce nouveau rapport au risque est visible dans les prises de conscience politique, citoyenne, collective et individuelle et dans les inquiétudes qui ressortent des enquêtes d'opinion[12]. Le mangeur recherche l'équilibre entre les bénéfices et les risques dans une offre foisonnante et innovante. Les médias jouent un rôle clé dans l'information des consommateurs relayant les résultats des expertises scientifiques lesquelles évoluent régulièrement.

Figure 1.4 Chronologie des crises sanitaires, scandales alimentaires, événements scientifiques et politiques marquants depuis 25 ans



1.3.2 Stratégies de réassurance des consommateurs

La restauration de la confiance est un enjeu majeur des stratégies commerciales des filières agroalimentaires animales. Cette réassurance n'était pas forcément un but premier, mais elle est devenue centrale dans le contexte actuel de doutes sur la qualité des produits et sur la transparence des opérations de production et de transformation des aliments.

La certification est la démarche la plus classique. Elle est généralement motivée par des enjeux économiques, environnementaux ou sociaux afin de valoriser des agricultures locales ou des pratiques d'élevages particulières. Le fait de garantir au consommateur des produits respectant un cahier des charges participe à la confiance envers le produit. Le cahier des charges peut être défini par un acteur privé qui en fait un vecteur de réputation ou par les pouvoirs publics lorsqu'il s'agit de signes officiels (SIQO). L'étiquetage et les logos en sont les supports de communication. L'efficacité de ces labellisations suppose l'adéquation entre les cahiers des charges et les attentes des consommateurs qui évoluent rapidement. Les acteurs des filières font aussi pression pour y intégrer leurs intérêts du moment. Les professionnels de la transformation remettent ainsi régulièrement en débat la pertinence de la mention de l'origine, laquelle préserve les spécificités de type terroir, mais limite leur bassin d'approvisionnement.

La médicalisation de l'alimentation : les sociologues et anthropologues de l'alimentation montrent que, depuis 1990, l'alimentation s'imbrique de plus en plus dans la sphère médicale. Afin d'éviter des abus et/ou des dérives en matière d'information au consommateur, l'Union européenne légifère sur les allégations nutritionnelles et de santé (Règlement CE n°1924/2006). Historiquement associée à une éthique individuelle d'inspiration protestante chez les Anglo-saxons, cette tendance semble, dans la période récente, acquérir une dimension plus altruiste appréhendant la santé globale des humains, des animaux et de l'environnement[13]. L'attention accordée à la promotion de régimes alimentaires « sains et durables » donne à voir cette hybridation des enjeux.

La quête de naturalité : que ce soit dans les représentations sociales de l'alimentation ou à des fins de marketing, les recherches en sciences humaines montrent la fracture entre des aliments qualifiés d'industriels et ceux qualifiés de « naturels », non artificialisés. Cette opposition est forte bien que régulièrement mise à l'épreuve. Le lait, par exemple, fait figure d'aliment naturel bien qu'il subisse des traitements qui modifient sa composition et ses propriétés (homogénéisation, pasteurisation, UHT). La rhétorique de la naturalité s'appuie aussi sur la tradition. Le fromage illustre une certaine naturalisation des techniques traditionnelles[14]. Les procédés alimentaires pourraient ainsi soit dénaturaliser les aliments, soit sauvegarder leur caractère naturel ou « vivant ». Les produits bio s'inscrivent dans cette recherche de naturalité (en plus de la santé).

Le développement des circuits courts : la vente directe concerne moins les produits animaux que végétaux, mais ils bénéficient de la forte progression globale des circuits courts. La proximité et l'interconnaissance améliorent la confiance envers les aliments. La diversification des modes de distribution, dont le développement des plateformes en ligne reliant producteurs et acheteurs, et la montée en puissance des projets alimentaires territoriaux, facilitent le développement de réseaux d'approvisionnement directs ou locaux[9]. Les élevages caprins sont les plus concernés par la vente directe à la ferme[17] : près de la moitié des éleveurs de chèvres vendent directement leurs produits laitiers (42 %), nettement moins la viande des animaux (12 %). En deuxième position, quelque 16 % des élevages de brebis laitières vendent à la ferme, et 20 % des élevages ovins viande.

Le rapport aux aliments d'origine animale comme acte politique et moral : des revendications se cristallisent autour de la consommation ou de la non-consommation des produits animaux. Elles sont devenues depuis une décennie un élément important de contre-cultures émergentes. Sur internet, comme dans la société, des communautés de consommateurs se reconnaissent dans des choix qui s'écartent des normes, défendent certains moralismes ou contre-moralismes. Les mouvements « anti-lait » par exemple résistent aux injonctions nutritionnelles qui recommandent de manger des produits laitiers. Les mouvements de « consomm'acteurs bio » et « locavores » dénoncent l'industrialisation et le libéralisme mondialisé des marchés alimentaires. Le végétarisme et le végétalisme accompagnent généralement un engagement moral radical contre l'exploitation des animaux. Ils ne se doublent en revanche pas systématiquement d'une remise en cause des modèles agroalimentaires industriels. Les différents mouvements divergent quant au crédit à accorder aux innovations techniques disruptives telles que la viande "cultivée" *in vitro*. Touchant la population au-delà de ces mouvements revendicatifs, la crise de confiance envers l'alimentation incite globalement à reconsidérer les conditions d'élaboration des produits depuis l'élevage jusqu'à la formulation des aliments.

[9] https://www.rmt-alimentation-locale.org/ (consulté en mai 2020)

2. Effets de la consommation d'aliments d'origine animale sur la santé

Cette section examine, sous trois angles, les principales associations entre la consommation d'aliments d'origine animale et la santé humaine. Le premier concerne la couverture des besoins nutritionnels des populations en bonne santé. Le deuxième couvre la sécurité sanitaire, avec les maladies alimentaires d'origine microbiologique, d'une part, et les contaminations chimiques, d'autre part. Le troisième analyse les associations positives ou négatives entre le niveau de consommation de groupes d'aliments d'origine animale et le développement de maladies chroniques liées à l'alimentation.

2.1. Contribution des aliments d'origine animale à la couverture des besoins nutritionnels humains

Une littérature scientifique abondante analyse l'adéquation des aliments d'origine animale avec leur utilisation par l'organisme pour couvrir ses besoins en nutriments. Le tableau 2.1 indique la composition moyenne des produits étudiés dans l'expertise. La variabilité de cette composition selon les conditions d'élevage et de transformation sera examinée dans les chapitres suivants. La comparaison des apports nutritionnels entre aliments d'origine animale et végétale et entre régimes omnivores et végétariens, fait débat dans la communauté scientifique (voir 2.4).

2.1.1 Consommation de protéines élevée, profil en acides aminés des protéines d'origine animale équilibré par rapport aux besoins humains,

Les protéines sont impliquées dans de multiples régulations métaboliques. Leur synthèse dans l'organisme dépend des acides aminés présents dans les protéines ingérées. Celles provenant des produits animaux sont riches en acides aminés indispensables (histidine, isoleucine, leucine, lysine, méthionine, phénylalanine, thréonine, tryptophane et valine) qui ne peuvent pas être synthétisés *de novo* par l'organisme et doivent donc être apportés par l'alimentation. L'équilibre entre ces acides aminés est en parfaite adéquation avec les besoins de notre organisme, du fait de la proximité physiologique entre animaux et humains. Les protéines d'origine animale sont de plus très digestibles (pas d'enveloppe comme dans les graines, par exemple), elles sont donc considérées comme efficaces pour couvrir les besoins protéiques des humains.

Cette efficacité perd néanmoins son caractère essentiel dans le cadre d'une alimentation pléthorique, comme celle des occidentaux du XXIe siècle dont la consommation de protéines dépasse largement les besoins. Les Français mangent au moins 20 % de plus que besoin : ils consomment de l'ordre de 1,4 g de protéines par jour et par kg de poids corporel alors que leurs besoins nutritionnels sont évalués entre 0.8 et 1,2 g/j/kg de poids corporel (la fourchette haute correspond aux besoins des sportifs et des femmes qui allaitent), soit. L'apport protéique reste cependant important pour des populations ayant des risques de déficits, les personnes précaires et des 3e et 4e âges notamment. Enfin L'OMS recommande d'équilibrer la part des protéines d'origine animale et celles d'origine végétale (50/50), alors que le régime alimentaire français contient en moyenne 64 % de protéines d'origine animale.

2.1.2 Forte variation de la teneur en lipides du profil en acides gras

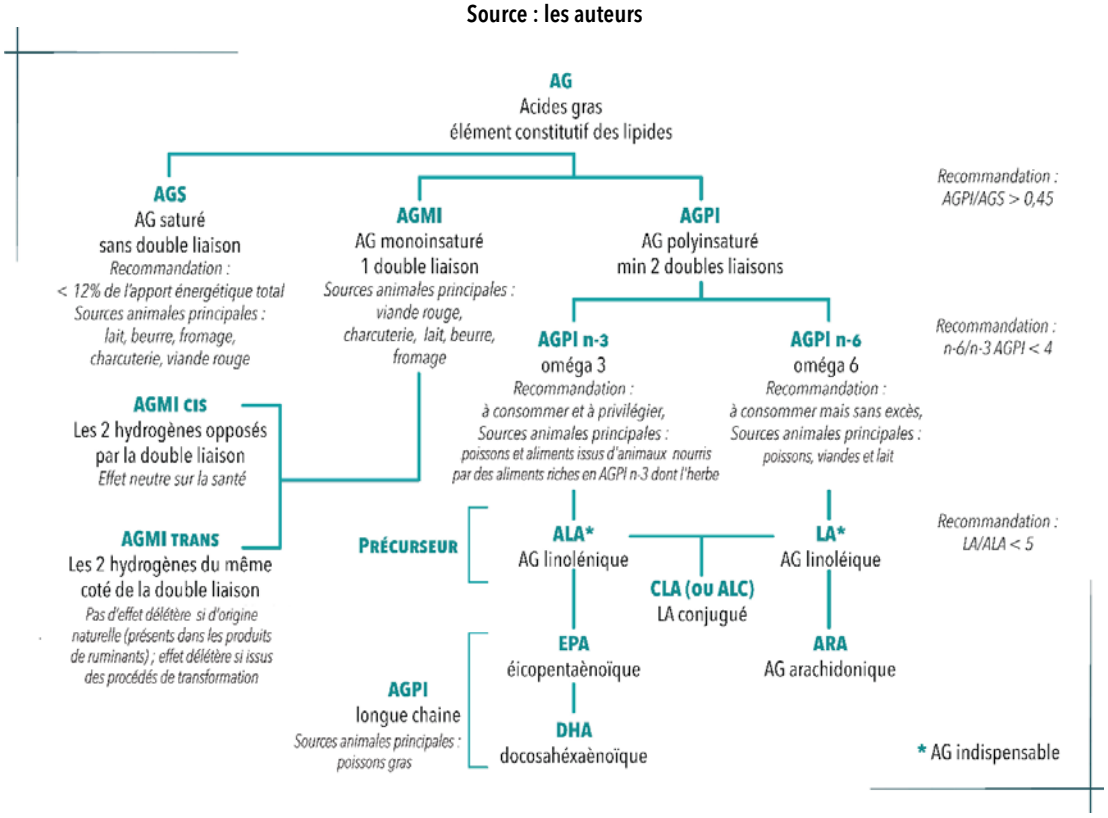
La teneur des produits animaux en lipides et leur profil en acides gras sont très variables (Figure 2.1, Tableau 2.1). Pour le lait notamment, le lait de brebis est presque deux fois plus riche en matières grasses que le lait de vache ou de chèvre. Le profil acides gras des produits animaux varie également fortement selon l'alimentation des animaux. La sélection des races à viande et des poissons a privilégié le développement musculaire des animaux, donc les tissus maigres au détriment des tissus gras. La teneur en lipides des viandes est comprise en moyenne entre 1 et 10 g /100 g et entre 2 et 15 g /100 g pour la chair de poissons. Les fromages et charcuteries, quant à eux, sont gras : entre 5 à 40 g/100 g. Cette comparaison doit cependant être modulée par la taille des portions et la part de matière sèche dans le produit. Le profil en acides gras des viandes varie. Le rapport acides gras saturés sur acides gras polyinsaturés (AGS /AGPI) varie de 1 à 7 en fonction de l'espèce, du régime alimentaire de l'animal et du morceau considéré. Ce rapport est généralement plus faible (meilleur) pour les viandes dites blanches. La viande de volaille présente la teneur la plus basse en AGS et se situe dans les valeurs supérieures pour les AGPI. Au-delà de ce rapport, la nature des AGPI est importante, du fait de l'insuffisance en AGPI n-3 (oméga-3) dans le régime alimentaire européen. Les nutritionnistes estiment que les apports en acides alpha-linolénique (ALA, oméga-3) et linoléique (LA, oméga-6) sont respectivement de 0,9 et 10 g/j, alors que les recommandations sont de 1,8 et 10 g/j. L'acide alpha-linolénique est le précurseur des omégas-3 à longue chaîne que sont les AGPI eicosapentaénoïque (EPA) et docosahexaénoïque (DHA). L'acide linoléique est, lui, le précurseur des oméga-6 à longue chaîne (acide arachidonique, ARA).

Le DHA et l'EPA sont anti-inflammatoires, tandis que l'ARA est considéré comme pro-inflammatoire. C'est pourquoi les déséquilibres dans les apports contribuent à nombre de maladies chroniques, telles que les maladies cardio-vasculaires (MCV), neurodégénératives, diabète de type 2, dérèglements du système immunitaire et certaines formes d'obésité[15]. Aujourd'hui, les apports en EPA et DHA sont de 137 et 101 mg/j, alors que les recommandations sont de 250 mg pour chacun.

Le profil en acides gras de la chair des poissons est de loin le plus intéressant car il présente une forte teneur en AGPI (70 % des acides gras totaux), dont une proportion élevée AGPI n-3 à longue chaîne. Selon l'Anses, la consommation des produits de la mer ou d'aquaculture est d'ailleurs indispensable pour couvrir les besoins en DHA[16]. Le poisson apporte donc à la fois des acides aminés et des acides gras indispensables. Les œufs, les viandes, le lait, le beurre ou le fromage sont également des sources d'AGPI n-3, d'EPA et de DHA, lorsque les animaux ont eux-mêmes ingéré des végétaux riches en AGPI n-3 (prairies, graines oléagineuses).

Figure 2.1 – Classification des acides gras (AG) en fonction de leur nomenclature et recommandations alimentaires.

Source : les auteurs



Par ailleurs, le cholestérol présent dans les œufs, le beurre et la viande a été suspecté, dans les années 1970, d'accroître le risque de maladies cardiovasculaires, ce qui a conduit à recommander d'en limiter la consommation. Les scientifiques sont revenus sur cette hypothèse[17]. Les limites supérieures de consommation en cholestérol ont été supprimées dans les recommandations nutritionnelles sauf pour les personnes diabétiques ou hypertendues. L'explication vient du fait que le cholestérol présent dans les aliments ne contribue que pour une faible part au taux de cholestérol plasmatique. L'association entre consommation d'acides gras saturés et maladies cardio-vasculaires est également remise en cause[18]. Néanmoins, les recommandations préconisent de rester en deçà de 12 % d'acides gras saturés dans l'apport énergétique total, et de limiter les acides laurique, myristique et palmitique qui sont athérogènes en cas d'excès[16], ainsi que la consommation de certains acides gras *trans* (AG *trans*) (<2 % de l'apport énergétique). Les acides gras trans provenant de ruminants semblent notamment exempts de risques, contrairement à ceux obtenus par hydrogénation des huiles végétales.

2.1.3 Des vitamines et minéraux spécifiques aux produits animaux

Les produits animaux contiennent une grande diversité de vitamines et minéraux. Les vitamines A, D, E (liposolubles) et celles du groupe B sont favorables à la santé. Les produits animaux sont les pourvoyeurs majoritaires en vitamine B12. Produite par des micro-organismes (bactéries, archées, champignons et micro-algues), la vitamine B12, elle est abondante dans les produits issus de ruminants car ils hébergent une importante biomasse microbienne en amont de leur intestin (rumen) et dans les produits de la mer. Sa présence dans les viandes de volailles, de porcs et les œufs est liée à la supplémentation des animaux en vitamine B12. L'apport de vitamine B12 dans le régime alimentaire des humains est ainsi tributaire des aliments

d'origine animale ou de compléments alimentaires issus de cultures bactériennes. Une déficience en vitamine B12 a des répercussions graves sur le développement du fœtus et des fonctions cognitives[19]. Elle semble également impliquée dans certaines anémies et troubles neurologiques de type Alzheimer ou dépressifs[20].

Tableau 2.1 – Composition moyenne des produits animaux étudiés - Source : base CIQUAL. Les cases colorées soulignent les caractéristiques les plus significatives

	Chair de poisson		Viande de poulet		Viande de porc		Viande bovine		Lait			Œuf
Constituants (/ 100 g)	Filet saumon	Filet truite	Filet sans peau	Cuisse	Filet	Côte	Tende de tranche	Paleron	Vache	Chèvre	Brebis	Poule
Energie (kcal)	194	133	108	114	117	164	116	144	65,1	56,1	103	140
Eau (g)	66,5	73,9	74,3	76	74,4	69,5	74,8	72,3	87,5	87	82,2	76,3
Protéines, N x 6,25 (g)	20,5	19,3	23,5	19,3	21,2	19,8	23,1	21,2	3,32	3,39	5,56	12,7
Glucides (g)	traces	traces	0,45	0	0	0,38	0,57	0	4,85	4,35	4,5	0,27
Lipides (g)	12,4	6,22	1,34	4,05	3,6	9,3	2,34	6,54	3,63	2,83	6,97	9,83
Sucres (g)	0	0	0,2	0	0	0	0	0	4,2	4,35	4,5	
Cendres (g)	1,22	1,28	1,92	0,98	1,1	0,98	1,05	1,19	0,7	0,8	0,96	0,96
AG saturés (g)	2,15	1,25	0,39	1,03	1,43	3,75	0,8	2,59	2,4	1,8	4,8	2,64
AG monoinsaturés (g)	4,9	2,22	0,61	1,3	1,56	4,3	0,82	2,61	0,92	0,76	1,6	3,66
AG polyinsaturés (g)	4,17	2,45	0,34	0,98	0,4	1,01	0,19	0,35	0,11	0,12	0,3	1,65
AG laurique (g)	0,008	0,002	0,0033	0,015	0,002	0,0073	0	0,0044	0,12	0,1	0,25	<0,05
AG myristique (g)	0,4	0,19	0,0086	0,023	0,052	0,15	0,044	0,15	0,41	0,25	0,65	0,024
AG, palmitique (g)	1,25	0,81	0,27	0,71	0,83	2,12	0,47	1,42	1,19	0,68	1,53	1,96
AG stéarique (g)	0,31	0,19	0,094	0,26	0,46	1,22	0,23	0,81	0,32	0,33	0,9	0,65
AG (n-9), oléique (g)	2,56	1,43	0,58	1,02	1,36	3,39	0,64	2,05	0,73	0,76	1,26	3,51
AG (n-6), linoléique (g)	1,15	0,73	0,31	0,62	0,36	0,81	0,068	0,13	0,062	0,087	0,18	1,38
AG (n-3), alpha-linolénique (g)	0,32	0,28	0,013	0,025	0,02	0,043	0,014	0,031	0,014	0,029	0,073	0,061
AG (n-3) EPA (g)	0,62	0,29	0,0029	0,008	0	0	0,004	0	<0,003	0	0	0
AG (n-3) DHA (g)	0,88	0,66	0,012	0,028	0	0,002	0,002	0	<0,003	0	0	0,09
Cholestérol (mg)	53,6	54,8	65	81	63,3	56,4	61,5	67	12,5	11	27	398
Sel (NaCl - g)	0,16	0,1	0,13	0,23	0,18	0,12	0,078	0,12	0,11	0,13	0,11	0,31
Calcium (mg)	5,84	17,1	8	10,3	6,38	7,05	7,93	7,45	120	134	199	76,8
Cuivre (mg)	<0,1	<0,1	0,038	0,061	0,095	0,087	0,061	0,087	<0,01	0,05	0,011	0,055
Fer (mg)	0,48	0,5	0,63	0,99	0,93	0,66	2,75	2,5	0,01	0,05	0,46	1,88
Iode (µg)	8,21	9,23	-	-	-	-	-	-	<20	15,3	23,3	21
Magnésium (mg)	27,4	27,5	26,5	22,3	27,1	22,2	17	25	9,8	14	17,1	11
Manganèse (mg)	<0,1	<0,1	0,014	0,019	0,014	0,011	0,006	0,012	< 0,01	0,0053	0,018	0,027
Phosphore (mg)	181	188	218	173	237	463	196	223	97	111	158	204
Potassium (mg)	358	410	293	229	416	350	329	343	160	204	103	134
Sélénium (µg)	16,5	9,75	-	-	8,48	<40	10,1	10,2	1,28	2	3	<2,58
Sodium (mg)	45,4	41,8	54,6	92	72,3	49,2	31,1	49	44,2	50	44	124
Zinc (mg)	0,36	0,44	0,67	1,8	2,53	2,31	3,46	5,51	0,37	0,3	0,54	1,01
Rétinol (µg)	4,27	13,5	7,5	16,7	0	3	3	3	31,4	35,2	20,3	182
Bêta-Carotène (µg)	< 0,008	<0,008	0	0	0	0	0	0	21,9	0	0	0
Vitamine D (µg)	3,69	5,92	0	0	0,36	0,6	0,4	0,1	< 0,25	0,06	0,2	1,88
Vitamine E (mg)	1,89	1,94	0,39	0,2	0,16	0,13	0,23	0,2	0,089	0,04	0,15	1,43
Vitamine C (mg)	1,8	-	-	-	-	-	-	-	< 0,5	1,3	4,2	0
Vitamine B1 (mg)	0,21	0,14	0,08	0,079	0,98	0	0,06	0,08	0,041	0,048	0,057	0,055
Vitamine B2 (mg)	0,076	0,1	0,13	0,18	0,28	0,18	0,18	0,21	0,17	0,14	0,34	0,45
Vitamine B3 (mg)	8,25	5,54	9,91	5,9	5,8	4,99	5,21	3,67	<0,1	0,28	0,42	0,063
Vitamine B5 (mg)	0,95	1,51	1,17	1,2	0,81	0,81	0,63	0,86	0,43	0,31	0,41	1,57
Vitamine B6 (mg)	0,58	0,34	0,68	0,35	0,58	0,41	0,51	0,27	0,02	0,046	0,06	0,15
Vitamine B9 (µg)	20,8	9,23	6,5	7,67	2,35	0	5,5	3	<2,5	1	9,19	34
Vitamine B12 (µg)	3,95	2,54	0,3	0,42	0,58	0,35	1,16	2,77	0,24	0,07	0,71	1,45

Les produits laitiers sont riches en calcium : de 1,2 g/100 ml dans le lait à 10 g/100 g dans les fromages à pâte pressée cuite. Ce calcium est facilement biodisponible (30-40 %) à la différence de celui apporté par des végétaux (chou, brocolis ou épinards. Les apports calciques sont déterminants dans la construction du capital osseux lors de la croissance. La consommation de produits laitiers est généralement associée à une meilleure densité minérale osseuse. La littérature est néanmoins controversée quant à ses effets en terme de prévention des fractures.

Les viandes et abats apportent du fer, du zinc et du sélénium. La biodisponibilité du fer héminique présent dans les viandes est plus élevée que celle du fer non héminique contenu dans les végétaux ou les produits laitiers. Sans atteindre le stade de l'anémie dont les conséquences peuvent être dramatiques (morbidité, mortalité, trouble de la reproduction), une déficience en fer peut avoir des conséquences négatives sur la santé et se traduire par une fatigue non expliquée, une fonction cognitive altérée, des capacités physiques diminuées[21]. Le zinc est, lui, impliqué dans de nombreuses fonctions biologiques (notamment en lien avec l'immunité) et les carences en zinc constituent une préoccupation de santé publique. Les produits de la mer et les produits laitiers constituent, quant à eux, la principale source d'iode de notre alimentation. Une déficience en iode est critique chez les femmes enceintes et allaitantes car elle induit des retards de développement intellectuel de l'enfant[22].

Nous verrons dans le chapitre 3 que les conditions d'élevage modulent peu les teneurs en protéines et le profil en acides aminés (stables) des produits animaux, alors qu'elles peuvent fortement influencer la teneur en lipides et le profil en acides gras. Les opérations de transformation et la formulation des aliments (chapitre 4) peuvent modifier fortement leur composition, entraînant parfois d'importantes pertes en nutriments.

2.2. Risques sanitaires liés aux dangers biologiques et chimiques associés aux aliments d'origine animale

Les propriétés sanitaires d'un aliment se mesurent relativement aux dangers associés à sa consommation. Les contaminations microbiologiques incluent bactéries, virus et parasites dont les animaux sont les principaux réservoirs. Les contaminations chimiques sont une préoccupation sanitaire croissante.

L'expertise s'est appuyée sur les rapports récents de l'Anses (2014-2018) et de Santé publique France[23]. Identifier les catégories d'aliments à l'origine de l'exposition des consommateurs aux contaminations chimiques ou microbiologiques n'est pas un exercice trivial. Remonter des aliments aux modes de production, de transformation ou de préparation à l'origine des contaminations ne l'est pas non plus.

En complément des dispositifs de surveillance, les agences de santé utilisent des méthodes dites d'attribution des sources pour évaluer les risques microbiologiques. C'est-à-dire qu'elles cherchent à quantifier la part relative des différentes sources de contaminations aux épidémies ou au « fardeau sanitaire ». Ces méthodes s'appuient sur des données épidémiologiques (démarche « descendante » qui part des données épidémiologiques humaines pour remonter aux sources alimentaires) ou sur la modélisation (démarche « ascendante » qui part des données de contamination des aliments pour estimer le risque des populations).

L'évaluation du risque chimique dans les aliments a été formalisée dans un document conjoint de la FAO et de l'OMS[24]. Les méthodes se centrent sur le contaminant chimique, l'aliment n'étant qu'un vecteur de l'exposition au contaminant. Elles combinent alors le niveau d'exposition et la relation dose-réponse. L'exposition dépend du niveau de contamination et du niveau de consommation de chaque aliment. Un aliment est considéré à risque si l'exposition globale de la population au contaminant excède les préconisations de santé publique, et si l'aliment est un contributeur significatif à cette exposition. La relation dose-réponse peut présenter un seuil d'effet ou non ; elle peut être linéaire ou suivre une loi de réponse irrégulière (non monotone) comme c'est le cas pour les perturbateurs endocriniens, dont les effets sont délétères même à très faibles doses.

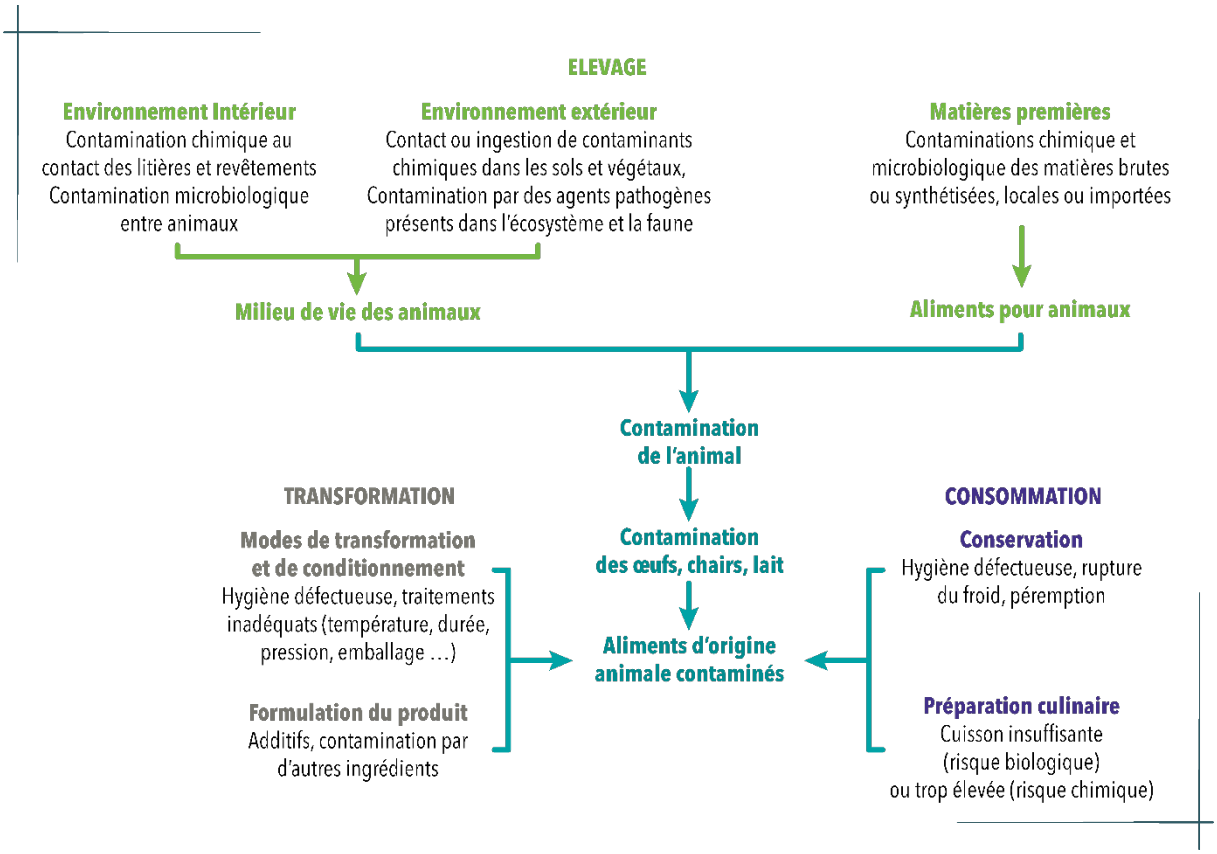
2.2.1 Voies de contamination

Les dangers microbiologiques se propagent par les contacts entre animaux au sein des troupeaux et par les interactions avec des animaux sauvages qui peuvent être des réservoirs de pathogènes. Les étapes de transformation et la préparation culinaire sont également particulièrement sensibles aux dangers biologiques, lorsque les conditions d'hygiène sont insuffisantes ou les procédés inadéquats. Les contaminants chimiques s'accumulent le long de la chaîne alimentaire : l'animal ayant lui-même pu être contaminé par ce qu'il a mangé (mycotoxines, dioxine…) ou par son milieu de vie (pollutions chimiques). Ils peuvent également résulter de procédés de transformation, soit par l'ajout de certains additifs alimentaires, soit par la

formation de composés néoformés au cours de la cuisson ou de la fumaison, soit par la migration d'éléments chimiques au contact de l'emballage par exemple.

Les modes d'élevage, les procédés de transformation et les modes de consommation jouent donc un rôle important dans les voies de contamination possibles (Figure 2.2). Les spécificités de ces voies seront abordées dans le chapitre 3.

Figure 2.2 Les voies de contaminations des aliments d'origine animale. Source : auteurs



2.2.2 Toxi-infections alimentaires associées aux dangers biologiques

L'analyse rétrospective des épidémies permet d'évaluer l'importance des voies de transmission (alimentaire, interhumaine, d'origine animale par les animaux d'élevage ou sauvages), des modes de consommation, ainsi que les réservoirs (bovin, volaille, environnement…) à l'origine des épidémies. Les principaux agents pathogènes associés aux aliments ont un réservoir animal et le point d'introduction dans la chaîne alimentaire est généralement la production primaire. Les réservoirs de *Campylobacter* sont ainsi les volailles (et autres oiseaux) et les autres animaux d'élevage ; ceux des *Escherichia coli* producteurs de shigatoxines (*E. coli* STEC) sont les ruminants ; ceux de *Salmonella* sont les volailles, les bovins et les porcins ; ceux de *Yersinia enterocolitica* sont principalement les porcins. La plupart des dangers liés aux parasites, ainsi que le virus de l'hépatite E, sont également fortement dépendants des réservoirs animaux. Des dangers microbiologiques peuvent aussi être introduits au cours de la transformation alimentaire. C'est le cas de *Bacillus cereus* et de *Staphylococcus aureus* dans les plats préparés. La gravité des pathologies varie fortement d'un agent biologique à l'autre, pouvant aller d'une simple gastro-entérite (norovirus) à la mort (*Listeria*, *Salmonella*), ou à une morbidité élevée (syndrome urémique hémolytique pour les STEC, par exemple).

Les aliments d'origine animale sont responsables d'une majorité des toxi-infections alimentaires collectives ou TIAC, observées par le système de surveillance épidémiologique (Tableau 2.2). Les viandes, les œufs, les préparations à base d'œufs (crus ou peu cuits) et les produits de la pêche totalisent 70 % des TIAC. Les TIAC représentent une part importante des données officielles d'infections alimentaires. Par abus de langage, on les associe à l'ensemble des maladies alimentaires transmises par les aliments, ce qui n'est pas complètement le cas. Ainsi certains dangers font l'objet d'une surveillance spécifique et ne sont pas rapportés dans le Tableau 2.2, telles les infections à *Listeria* ou *Escherichia coli*.

L'histamine est une toxine fréquemment impliquée dans les TIAC associées à la consommation de poisson, notamment les espèces riches en histidine (essentiellement pêchées). Lorsque le poisson a été mal éviscéré et insuffisamment réfrigéré, la chair contient de grandes quantités d'histamine, responsable d'un symptôme pseudo-allergique qui peut provoquer un empoisonnement chez les personnes intolérantes à l'histamine. La présence de bactérie (*Clostridium, Escherichia, Salmonella, Shigella*...) est à l'origine de la dégradation d'un acide aminé, l'histidine, en histamine. L'Efsa a examiné un nombre limité d'études faisant état de relations dose-réponse. Des limites maximales règlementaires d'histamine sont fixées par catégorie de produits (règlement UE n°2073/2005).

Tableau 2.2 Pourcentage de TIAC à agent confirmé (N=1602) par catégorie d'aliments et par danger biologique pour la période 2006-2015. En gras sont indiquées les principales catégories d'aliments concernées par les TIAC. Sources : Anses 2018 et données DO TIACS de Santé Publique France. Les cases colorées soulignent les pourcentages les plus élevés.
https://www.santepubliquefrance.fr/maladies-et-traumatismes/maladies-infectieuses-d-origine-alimentaire/toxi-infections-alimentaires-collectives/donnees/#tabs

Catégorie d'aliments	TIAC							
	B. cereus	*Campylobacter*	*C. perfringens*	Histamine	*Salmonella*	*S. aureus*	Norovirus	TOTAL
Viandes	1,7	5,2	3,7	0,1	16,8	2,9	0,3	**30,7**
Lait et produits laitiers	–	0,2	–	0,1	4,6	1,9	–	6,9
Œufs et préparations à base d'œufs	–	0,2	–	–	23,5	0,3	0,2	**24,3**
Produits de la pêche	0,7	0,1	0,3	5,9	2,2	0,6	5,0	**14,8**
Végétaux	0,6	0,1	0,6	–	0,2	0,4	0,3	2,2
Plats composites	5,6	1,4	4,7	0,2	3,7	4,2	0,7	**20,7**
Eau	–	0,2	–	–	–	–	–	0,2
Autres aliments	–	0,2	–	–	–	–	–	0,2
TOTAL	8,6	7,8	9,4	6,3	50,9	10,4	6,6	100

Les données de TIAC ne représentent qu'une partie mineure des cas de maladies transmises par les aliments car le dispositif de surveillance ne considère pas les cas sporadiques pourtant fréquents, et beaucoup d'intoxications ne sont ni déclarées, ni diagnostiquées. L'exemple de *Campylobacter* est illustratif. On a recensé 4 630 cas de campylobactériose par an en moyenne en France de 2011 à 2013[25]. En fait, l'incidence « réelle » est estimée entre 330 000 et 1 000 000 de cas si l'on prend en compte l'ensemble des données de surveillance, médicales et administratives (étude basée sur la période 2008-2013)[26].

Les viandes sont la principale catégorie d'aliments contribuant au fardeau sanitaire (environ 60 %) et parmi elles, la viande de volaille est le principal contributeur (Tableau 2.3). Les produits laitiers, les œufs, les produits crus et les aliments composites sont responsables d'environ 10 % du fardeau. Les fruits de mer pèsent de manière mineure avec moins de 5 % du fardeau. Les méthodes d'attributions des sources combinent les données d'incidence de maladies (nouveaux cas par an) à un indicateur de leur gravité, le « DALY » (*disability adjusted life years)* qui mesure l'espérance de vie corrigée de l'incapacité à être en bonne santé. Ce calcul permet d'estimer la part des aliments d'origine animale dans le fardeau des maladies d'origine alimentaire.

L'utilisation des données de séquençage permet depuis quelques années d'identifier certaines voies de transmission et d'identifier plus précocement l'origine des épidémies : séquençage des souches isolées dans les filières alimentaires et chez les patients. Cette technologie et le partage des données entre les différents acteurs de la sécurité sanitaire devraient permettre à terme d'améliorer la sécurité microbiologique dans les filières et prioriser les leviers de réduction du risque. Le séquençage pourra aussi être utile pour définir la part de l'alimentation dans la diffusion de l'antibiorésistance.

Tableau 2.3 Attribution de la part du fardeau sanitaire pour les dangers biologiques aux différentes catégories d'aliments. Source : Augustin, J. C ; Kooh, P., Bayeux, T. ; Guillier, L. ; Meyer, T. ; Jourdan da Silva, N. ; Villena, I. ; Sanaa, M. ; Cerf, O., 2020. *Contribution of foods and improper food handling practices to the burden of foodborne infectious diseases in France*. (In revision) – Intervalle de confiance (IC) à 90 %

Catégories et sous catégories			Part du fardeau sanitaire en % (IC 90)
Viandes			59 (50-69)
	Bœuf		8 (4-20)
		Viande de bœuf hachée à cuire	4 (2-13)
		Viande de bœuf hachée crue	4 (2-13)
		Viande de bœuf	0,3
	Porc		11 (9-21)
		Viande de porc	7 (5-16)
		Foie de porc et de sanglier	3
		Porc en plein air, sanglier	0,003
		Charcuterie	2 (0-3)
		Conserves de viandes et salaison familiales	0,01 (0-0,03)
	Volaille		35 (34-44)
	Autres viandes (agneau, viande de cheval…)		3 (1-5)
Lait et fromages			11(5-22)
		Lait non pasteurisé	1 (0-2)
		Lait thermisé	1 (0-2)
		Lait cru	1 (0-2)
	Fromages au lait cru		9 (4-21)
		Fromage frais	0,01 (0-0,03)
		Pâte pressée non cuite	4 (2-12)
		Pâte molle	6 (2-15)
	Fromages au lait pasteurisé (pâte molle)		0,5 (0,2-1,6)
Œufs et ovoproduits			7 (3-19)
	Œufs		4 (2-13)
	Produits à base d'œufs crus		4 (2-13)
Produits de la mer et aquaculture			3 (1-6)
	Poisson		0,5 (0,2-1,6)
		Poisson cuit	0,0002 (0-0,0003)
		Poisson cru	0,0002 (0-0,0003)
		Poisson fumé	0,5 (0,2-1,6)
		Poisson de la famille des thons, maquereaux, bonites (riche en histidine)	0,003
	Coquillages et crustacés		3 (1-5)
		Crustacés	0,5 (0,2-1,6)
		Mollusques bivalves cuits ou crus	1 (0-3)
Végétaux crus			11 (6-20)
		Produits crus non congelés	9 (5-18)
		Produits crus surgelés (fruits rouges, légumes)	1 (0-3)
		Produits crus sauvages (cresson, pissenlit)	0,0003
		Fruits rouges	0,3
Plats prêts à consommer ou plats préparés			10 (8-12)
	Plats cuisinés conservés au froid		2 (0-3)
		Toutes sortes d'emballages	2 (0-3)
		Emballé sous vide	0,01 (0-0,02)
	Plats faits maison		5 (3-6)
		Contenant des ingrédients céréaliers (pâtes, riz, semoule) ou déshydratés	2 (0-3)
		Avec viande cuite dans une sauce	3
	Aliments composites		3 (1-5)
		Plats préparés, gâteaux, aliments à manipulation extensive (sandwichs)	3 (1-5)
		Conserves maison	0,01 (0-0,03)

2.2.4 Contaminations chimiques au niveau de l'élevage

Au niveau de l'élevage, les contaminants proviennent de l'environnement intérieur (dans les bâtiments) **et extérieur** (plein air) **ou bien des composés chimiques présents dans des aliments pour animaux** d'élevage (Figure 2.2). Ce peut être des éléments traces métalliques, des polluants organiques persistants (POP) tels que dioxines, furanes et polychlorobiphényles (PCB...), présents dans l'air, le sol ou l'eau ; ou bien des composés présents dans les aliments pour animaux d'élevage tels que des résidus de pesticides, mycotoxines, methyl-mercure dans les farines provenant de poissons de mer… Peu d'études analysent les risques chimiques liés aux composés présents dans les aliments d'origine animale. Pour les molécules dont l'usage est autorisé, il n'y a pas d'évaluation du risque *a posteriori,* seule l'évaluation *a priori* est conduite, donnant lieu à des recommandations d'usage ; c'est le cas des médicaments vétérinaires et des pesticides.

La menace sanitaire que représente l'antibiorésistance a conduit à revoir l'usage des antibiotiques en élevage. En 2006, la Commission européenne a interdit l'utilisation des antibiotiques comme additifs alimentaires accélérant la croissance des animaux, pratique qui a accompagné les stratégies de croissance de la productivité en élevage intensif. Les risques pour la santé humaine portent sur la transmission, de l'animal vers les humains, de bactéries résistantes à un ou plusieurs antibiotiques et sur la présence de résidus dans les aliments au-delà de la limite maximale règlementaire autorisée. Les plans de contrôle officiels montrent que les non-conformités dans les aliments sont rares : 0 % pour le lait, 0,24 % et 0,7 % pour les viandes de volailles et les viandes bovines, 0,43 % pour les œufs. Des méthodes préventives fondées sur les bonnes pratiques sanitaires en élevage, ainsi que l'emploi de composés probiotiques, prébiotiques, symbiotiques et de la phytothérapie se développent comme alternatives aux antibiotiques.

De manière générale, les animaux sont sensibles aux contaminants bioaccumulables dans leurs tissus. Les poissons et produits laitiers sont une source de contamination aux POP. À l'échelle nationale, l'Étude de l'alimentation totale infantile (ou EATi), publiée par l'Anses en 2016[h], a évalué l'exposition alimentaire des enfants de moins de 3 ans à 670 substances, ce qui en fait l'étude la plus complète à ce jour. Les aliments d'origine animale sont systématiquement les plus forts contributeurs en POP dans l'alimentation. Les poissons (qui sont essentiellement pêchés, donc hors ESCo) et les produits laitiers arrivent en tête pour les dioxines, furanes et PCB.

Le cadmium, le plomb, l'arsenic ou le mercure que l'on peut retrouver dans certains aliments sont essentiellement émis par les régions urbaines fortement industrialisées. Un exemple très problématique de cette famille de micropolluants est le méthyl-mercure qui s'accumule dans les tissus graisseux et la chair de certains poissons, provoquant des troubles du système nerveux central chez le poisson.

Les PCB, plus présents que les autres contaminants dans les aliments, ont été davantage étudiés. Ces composés aromatiques chlorés connus, en France, sous le nom de pyralènes, sont stables chimiquement et peu biodégradables. Ils s'accumulent progressivement dans l'environnement en particulier dans les sédiments marins ou les rivières. Présentant une affinité particulière pour les graisses (lipophiles), ils se concentrent particulièrement dans les tissus graisseux des animaux. L'alimentation représente ainsi plus de 90 % de l'exposition totale de la population aux PCB. Les aliments d'origine animale, riches en graisses tels que les poissons gras et les produits laitiers, en particulier le beurre, sont les plus concernés. L'évaluation des risques doit être affinée par le mode de transformation : une étude montre ainsi que les risques liés à la présence de PCB dans les viandes diminuent avec l'intensité de cuisson de saignant à bien cuit[27].

Les relations entre la contamination des produits et les systèmes d'élevage sont hétérogènes, comme on le verra dans le chapitre 3. Il ressort que les systèmes d'élevage confinés et de plein air présentent des niveaux de risques similaires, mais sont exposés à des voies de contamination différentes : via les aliments achetés pour les animaux en claustration et via le milieu environnant pour les animaux en plein air. La proximité d'activités industrielles polluantes, présentes ou passées, augmente nettement le niveau de risque de contamination chimique de l'environnement.

2.2.5 Contaminations chimiques au cours de la transformation et du conditionnement de l'aliment

Les aliments peuvent être contaminés chimiquement au cours de la transformation ou de la préparation culinaire, du fait des effets collatéraux de certaines opérations de transformation. Les risques liés aux additifs, résidus et emballages sont encadrés juridiquement, le droit évoluant avec les connaissances scientifiques.

La cuisson à haute température induit la formation de composés néoformés nocifs. Ces composés sont principalement des amines hétérocycliques (AHC) et aromatiques (AHA) qui se forment lors de la cuisson de produits riches en protéines,

[h] https://www.anses.fr/fr/content/etude-de-l'alimentation-totale-infantile (consulté en mai 2020)

notamment les viandes, les poissons et les produits carnés ou piscicoles transformés. Ces AHC et AHA résultent de réactions entre les glucides du muscle, les acides aminés et d'autres composés (créatine ou créatinine). Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) proviennent, eux, de la pyrolyse des acides gras de la viande au contact d'une flamme, lors de la cuisson au barbecue, par exemple. La fumaison à chaud, combustion lente et incomplète, produit également des HAP. L'alternative qui consiste à pulvériser de la fumée liquide obtenue par condensation de la fumée issue de la combustion du bois, limite la production des HAP.

Les AHC, AHA et HAP ont des effets génotoxiques bien établis pour les modèles animaux. Ils se sont révélés cancérogènes pour les rongeurs et les primates dans des études de longue durée d'exposition et à forte dose. La transposition aux humains apparaît difficile car les études épidémiologiques centrées sur les AHC et les HAP ne sont pas concordantes[28 29]. L'incertitude sur l'ampleur de l'exposition chronique aux AHC est aussi une limite des études épidémiologiques. Selon les conditions de cuisson, leur concentration au niveau de la croûte de la viande varie de plus de 100 fois. Globalement, la quantité d'AHC augmente avec la température et la durée de la cuisson. La fumée générée lors de la cuisson contient également des AHC, que la viande soit grillée ou frite. Dans la viande de bœuf grillée, leur quantité représente environ 1,5 ng/g.

La panure frite des nuggets, cordons bleus et burgers conduit à la formation d'acrylamide. Cette molécule est classée cancérogène possible par le CIRC. Des travaux expérimentaux cherchent à limiter sa formation par divers ajouts ou traitements (extrait de thé vert, pré-cuisson au four micro-ondes…)[30].

Les matériaux d'emballage au contact des aliments sont également une source de transfert de molécules pouvant contaminer les aliments. Les risques associés aux perturbateurs endocriniens font actuellement évoluer la réglementation européenne sur les matériaux en plastique en contact avec les aliments. Le danger semble davantage lié à l'exposition humaine à un cocktail de substances potentiellement en interactions qu'à l'exposition chronique à une seule substance. L'utilisation de matériaux d'emballage recyclés augmente les risques de contamination.

La formulation des aliments peut inclure des additifs alimentaires qui, bien qu'autorisés, sont suspectés d'avoir des effets secondaires néfastes sur la santé humaine. Ces effets encore mal connus motivent actuellement une réévaluation systématique des additifs alimentaires par l'Efsa. Les additifs autorisés par catégorie de produits alimentaires, ainsi que les doses maximales autorisées et les spécifications d'usage sont règlementés au niveau de l'Union européenne[31] et de l'OMS. Les niveaux maximaux autorisés se fondent sur les effets potentiels « individuels » de l'additif étudié dans un produit alimentaire donné. C'est-à-dire que ni ses interactions avec d'autres additifs, ni les interactions entre aliments, ce que l'on appelle l'effet cocktail, ne sont prises en compte lors de l'évaluation initiale pour l'autorisation de mise sur le marché. L'impact sur la santé de la consommation régulière et cumulée d'additifs alimentaires n'est donc pas connu. Les recommandations se fondent sur l'analyse des données scientifiques disponibles, qui proviennent principalement de recherches expérimentales *in vitro* ou *in vivo* et de simulations d'exposition chez l'être humain.

Ci-après sont présentés des exemples d'additifs fréquemment utilisés dans les aliments d'origine animale consommés en France et pour lesquels des effets potentiels sur la santé ont été suggérés dans des études expérimentales *in vivo/in vitro* et, plus rarement, dans des études épidémiologiques chez l'être humain (Tableau 2.4).

Les sels nitrités sont des conservateurs utilisés dans la saumure des charcuteries et de certains fromages. **Ils sont suspectés d'être cancérigènes.** Ces sels nitrités (principalement nitrite de sodium et nitrate de potassium) ont une fonction bactériostatique d'intérêt majeur contre le botulisme. Ils permettent également de stabiliser la couleur rouge/rose des viandes transformées par leur action antioxydante, et contribuent à la flaveur des charcuteries notamment du jambon cuit. En 2010, le CIRC a classé les nitrite et nitrate ingérés dans la catégorie « 2A -probablement cancérigène » pour le cancer de l'estomac. L'Efsa a confirmé en 2017 qu'ils contribuent à la formation de nitrosamines cancérigènes, mais a conclu que, compte tenu des niveaux d'apports autorisés dans la réglementation européenne, les risques liés à l'exposition des consommateurs à ces composés pouvaient être écartés. Au niveau européen, l'ajout de nitrite est limité à 150 mg par kg pour les viandes transformées. En France, l'ajout de nitrite a été abaissé à 120 mg/kg dans le « Code des usages » qui régit les métiers de la transformation charcutière.

Pour d'autres additifs alimentaires, les résultats scientifiques sont contradictoires ou mitigés. L'Efsa conclut alors qu'il n'y a pas de risque majeur, mais souligne les risques d'exposition spécifiques. Les évaluations des risques associés aux carraghénanes, couramment utilisés comme épaississants et émulsifiants, comportent ainsi de fortes incertitudes et l'Agence note un dépassement possible de la Dose journalière admissible (DJA) jusqu'à 10 fois pour certains groupes de population. L'Efsa souligne par ailleurs que toute la population est trop exposée aux sulfites totaux (exposition supérieure à la DJA). En 2019, l'Efsa a également estimé que l'exposition alimentaire des nourrissons, enfants et adolescents aux additifs phosphatés pourrait dépasser la DJA, or ce sont des conservateurs majeurs dans l'industrie de la viande. L'Agence européenne n'a pas

confirmé en 2016 les risques liés à l'utilisation du benzoate de sodium (E211), qui est aussi un conservateur, mais a pointé que la DJA pourrait également être dépassée chez les nourrissons et les enfants. D'autres additifs font l'objet d'études suggérant des effets adverses sur la santé, sans que l'Efsa ne juge nécessaire de réévaluer leur usage, ni de fixer une DJA. C'est le cas par exemple de la carboxyméthyl cellulose (E466) utilisée dans de nombreuses crèmes fraiches ou de l'acésulfame potassium (E950), édulcorant largement utilisé dans les yaourts sans sucre.

Certains additifs ont, au contraire, des effets bénéfiques pour la santé. L'évaluation de l'Efsa en 2015 le suggérait notamment pour l'acide ascorbique (E300) parce qu'il contribue à l'apport total en vitamine C. C'est aussi le cas d'antioxydants, comme la vitamine E, dont les rôles préventifs dans plusieurs maladies chroniques sont observés.

Les additifs présents dans les aliments pour animaux peuvent avoir des effets sur l'aliment final. L'utilisation d'antioxydants, en particulier la vitamine E, permet de stabiliser la matière première des aliments apportés en pisciculture, élevage porcin et aviculture. De plus, les antioxydants protègent les acides gras polyinsaturés bénéfiques aux propriétés nutritionnelles des produits animaux. Des études montrent que l'effet bénéfique de la vitamine E sur la santé humaine est plus important lorsqu'elle est apportée dans l'aliment de l'animal (et se trouve donc dans sa chair, lait ou œuf) que si elle est incorporée dans l'aliment final. En revanche, certains additifs apportés dans la ration des animaux peuvent poser problème. L'utilisation d'éthoxyquine (E324) dans les aliments pour poissons a ainsi été suspendue en 2015, du fait, entre autres, d'un effet génotoxique d'un de ses métabolites[32].

Cette expertise a abordé les contaminants chimiques le plus souvent associés à la consommation de produits animaux. Il y en a d'autres, comme les nanoparticules, micro plastiques, composés résiduels des matériaux recyclés…, qui représentent une préoccupation croissante.

Tableau 2.4 Additifs alimentaires fréquemment utilisés (dont ceux autorisés en agriculture biologique - AB) par catégorie de produits – Source Open food facts[i] – Recensement : équipes de recherche Eren (Université Paris 1) et Toxalim (INRAE Toulouse). Le référencement des additifs sous format E123 est valable pour la France.

Classe de produits	Fonctions	Additifs fréquents	Autorisés en AB
Viandes et charcuteries et produits à base d'œufs	conservateurs	nitrite de sodium (E250), nitrate de potassium (E252), acétate de sodium (E262)	E250 et E252
	antioxydants	acide ascorbique (E300), ascorbate de sodium (E301,), érythorbate de sodium (E316)	E300 et E301
	émulsifiants, conservateurs	sels métalliques de diphosphates (E450), triphosphates (E451) carraghénanes (E407)	E407
	colorants	acide carminique (E120)	
	antioxydants	acide citrique (E330)	E330
	émulsifiants	sels métalliques de diphosphates (E450), gommes de guar (E412) et de xanthane (E415), carraghénanes (E407)	E412, E415 et E407
	colorants	extrait de paprika (E160)	
	épaississants	amidons modifiés (E1401-1452)	
Produits laitiers	antioxydants, émulsifiants	acide citrique (E330), lécithines (E322)	E330 et E322
	émulsifiants, épaississants	gomme de guar (E412) et de xanthane (E415), carraghénanes (E407), carboxy et éthylcellulose (E466), sels métalliques de diphosphates (E450), polyphosphates (E452), pectines (E440), farine de graines de caroube (E410)	E407, E412, E415, E410 et E440
	épaississants	amidons modifiés (E1401-1452)	
	édulcorants	acésulfame potassium (E950)	
	agent texturant et émulsifiant	sels de fonte	

[i] Open food facts, application qui permet en scannant le code-barres d'accéder aux informations sur le produit dont la présence ou l'absence d'additifs alimentaires Liste des additifs - France [Internet]. Open Food Facts. Consulté en mai 2019. https://fr.openfoodfacts.org/additifs

2.3. Relations entre consommation de produits animaux et maladies chroniques

Face à l'amplitude du sujet, l'expertise s'est focalisée sur les associations entre les comportements alimentaires et le risque de maladies chroniques. Les allergies, la dépression, ou les troubles de la reproduction font l'objet de travaux scientifiques qui ne sont pas traités ici. L'analyse bibliographique a principalement porté sur les maladies chroniques liées à l'âge, les articles concernant les populations d'enfants ne sont pas considérés. L'épidémiologie nutritionnelle s'intéresse aux régimes alimentaires ou aux grandes classes d'aliments, comme les produits laitiers, les viandes de boucherie (hors volailles) et les viandes transformées, c'est-à-dire les charcuteries en France.

Encadré 2. Les méthodes d'épidémiologie nutritionnelle

L'épidémiologie étudie les liens entre des facteurs d'exposition des êtres humains et leur santé, à partir d'enquêtes sur des populations et/ou de dosages biologiques. L'objectif est d'étudier les associations entre une consommation et la diminution ou augmentation de survenue d'une pathologie. La force des associations est quantifiée par différentes mesures statistiques. Dans les études de cohorte, on évalue l'impact sur le risque (*hasard ratio* ou HR) et à partir de là, le « risque relatif » (RR), en comparant des groupes de consommateurs entre eux, par exemple, petits *versus* grands consommateurs, ou pour une augmentation de consommation, en grammes ou en portions par semaine. Le sur-risque, ou le risque ou bénéfice relatif, s'interprète par rapport à la valeur 1 : un RR supérieur à 1 correspond à une augmentation du risque et inférieur 1, à sa diminution. Les résultats sont présentés avec un intervalle de confiance (IC) afin d'approcher leur incertitude : plus l'échantillon de population est grand, plus cet intervalle est réduit et l'estimation précise (IC : 95 %). À titre d'exemple, la méta-analyse de Schwingshackl *et al* de 2017 sur les associations entre la mortalité prématurée et la consommation de produits d'origine animale repose sur les données ci-dessous :

Catégories	Nombre d'études	RR	IC	Conclusions relatives à la mortalité prématurée
Charcuteries	7	1,23	95%=1,12-1,36	Augmentation significative du risque de 23% par incrément de 50g/j
Viande de boucherie	12	1,10	95%=1,00-1,22	Augmentation significative du risque de 10% par incrément de 100g/j
Poissons	39	0,93	95%=0,88-0,98	Diminution significative du risque de 7% par incrément de 100g/j
Produits laitiers	16	0,98	95% = 0,93-1,03	Aucune association par incrément de 200g/j
Œufs	8	1,06	95%=1,00-1,12	Association positive limite de la significativité pour la consommation la plus élevée (68 g/j)

La collecte de données et l'interprétation des résultats posent plusieurs difficultés. Les données d'enquêtes alimentaires sont généralement auto-rapportées ; elles ne sont jamais exhaustives ou bien portent alors sur une fenêtre de temps courte, ce qui induit une forte variabilité intra-individuelle. L'interprétation des résultats n'est pas aisée car les pathologies sont presque toujours multifactorielles. Pour conclure qu'un facteur de risque est réellement causal, les épidémiologistes confrontent leurs résultats à ceux d'autres études et les soumettent à une série de critères, dont la plus connue est celle de Hill, définie en 1965. Enfin, l'épidémiologie qualifie la robustesse de ses résultats en évaluant leur « niveau de preuve ».

Les études étiologiques, dont il est question dans cette expertise, reposent sur des études dites cas-témoins ou sur des cohortes. Si l'enquête sur les causes et facteurs de risque de la maladie porte sur le passé du malade, l'étude est rétrospective ; si un suivi s'engage au moment du démarrage de l'enquête épidémiologique, l'étude est prospective. Les études prospectives de cohorte représentent le schéma d'étude avec le niveau de preuve le plus élevé. En effet, il y a peu d'essais randomisés contrôlés évaluant les associations entre les pathologies et le comportement alimentaire pour des raisons morales évidentes (exception : études de type récurrence des polypes). Les revues systématiques de la littérature scientifique et les méta-analyses regroupent les résultats d'un grand nombre d'études. Le risque est alors quantifié à partir de l'analyse groupée des résultats. Selon leur récurrence, homogénéité ou hétérogénéité, les épidémiologistes définissent un niveau de preuve global. Le WCRF a défini cinq niveaux de preuve pour qualifier les relations entre les facteurs nutritionnels et le risque de cancer. Ces critères peuvent s'appliquer à d'autres pathologies. Un niveau de preuve *convaincant* justifie de donner lieu à des recommandations. Puis viennent par ordre décroissant, les niveaux de preuves *probable*, *suggéré* et *non concluant,* lorsque des recherches additionnelles sont nécessaires pour conclure. Le niveau *peu probable* montre une absence d'association, avec le même degré de fiabilité que le niveau convaincant.

Pour l'expertise, ont été retenues les études portant sur les aliments d'origine animale. La catégorie « viandes de boucherie hors volailles » fait référence aux viandes bovines, ovines, porcines, caprines et chevalines. Les viandes transformées renvoient aux viandes qui ont subi des procédés de salage, fermentation, fumage et/ou cuisson. Elles concernent beaucoup le porc mais aussi d'autres viandes de boucherie, de la volaille, des abats ou du sang. Au niveau international, les viandes transformées incluent les viandes appertisées (en conserve) alors qu'au niveau français, on y classe quasi exclusivement les charcuteries.

L'expertise s'est appuyée sur des travaux de compilation des données publiés récemment par le *World Cancer Research Fund International* (2018a[33]; b[34]), le rapport d'expertise collective de l'Anses « Actualisation des repères du PNNS : étude des relations entre consommation de groupes d'aliments et risque de maladies chroniques non transmissibles » (Anses, 2011)[j] et le rapport sur les maladies d'Alzheimer et maladies apparentées (MAMA) du Haut Conseil de la Santé Publique[35].

2.3.1 Mortalité prématurée

Mettre en exergue les choix nutritionnels dans les facteurs de risque de mortalité prématurée (avant 65 ans) est relativement récent. Les maladies chroniques sont devenues la principale cause de décès dans le monde, dont un tiers est associé aux maladies cardiovasculaires (MCV) et 15 % aux cancers. En France, les décès dus aux cancers devancent ceux dus aux MCV (respectivement, 29 % et 25 %). Plusieurs études épidémiologiques ont différencié les catégories d'aliments associés à ce risque. La méta-analyse la plus récente[36] a distingué 12 groupes d'aliments, dont les œufs, les produits laitiers, les poissons, les viandes de boucherie hors volailles, les viandes blanches et les viandes transformées. Elle conclut qu'une consommation croissante d'œufs, de viandes de boucherie et de viandes transformées est associée à une augmentation du risque de mortalité prématurée. En revanche, une consommation croissante de poissons diminue ce risque. Aucune méta-analyse ne conclut sur l'existence d'une association entre consommation de viande blanche et risque de mortalité prématurée. De la même manière, aucune association n'a été trouvée entre la consommation de produits laitiers (totaux) et le risque de mortalité prématurée.

Des chercheurs danois aboutissent aux mêmes conclusions[37] en utilisant une autre approche. Ils ont mesuré le nombre d'années de vie perdues ou en mauvaise santé (DALY) qui est évité par le remplacement de la consommation de viande de boucherie par du poisson. Pour la population danoise, environ 130-150 DALY étaient évitées pour 100 000 personnes si les adultes consomment 350 g par semaine de poissons gras ou un mélange de poissons gras et maigres, en substitution de la viande. Celle-ci est nettement moins bénéfique si la population ne mange que des poissons maigres, et elle devient préjudiciable si le choix se porte sur du thon, les auteurs faisant l'hypothèse d'effets toxiques et neurotoxiques liés à la contamination du thon par du méthyl-mercure.

2.3.2 Cancers

Le CIRC estime que plus de 5 % des cancers sont attribuables à des choix alimentaires ne respectant pas les recommandations nutritionnelles, quelle que soit la région du monde concernée. Les méta-analyses conduites par le WCRF (avec l'appui de l'Imperial College de Londres) font référence au niveau international pour les risques de cancers.

- Le WCRF a dressé en 2018 un bilan des travaux internationaux et a conclu que près de 10 % des cancers de l'estomac et du côlon pourraient être attribués à une consommation importante de charcuteries[33]. **Le niveau de preuve est convaincant entre l'augmentation de la consommation de charcuteries et l'augmentation du risque de cancer colorectal** au vu de la concordance, de la solidité scientifique et de la faible hétérogénéité des résultats des méta-analyses. Le risque croît de 16 % pour chaque augmentation de 50 g de viandes transformées consommées par jour.
- **Pour les viandes de boucherie, le niveau de preuve est probable.** L'association positive, pour un incrément de 100 g consommés par jour, est à la limite de la significativité dans la méta-analyse du WCRF ; elle est en revanche jugée significative dans d'autres méta-analyses (dont celle de Schwingshackl *et al.,* 2017[36]).
- **Les viandes grillées sont associées à une augmentation significative du risque de cancer** de l'estomac.
- Le WCRF observe, en revanche, que l'augmentation de la consommation de viandes blanches n'est jamais associée à une augmentation du risque de cancers.
- **L'augmentation de la consommation de produits laitiers est associée à un effet protecteur contre le cancer colorectal** avec un niveau de preuve convaincant (-13 % pour chaque augmentation de 400 g consommés par jour).

D'autres résultats des méta-analyses présentent un niveau de preuve inférieur, seulement « suggéré » Il est ainsi suggéré que la consommation de lait pourrait diminuer le risque pour le cancer du sein et augmenter celui du cancer de la prostate ; que la consommation de poisson baisserait le risque des cancers du foie et colorectal. Enfin, le WCRF considère que les études sont trop peu nombreuses ou trop inconsistantes pour conclure sur les œufs. Certaines méta-analyses suggèrent une association positive entre la consommation de plus de 3 œufs/semaine et le risque de cancer colorectal.

Les mécanismes biologiques expliquant les associations entre consommations de produits animaux et cancers ne sont pas toujours bien identifiés, sauf pour celles concernant les viandes rouges et charcuteries et le cancer colorectal. Les

[j] https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2012SA0103Ra-3.pdf

recherches partent du principe qu'un ou plusieurs composants des aliments d'origine animale a ou ont une action sur l'augmentation du risque de maladies. Pour les viandes de boucherie (hors volailles) et les viandes transformées, les hypothèses s'orientent sur les effets pro-inflammatoires, pro-oxydants ou cancérogènes associés à des composés néoformés, mais aussi à des nutriments, notamment le fer héminique[38]. Une méta-analyse de 2011 a associé positivement la consommation de fer héminique au risque de cancer colorectal. Le fer héminique est apporté principalement par la myoglobine des produits carnés (et l'hémoglobine pour le boudin noir). L'effet carcinogène résulterait potentiellement de la peroxydation des lipides produisant des molécules génotoxiques et cytotoxiques (aldéhydes) ou de la nitrosylation du fer héminique. Des études sur modèles animaux ont démontré cet effet promoteur sur la carcinogenèse colorectale[39].

La littérature scientifique explique l'association négative entre la consommation de produits laitiers et cancer du côlon par leur richesse en calcium. Deux hypothèses sont souvent proposées : soit le calcium piège des acides biliaires secondaires qui favorisent la carcinogenèse colorectale (études sur modèles animaux) ; soit il agit directement sur l'épithélium colique en inhibant la prolifération des cellules tumorales)[40]. D'autres composés du lait pourraient également avoir un effet protecteur (lactoferrine, butyrate, propionate).

2.3.3 Maladies cardiovasculaires

Parmi les facteurs de risque de maladies cardiovasculaires (MCV), l'alimentation joue un rôle qui peut être néfaste ou bien protecteur. Ces maladies incluent les maladies coronariennes, les accidents vasculaires cérébraux (AVC), les artériopathies périphériques dont l'hypertension, les cardiopathies rhumatismales, les malformations cardiaques congénitales, les thromboses veineuses profondes et les embolies pulmonaires. Deux méta-analyses parues en 2012[41] ;[42] ont porté spécifiquement sur les MCV. Elles complètent des travaux plus nombreux ciblant des pathologies précises (AVC, maladie coronarienne, hypertension...) et ceux précités sur les risques de mortalité prématurée. **Les associations les plus solides concernent les charcuteries pour toutes les MCV et la viande de boucherie pour le risque d'AVC. Les poissons (en particulier maigres) et les produits laitiers jouent, en revanche, un rôle protecteur contre les AVC et les maladies coronariennes**. Les résultats pour les œufs ne sont pas convergents (la présence d'autres aliments dans un régime riche en œufs pourrait être un facteur confondant).

Les chercheurs expliquent le risque accru de MCV par la richesse en graisses saturées des charcuteries et viandes de boucherie et inversement les effets protecteurs de la consommation de poisson par leur teneur en AGPI n-3. L'analyse de la littérature suggère que les acides gras n-3 ont des effets anti-inflammatoires et anti-arythmiques sur le cœur, agissant ainsi sur les principaux facteurs de risque des MCV. Cependant, des données récentes montrent que la diminution de la consommation de graisses saturées ou bien leur remplacement par des AGPI ne réduisent pas l'incidence des MCV[43]. D'autres hypothèses s'orientent vers le fer héminique ou vers la teneur en sel des produits animaux transformés (certaines charcuteries, fromages[k]), qui est impliquée dans l'hypertension artérielle . Pour les produits laitiers, les peptides bioactifs présents dans le lait ainsi que le calcium, le magnésium et le potassium pourraient aider à réguler la tension artérielle.

2.3.4 Diabète de type 2

Les gros consommateurs de charcuterie et de viande de boucherie ont également plus de risque de développer un diabète de type 2[44]. Le diabète de type 2 est considéré comme une pandémie, avec une projection à 642 millions de cas dans le monde en 2040. Les principaux facteurs de risque sont le surpoids et l'obésité, la sédentarité et la consommation élevée de viandes de boucherie, de charcuteries, de céréales raffinées et de boissons sucrées. Plusieurs méta-analyses distinguent les catégories de produits animaux. Des risques sont identifiés pour les charcuteries (non linéaires) et de manière hétérogène pour la viande rouge avec un risque linéaire pour les cohortes américaines et européennes, mais pas asiatiques. Les résultats concernant les œufs, les produits laitiers et les poissons divergent selon l'origine des cohortes (Europe, États-Unis, Asie, Australie…). Les mécanismes expliquant le diabète de type 2 pointent, entre autres facteurs, des perturbations dans le métabolisme aboutissant à une hyperglycémie.

2.3.5 Obésité et surpoids

Les choix nutritionnels et l'activité physique jouent un rôle de premier plan sur le risque d'obésité et de surpoids. L'OMS classe l'obésité et le surpoids comme facteurs de risque majeurs des maladies chroniques. Le WCRF a fait en 2018 l'analyse exhaustive de la littérature étudiant les associations entre l'activité physique, l'alimentation et le risque de surpoids et obésité. Il en retire que, de manière convaincante, l'activité physique régulière, la consommation d'aliments riches en

[k] La catégorie des pains et biscottes contient le plus de sodium (30 %), puis les charcuteries et fromages (12 %), puis les soupes lyophilisées (8-10 %). Le jambon cuit contient 2 % de sel et le jambon sec 5 %.

fibres et l'adoption d'un régime alimentaire de type méditerranéen (régime moins riche en viandes, charcuteries, et produits laitiers, et plus riche en poissons que le régime occidental) réduisent le risque, et qu'inversement, la sédentarité, un régime de type occidental et la consommation de boissons sucrées l'augmentent. La consommation de viandes apparaît ici plus comme un marqueur du modèle alimentaire occidental qu'un facteur de risque en soi. Les mécanismes pouvant expliquer le possible rôle des produits animaux dans l'obésité font référence à la densité énergétique des charcuteries et des viandes de boucherie, à la satiété, à la vitesse de transit et à la richesse en AGPI n-3 du poisson.

2.3.6 Maladies liées au vieillissement

Certains aliments d'origine animale, notamment le poisson, peuvent jouer un rôle préventif dans les troubles et les maladies liés au vieillissement.

Les maladies neurodégénératives dont les démences de type Alzheimer (70 % des démences séniles), la maladie de Parkinson et les troubles de la cognition liés à l'âge sont devenues un enjeu de santé publique. Dans la majorité des cas, les causes sont multifactorielles. En 2011, une revue systématique a conclu que les effets protecteurs des AGPI n-3 contenus dans le poisson présentent des niveaux de preuve convaincants, ce que confortent d'autres méta-analyses ainsi qu'une vaste revue de la littérature montrant que le régime méditerranéen réduit le risque de démence sénile. Aucune méta-analyse ne traite des liens entre démence et niveau de consommation d'œufs ou de viandes ou de charcuteries. Une seule méta-analyse note un effet protecteur du lait (basée sur une cohorte asiatique).

Les hypothèses mécanistiques sous-tendant les relations entre la nutrition et le vieillissement cognitif sont d'ordre métabolique et structural. Le cerveau, du fait de sa richesse en AGPI à longue chaîne, est très sensible à l'oxydation lipidique. Les apports globaux en acides gras et en antioxydants ont ainsi probablement un rôle dans le maintien d'un bon fonctionnement cérébral.

Au cours du vieillissement, les personnes qui voient leur masse musculaire fondre excessivement sont atteintes de sarcopénie. Leurs muscles ne peuvent plus fonctionner normalement. La sarcopénie accroît le risque de mortalité et accélère l'entrée dans la dépendance[45]. La prévalence de la sarcopénie chez les seniors oscille entre 1 % à 30 % selon les études. Un consensus scientifique semble se dégager sur le fait que maintenir la masse et la fonctionnalité des muscles nécessite un apport accru en protéines chez les séniors. À ce jour, il n'existe pas de méta-analyse reliant le niveau de consommation de différents groupes d'aliments au risque de sarcopénie. Les neuf études identifiées dans la littérature portent principalement sur la viande, et leurs résultats suggèrent un effet plutôt protecteur. Les fortes teneurs et biodisponibilité des protéines des produits animaux, leur équilibre en acides aminés indispensables et leur teneur en leucine sont des critères favorables à la santé des personnes âgées dont la consommation énergétique globale diminue.

L'ostéoporose traduit une dégradation du renouvellement des os et accroît le risque de fractures. Les femmes y sont nettement exposées après la ménopause. L'alimentation est un des nombreux facteurs de risque qui lui sont associés. Il n'y a pas de conclusion claire sur les effets des aliments d'origine animale : si le calcium est impliqué dans la formation osseuse, les méta-analyses montrent qu'au-delà de 50 ans, les effets d'un apport renforcé en calcium ou en vitamine D sur la densité minérale osseuse sont minimes (l'apport de calcium est surtout important dans l'enfance et l'adolescence). Par ailleurs, l'effet du niveau de consommation de protéines sur la santé osseuse est controversé : certains travaux suspectent l'excès de consommation de protéines d'accroître les pertes calciques, mais des revues de littérature récentes infirment cet effet.

2.3.7 Précision des études épidémiologiques

De ce tour d'horizon des travaux d'épidémiologie nutritionnelle, il ressort que ceux considérant les catégories de produits sont encore peu nombreux et qu'ils ne différencient ni les types de viandes ou de poissons par espèce, ni les produits laitiers entre eux, ni les modes de production et de transformation. Une amélioration de la collecte des données permettrait d'explorer les relations à un niveau plus précis en termes de produits. La charcuterie illustre cet enjeu. Elle couvre une large gamme de produits. Les études épidémiologiques ne permettent pas jusqu'à présent de les différencier bien qu'ils puissent avoir des effets spécifiques sur la santé. Des enquêtes alimentaires dissociant les types de charcuterie seraient nécessaires pour préciser le message nutritionnel à leur égard. Les enregistrements de consommation sur 24 heures, comparés aux questionnaires de fréquence comportant des listes fermées et donc parfois des items globaux, sont un moyen d'accéder à ces informations.

Par ailleurs, l'utilisation de données moyennes de composition des aliments élimine les écarts potentiels de composition et rend invisibles les stratégies de différenciation favorables à la qualité des produits. Il est théoriquement possible d'avoir accès aux compositions spécifiques des aliments industriels à partir des données d'étiquetage, si les marques des produits

consommés sont enregistrées lors de la collecte de données. Ce niveau de précision n'est pas atteignable pour des aliments bruts et ceux issus de la transformation artisanale.

2.4. Orientations pour la consommation et approches bénéfices-risques

2.4.1 Évolution des recommandations nutritionnelles

Les recommandations nutritionnelles du Programme national nutrition santé (PNNS) ont été actualisées pour les adultes en 2019. Elles ont été élaborées à partir des rapports scientifiques de l'Anses (2017) et de l'avis du Haut conseil en santé publique (HCSP, 2017).

Tableau 2.5 Recommandations 2019 du PNNS pour les adultes, consommations moyennes et indications sur le profil des consommateurs. – Sources : PNNS, Santé publique France, Anses (INCA 3) et diverses sources.

Catégorie	Poissons	Produits laitiers	Charcuteries	Viandes de boucherie	Volailles	Œufs	Légumes secs	Fruits et légumes
PNNS	2 portions par semaine, dont 1 poisson gras	2 portions par jour	Maximum 150 g par semaine	Maximum 500 g par semaine *Privilégier la volaille*	Viande à privilégier	Pas de recomman-dation	Minimum 2 portions par semaine	Au moins 5 portions/j. Pas plus d'un verre de jus de fruit/j. Une petite poignée de fruits à coque non salés/j.
Consommation moyenne en France (INCA 3, 2014-2015)	23 g/j	Lait 75,3 g/j, fromage 30,9 g/j, beurre 9 g/j, yaourts 76,6 g/j, autres : 17,2 g/j	27,3 g/j soit (190 g/semaine)	Viandes : 47,3 g/j (331 g/semaine)	Volailles : 26 g/j	Œufs 3,7 g/j	7,7 g/j	Légumes : 113 g/j Fruits : 144 g/j Noix, graines et fruits oléagineux : 3,1 g/j
Profil des mangeurs	Les jeunes sont plus gros mangeurs que les seniors	Les ménages avec enfants sont les gros mangeurs	Les gros mangeurs sont les ménages modestes, l'Ouest de la France, les plus de 35 ans.	Les séniors sont des petits mangeurs	Les jeunes sont les gros mangeurs		1/3 des Français se déclare consommateur	1/4 des Français consomme les 5 portions/j
Végétariens	inclus dans le régime pesco-végétarien	inclus dans le régime lacto-végétarien	-	-	-	inclus dans le régime ovo-végétarien	inclus dans le régime végétarien	inclus dans le régime végétarien

Concernant la viande, il est recommandé de privilégier la viande de volailles et de limiter la consommation des autres viandes (porc, bœuf, veau, mouton, agneau, abats) à 500 g par semaine. D'un point de vue pratique, cette recommandation revient à ne pas dépasser 4 portions (100-120 g) de viande de boucherie par semaine. Environ 28 % des Français sont considérés comme de gros consommateurs de viandes de boucherie (> 490 g/semaine[46]) et donc incités à réduire leur consommation. Pour les autres, en l'état actuel des connaissances, une réduction de consommation ne semble apporter ni un bénéfice, ni un préjudice significatif pour la santé. Il est également recommandé de limiter la charcuterie à 150 g par semaine, niveau inférieur à la consommation moyenne française (190 g/semaine selon les données INCA3 et 200 g/semaine pour le Credoc[57]) ; une proportion importante de la population est donc concernée par cette recommandation à la baisse.

Le PNNS conseille par ailleurs de manger 2 produits laitiers par jour au lieu de 3 avant cette actualisation de 2019 et 2 portions de poisson (dont un gras) par semaine. De nouvelles recommandations concernent les légumineuses et les céréales non raffinées. Le PNNS encourage enfin à privilégier les produits alimentaires ne contenant pas ou peu de pesticides, les produits de saison et bruts plutôt qu'ultra-transformés.

Les tendances observées de baisse de la consommation de viande de boucherie et d'augmentation de la consommation de produits issus de l'agriculture biologique vont dans le sens des recommandations. En revanche, la progression des plats composites et des produits prêts à consommer dans la consommation est contraire aux messages nutritionnels.

2.4.2 Question des bas niveaux de consommation de produits animaux

Si les seuils des consommations de viande de boucherie et de charcuterie à ne pas dépasser sont globalement admis, les recommandations minimales de leur consommation ne sont pas documentées. Plus largement, des études épidémiologiques se concentrant sur les petits consommateurs d'aliments d'origine animale pourraient clarifier les bénéfices/risques d'une réduction de la consommation en dessous des recommandations actuelles.

La comparaison avec les régimes végétariens porte principalement sur les risques de déficits ou de carences. Le débat scientifique est controversé. Les travaux en nutrition montrent classiquement que les régimes omnivores contenant des produits animaux en quantité raisonnable couvrent plus facilement les besoins nutritionnels humains que les régimes basés uniquement sur des végétaux. Des travaux récents observent, qu'en Europe, les apports nutritionnels sont suffisants dans les régimes végétariens. Une récente revue de la littérature conclut que la consommation d'une variété de végétaux riches en protéines (légumineuses, noix et graines) permet aux régimes végétariens de couvrir sans difficulté les besoins en protéines, tout en assurant un apport en acides aminés satisfaisant[47]. Une étude à partir de la cohorte française Nutrinet-Santé observe que les végétariens et les végétaliens n'ont pas plus de risques d'avoir une alimentation inadéquate par rapport aux recommandations nutritionnelles[48] que les mangeurs omnivores. Des risques de déficit en calcium sont cependant identifiés pour les enfants végétaliens[49] et les végétaliens présentent des teneurs corporelles en fer, calcium et vitamine D plus basses que la population en général et que les végétariens[50]. La question des seuils bas se pose également pour les personnes âgées du fait des risques de dénutrition liés au vieillissement.

2.4.3 Passage de l'analyse du risque à l'analyse bénéfice/risque

Enfin, très peu d'études ont évalué globalement l'impact de la consommation des aliments d'origine animale sur la santé humaine. La plupart du temps, les études ciblent certains risques ou certains bénéfices. Les différents travaux mériteraient d'être mieux intégrés. Quelques institutions (dont l'OMS) et projets[l] utilisent le DALY comme métrique permettant d'agréger en une seule valeur les différentes données disponibles. Le DALY (*Disability adjusted life years*) comptabilise les années de vie « perdues » à cause de maladies, handicaps ou mort précoce.

[l] Par exemple : Global Health Estimates 2016: Disease burden by Cause, Age, Sex, by Country and by Region, 2000-2016. Genève, OMS 2018. https://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/estimates/en/index1.html ; https://www.thelancet.com/gbd (consulté en mai 2020)

3. Propriétés des produits bruts et leur variabilité selon les conditions d'élevage et d'abattage

Ce chapitre examine les propriétés des produits bruts ou frais, c'est-à-dire n'ayant subi qu'une « première » transformation : l'abattage, la découpe et éventuellement une maturation pour les viandes et la chair de poisson, un stockage pour les œufs et une réfrigération suivie d'une homogénéisation pour le lait ; autrement dit, avant tout traitement thermique.

Une abondante littérature scientifique permet de décrire précisément les caractéristiques des produits bruts. Elle porte surtout sur les propriétés organoleptiques, technologiques, commerciales, nutritionnelles et sanitaires. La littérature est spécifique par espèce et filière, mais elle est assez homogène en termes d'approches. Les travaux s'attachent principalement à expliquer les déterminants de la qualité et à tester l'effet de modifications introduites dans les facteurs d'élevage. Ils portent rarement sur plusieurs propriétés à la fois, mais pointent certains effets corollaires, synergiques ou antagonistes. Depuis une vingtaine d'années, il existe un effort de recherche ciblant l'amélioration du profil en acides gras des produits animaux à travers l'alimentation des animaux (composition des aliments, élevage des ruminants à l'herbe), sans dégrader les propriétés organoleptiques. Des outils de prédiction de différentes propriétés constitutives de la qualité sont en cours de développement.

Les propriétés d'image qui prennent en compte les effets des conditions de production sont présentes dans les travaux scientifiques. Elles sont plus souvent étudiées à l'échelle de l'élevage ou de la viande en général, qu'à l'échelle des produits tel qu'abordé dans ce chapitre (viande fraîche de volaille, viande fraîche de porc, lait de brebis, lait de vache…). Les propriétés d'usage ont été surtout identifiées dans des études portant sur la transformation ou les produits transformés (chapitre 4).

Les résultats scientifiques peuvent diverger selon les protocoles de recherche et les filières mais ne conduisent pas à des controverses méthodologiques ou conceptuelles. On note cependant un débat sur la pertinence du recours aux jurys d'experts ou aux jurys naïfs dans l'évaluation des propriétés organoleptiques.

L'expertise souligne le peu de méta-analyses synthétisant les informations disponibles dans la littérature zootechnique et des sciences des aliments. Réaliser des méta-analyses permettrait d'accroître la robustesse des lois de réponse entre les facteurs de production et les propriétés des produits. Enfin, le manque d'analyses multicritères limite les possibilités d'éclairer les tensions entre propriétés.

3.1. Principales propriétés des produits bruts étudiés

Sont résumés ici les points marquants des propriétés des produits bruts étudiés[m]. Des tableaux détaillent les déterminants et enjeux par produit. La composition moyenne en nutriments des produits a été récapitulée en section 2.1.

Les propriétés d'usage ne sont pas intégrées dans ces tableaux car elles sont peu abordées par produit, dans la littérature scientifique. Notons cependant que l'emballage modifie ces propriétés. La conservation sous vide prolonge par exemple la durée de vie des viandes de boucherie, mais modifie leur couleur qui est moins appréciée par les consommateurs. Le conditionnement sous atmosphère riche en oxygène permet de maintenir une couleur rouge vif, mais il augmente l'oxydation des lipides, et convient donc plutôt à des viandes maigres. Le conditionnement sous atmosphère modifiée contenant du CO_2 inhibe la croissance de flores aérobies d'altération, mais peut augmenter les phénomènes de décoloration. L'emploi de monoxyde de carbone n'est pas autorisé dans l'UE, car il préserve la couleur rouge vif intense ce qui peut induire en erreur le consommateur puisque celui-ci utilise la coloration rouge comme indicateur de la fraîcheur.

3.1.1 Lait

La collecte du lait démarre après la période d'allaitement des veaux ou des chevreaux (8 jours) ou des agneaux (1-1,5 mois). Le lait de brebis est presque deux fois plus riche en protéines et matières grasses que celui de vaches ou de chèvres (voir section 2.1). Les matières grasses laitières apportent majoritairement des acides gras saturés et mono-insaturés et, en quantité plus faible, des acides gras polyinsaturés (LA et ALA majoritairement). Le lait contient naturellement de nombreux minéraux, dont le calcium, et des vitamines (A, D, B2, B5, B8, B9, B12 et E). Le lait de brebis se distingue par sa richesse en

[m] Pour plus de détail, voir le chapitre 2 du rapport d'expertise.

calcium, phosphore, magnésium, zinc et cuivre. Les protéines du lait sont hautement digestibles (> 95 %) et riches en acides aminés indispensables.

À l'exception de certains laits crus fermiers, le lait est homogénéisé avant d'être commercialisé. C'est-à-dire que la taille des globules gras est réduite de façon à garantir l'aspect homogène du lait et prévenir la remontée de la crème à la surface. Les laits, qu'ils aient subi un traitement thermique (lait pasteurisé ou UHT) ou non (lait cru), sont par ailleurs standardisés, c'est-à-dire que leurs teneurs en matières grasses sont normées selon trois catégories : lait entier (3,5-4,4 % de matières grasses), demi-écrémé (1,5-1,8 % de MG) et écrémé (<0,5 % de MG).

Le lait est payé aux éleveurs en fonction de la quantité livrée, de la teneur en matières grasses et protéiques (pas sur la composition en autres nutriments) ainsi que du nombre de cellules somatiques et de germes totaux. Ces critères commerciaux sont aussi des critères sanitaires et technologiques. La flore native du lait détermine les propriétés qui résulteront de sa transformation. Les filières de fromages au lait cru contestent de ce fait le bien-fondé de la réduction systématique de la charge microbienne[n]. Plus généralement, les propriétés technologiques du lait dépendent de sa composition chimique (protéines, matières grasses, minéraux, pigments, antioxydants, enzymes) et microbiologique (nature et abondance des micro-organismes) ainsi que de l'organisation supramoléculaire des différents constituants. La teneur en caséines et l'intégrité des agrégats de caséines (micelles) et de minéraux influent, par exemple, sur l'aptitude du lait à coaguler, ce qui est la première étape de toute fabrication fromagère. Le rendement fromager, quantité de fromage obtenue avec une quantité donnée de lait, varie selon la teneur en eau du fromage : il est de l'ordre de 14 % pour un fromage à pâte molle comme le camembert et de 9 % pour un fromage à pâte pressée cuite comme le comté.

3.1.2 Viandes de ruminants (bovines et ovines)

Comme elles sont issues à la fois de troupeaux allaitants et laitiers, les viandes bovines et ovines couvrent une grande diversité de types d'animaux : plusieurs races, des animaux abattus jeunes (veaux, agneaux) ou plus âgés, des mâles castrés ou pas et des femelles jeunes ou de réforme. Les bovins de races laitières présentent une proportion de muscles moindre que ceux issus de races dites « à viande ». Les races rustiques sont souvent intermédiaires. Même si celle-ci constitue un élément important de différenciation de la qualité de la viande bovine, la race ne fait pas l'objet d'une mention obligatoire. Elle est cependant très souvent communiquée aux consommateurs en lien ou non avec le respect d'un cahier des charges. Le mode d'élevage influence aussi les propriétés commerciales de la carcasse, souvent par son effet sur la vitesse de croissance de l'animal et le degré de finition.

Les préférences des consommateurs sont liées aux particularités nationales et régionales. Les viandes de boucherie vendues en frais à la découpe sont le premier débouché des viandes bovines et ovines. Elles reculent néanmoins en viande bovine, ainsi que la diversité des pièces vendues : les morceaux à bouillir et à braiser sont délaissés au profit de ceux à rôtir, à griller et surtout de la viande hachée ce qui n'est pas le cas pour la viande ovine (cf. chapitre 1). La part de viande transformée étant faible, l'aptitude à la transformation est un critère de moindre importance. Cependant, la capacité de rétention d'eau (qui module les propriétés organoleptiques et sanitaires) et l'aptitude à la conservation par réfrigération sont essentielles.

En viande bovine, la couleur rouge vif, associée à la fraîcheur du produit, est le premier critère d'appréciation par les consommateurs. Il a gagné en importance avec le développement de la distribution des viandes en grandes et moyennes surfaces. La graisse visible, tant à l'extérieur (marbré) qu'à l'intérieur (persillé) du muscle est associée à la flaveur. La tendreté et la jutosité sont des critères d'appréciation, *a posteriori,* mais importants pour les consommateurs. La viande ovine présente une flaveur plus intense que les autres viandes, qui peut rebuter certains consommateurs, notamment les jeunes en France, peu habitués à la consommer, contrairement aux Anglais qui en mangent régulièrement.

Du point de vue nutritionnel (section 2.1), les viandes bovines et ovines se démarquent par leur richesse en fer héminique et sont surtout une source majeure de vitamine B12. Leur composition en acides gras fait souvent l'objet de critiques en raison de la proportion élevée d'acides gras saturés et mono-insaturés qui représentent chacun plus de 40 % des acides gras totaux. Elles sont cependant aussi des sources d'AGPI n-6 et n-3. La finition à l'herbe, notamment pâturée, permet d'enrichir la viande en AGPI n-3, leur proportion (dont celle des AGPI n-3 à longue chaîne) dans les AG totaux étant alors plus élevée dans la viande ovine que dans la viande bovine, du fait du comportement alimentaire plus sélectif des ovins pour les feuilles (plus riches en AGPI n-3).

---

[n] Les connaissances sur les déterminants de la composition microbiologique du lait cru, sont encore insuffisantes. Elles ont été recensées dans un ouvrage de synthèse coordonné dans le cadre du RMT Fromages de Terroirs (http://www.rmtfromagesdeterroirs.com/themes-de-travail/microflores-des-laits-et-des-fromages/).

La viande fraîche est un produit très périssable. Sa conservation repose principalement sur l'utilisation du froid et la modification de l'atmosphère. L'aptitude de la viande à la conservation est une composante majeure de sa qualité. Sa stabilité microbiologique repose sur les pratiques d'hygiène, sa stabilité physico-chimique aussi. Elle est, de plus, influencée par certaines de ses caractéristiques intrinsèques, en particulier sa sensibilité à l'oxydation (liée en particulier à sa teneur en AGPI), et l'équilibre entre les facteurs pro-oxydants (comme la teneur en fer héminique) et antioxydants (comme la teneur en vitamine E). Ces caractéristiques méritent l'attention de la recherche du fait du lien épidémiologique établi entre la consommation de viande rouge et l'incidence du cancer colorectal (implication des produits de la peroxydation lipidique).

Comparativement aux autres filières, la part de viande ovine sous signe de qualité est importante (SIQO : 10,7 % en France ; 7,1 % en AB à l'échelle européenne). Elle bénéficie d'une image de naturalité qui ne correspond cependant pas toujours aux pratiques d'élevage. Ainsi, en France, la majorité des agneaux sont engraissés en bergerie, pour différentes raisons : reproduction sexuelle à contre- saison pour satisfaire un approvisionnement régulier toute l'année en carcasses et viandes de qualité homogène, risques d'aléas climatiques, parasitaires et de prédation, recherche de simplification du travail en élevage…

3.1.3 Viande de porc

Le mode d'élevage du porc est assez standardisé en Europe. La très grande majorité des porcs est élevée en bâtiments sur caillebotis. Ce système présente le coût de production le plus bas. La part des produits bénéficiant d'un signe officiel de qualité est faible, 5 % en 2018 en France, mais en forte croissance. Comparativement, la filière de la marque privée Bleu-Blanc-Cœur représente 9 % de la production française. Son cahier des charges inclut l'apport du lin dans l'alimentation des porcs et garantit un profil en AG amélioré dans la viande (rapports AGPI n-6/AGPI n-3 ; AGPI n-3/AGS ; ALA/AG totaux).

L'offre en viande fraîche est peu diversifiée et ne représente qu'une minorité des débouchés. Trois quarts du volume des viandes de porcs sont commercialisés sous forme de charcuteries cuites ou sèches (salées, fumées ou fermentées), généralement en produits prêts à consommer. La viande provient de « porcs charcutiers » issus de croisements génétiques axés sur la teneur en viande maigre. Ces mêmes lignées génétiques sont utilisées en production biologique ou Label Rouge, soulignant la faiblesse de la sélection génétique dédiée aux productions différenciées. Les porcs de races locales constituent un marché de niche (souvent sous SIQO).

La castration des porcs mâles est au cœur d'un antagonisme entre les propriétés d'image relatives au bien-être animal et certaines propriétés organoleptiques, la viande de mâles non castrés pouvant présenter une odeur et une flaveur désagréables à la cuisson. La castration recule en France, en Allemagne et aux Pays-Bas alors que la production de mâles « entiers » est historiquement majoritaire en Espagne, en Irlande et au Royaume-Uni.

Des problèmes de déstructuration de la viande sont apparus depuis 20 ans et touchent actuellement environ 15 % des jambons en France. La viande présente une perte de l'aspect fibreux des muscles profonds du jambon, voire de la longe, entraînant des défauts de texture et des difficultés de tranchage du jambon cuit.

3.1.4 Viande de volailles

La viande de volailles recouvre une diversité d'espèces parmi lesquelles le poulet et la dinde sont majoritaires. La viande de volaille est celle qui est la plus consommée au monde (devant le porc), du fait d'un prix inférieur à celui des autres viandes, du fort développement des produits découpés et transformés et d'une plus grande tolérance religieuse.

Les trois-quarts de la production de poulets en France sont vendus à la découpe ou destinés à la transformation. Les poulets vendus entiers sont devenus minoritaires (25 %). Les produits élaborés sont surtout issus de la production de volailles dites standards, caractérisées par une vitesse de croissance rapide et des rendements en filets élevés, ce muscle étant particulièrement plébiscité par les consommateurs et les industriels des pays occidentaux. La sélection génétique axée sur ces critères a abouti à des défauts du tissu musculaire visibles sur le filet depuis une dizaine d'années (voir section 3.4.1).

La viande de poulet présente peu de variation dans sa composition en protéines (25 % dans le filet) et en minéraux (1,1 %). La teneur en lipides, plus variable, est néanmoins faible, environ 1,3 % dans le filet. La filière recherche actuellement à augmenter la teneur en AGPI n-3 de la viande de poulet. Si la viande de volailles est recommandée d'un point de vue nutritionnel, d'un point de vue sanitaire, elle reste fortement impliquée dans les toxi-infections alimentaires collectives, en particulier à *Campylobacter*.

Enfin, une étude, réalisée au Canada en 1999, a montré que la propriété d'usage (variété des modes de cuisson et des recettes) était le premier critère pris en compte pour l'achat de viande de poulet.

3.1.5 Œufs

Depuis les années 2000, en Europe, les mouvements de consommateurs poussent pour abandonner les élevages de poules pondeuses en cages (prévu pour 2025) et développer l'élevage au sol avec volières et l'accès à un espace extérieur ou un parcours en plein air. La filière œuf est pionnière dans l'étiquetage du mode de production, indiqué par un chiffre sur chaque œuf : 0 poules élevées en bio, 1 poules élevées en plein air, 2 poules élevées au sol (volière), 3 poules élevées en cage.

Les propriétés sanitaires sont un enjeu important car le nombre de cas de salmonelloses humaines, en augmentation au niveau européen, est associé à une prévalence accrue chez les poules pondeuses. En France, les œufs représentaient 60 % des TIAC à salmonelles au cours de la période 2006-2010. Les multiples usages des œufs crus ou peu cuits dans les préparations culinaires de type mayonnaise figurent parmi les causes fréquentes de salmonelloses. Cela explique le développement des ovoproduits pasteurisés en restauration collective (chapitre 4). Par ailleurs, la contamination des œufs par des polluants organiques persistants (POP) de type PCB et dioxines devient une préoccupation car l'exposition et le niveau de contamination des poules sont en hausse. Ces contaminations proviennent des aliments pour animaux (ingrédients recyclés, ayant subis des traitements de conservation…) ou de l'environnement intérieur (revêtements, litières) et/ou extérieur (ingestion de sédiments, végétaux, terre, poussières, résidus…).

Notons aussi que l'allergie à l'œuf est la deuxième cause d'allergies alimentaires chez les enfants avant 5 ans, mais elle disparaît ensuite.

Du point de vue nutritionnel, l'œuf est un aliment complet, peu calorique (75 kcal) et hautement digestible, une fois cuit. Le blanc est une solution saline comprenant 11 % de protéines ; le jaune 16 % de protéines et, en moyenne, 34 % de lipides dont 4 % de cholestérol.

Les propriétés technologiques foisonnantes (blanc) et émulsifiantes (jaune) de l'œuf sont très utilisées. L'œuf est ainsi une matière première de choix pour la production d'ingrédients.

3.1.6 Chair de poisson

L'élevage de poissons recouvre d'un côté une pisciculture extensive en étang, basée sur l'utilisation de la chaîne trophique aquatique (carpe, gardon…), et de l'autre une pisciculture intensive en bassins (truites, saumon) ou en cages marines (bar, dorade, turbot en France, saumons en Norvège, pays qui concentre trois-quarts des volumes piscicoles européens), avec une alimentation apportée par l'éleveur[51].

La chair de poisson est en général appréciée pour sa naturalité et son image diététique. Néanmoins, on reproche aux systèmes d'élevage intensifs d'abriter des populations de poissons denses vivant dans des milieux artificiels, de consommer beaucoup d'eau et de polluer en relarguant dans l'environnement des effluents contenant des nutriments et résidus de traitements. De nouveaux systèmes de circuits d'eau « re-circulée » cherchent à optimiser la ressource en eau et utilisent les effluents pour des cultures aquaponiques.

La richesse de la chair de poisson en AGPI n-3 à longue chaîne (EPA et DHA) en fait un produit de fort intérêt nutritionnel, surtout les poissons gras. Cependant, cet atout repose, pour une large part, sur l'alimentation des poissons. Or, la raréfaction des ressources marines du fait de la surpêche minotière en rehausse le coût. De plus, le risque de contamination chimique des poissons de mer est devenue une préoccupation. Ces deux phénomènes ont conduit à substituer l'approvisionnement en aliments marins par des farines et huiles végétales. La proportion de cette incorporation dans les aliments pour poissons peut dorénavant atteindre 80 %. Les contaminations chimiques d'origine marine ont chuté. En revanche, cette substitution affecte défavorablement les performances de croissance des poissons ainsi que le profil lipidique de la chair des poissons gras d'élevage, et donc dégrade les propriétés nutritionnelles et organoleptiques[52].

La plupart des espèces aquacoles sont de domestication récente, avec pour conséquence des lots hétérogènes en poids et morphologie, alors que ce sont les premières propriétés commerciales recherchées. La sélection génétique permet d'améliorer la croissance, de réduire cette variabilité et de maitriser l'adiposité. Le recours aux biotechnologies pour la production de monosexes femelles triploïdes chez la truite a, quant à lui, permis de s'affranchir de la reproduction.

Tableau 3.1 Synthèse des propriétés du lait et enjeux à partir de la revue de littérature

Propriétés	Critères	Déterminants	Enjeux, controverses et incertitudes
Propriétés sanitaires	Peu de cellules somatiques et de germes totaux. Pathogènes : *Staphylococcus aureus, Listeria monocytogenes* et *E coli* STEC.	Mammites, état de santé de l'animal, niveau de production élevé, mauvaises conditions de vie, hygiène lors de la traite, déséquilibres alimentaires, conditions de vêlage Environnement et moyens de conservation	Débat sur la réduction systématique de la charge microbienne, car elle génère de la diversité organoleptique pour les fromages et elle a de possibles effets favorables sur les allergies et contre les pathogènes. Connaissances insuffisantes sur la composition microbiologique du lait et certains contaminants (mycotoxines, résidus de pesticides...).
	Dioxines, furanes et PCB	Contaminations via les fourrages, l'environnement et le sol	
Propriétés nutritionnelles	Protéines, caséines (teneurs et nature)	Race, individu. En fin de lactation, la teneur en protéines augmente et celle de caséines diminue. L'alimentation influence la teneur en protéines mais peu leur nature.	Nature de l'apport complémentaire (colza, soja, lin en graine ou huile ou encapsulé) Antagonisme entre AGPI et taux butyreux. Les effets des huiles essentielles ne sont pas validés. Dégradation des apports de vitamines (B2 et B9) dans le rumen. Connaissances fragmentaires sur les vitamines : facteurs de variation des vitamines A, E bien connus mais moins pour les vitamines B, D et K. Peu d'études sur les minéraux et leurs facteurs de variation.
	Composition variable en AG.	Richesse en AGPI et ALA : nature des fourrages : pâturage de montagne> pâturage de plaine > ensilage d'herbe ou foin> ensilage maïs. Autres facteurs : race, individu, stade et rang de lactation, saison et température. Pas d'effet des pratiques de traite.	
	Vitamines A, D, E, B9 et B12, Vitamine K (plantes et bactéries du tube digestif). Teneur en minéraux mal connue	Race influe beaucoup sur vitamines B12, C et D. Vitamine A : apport par herbe ; vitamines E et B9 suppléments alimentaires. Les concentrés diminuent la teneur en vitamines B2 et B9. Minéraux viennent exclusivement de l'alimentation. Fer, cuivre, iode et zinc sont quasi invariables. Le stade de lactation, la santé de la mamelle et la saison (> 28°C) jouent sur certains minéraux.	
Propriétés organoleptiques	Couleur jaune (caroténoïdes, riboflavine)	Race et alimentation. Teneur en bêtacarotène dans : herbe verte > herbe conservée> foin > ensilage maïs. Flaveur plus forte au pâturage. Possibles défauts de flaveur avec ensilage. Certains suppléments lipidiques apportent un goût de poisson.	Pas d'effet de la composition botanique des prairies (inférieur au seuil de perception observé pour le fromage- chapitre 4)
	Texture épaisse, crémeuse ou fluide		
	Odeur, saveur		
Propriétés technologiques	Aptitude à la coagulation (temps, fermeté du gel) Rendement fromager Intégrité des globules gras et protéines. Flore microbienne, teneur en caséines	Coagulation : caractéristiques des animaux (cellules somatique, génétique, race) ; teneur en eau du fromage ; taille des globules gras et TP du lait. Temps de coagulation dépend du pH du lait et de la technique de maturation. Intégrité des globules gras : facteurs d'élevage (machine à traire, fréquence traite…) et de l'alimentation, intégrité des protéines diminue si stockage long. Le défaut de flore provient de défaut d'hygiène.	Équilibre à trouver entre risques sanitaires et effets protecteurs potentiels.
Propriétés commerciales	Teneur en TB et TP, cellules somatiques et germes totaux	TB et TP : espèce, race, forte variabilité individuelle ; stade lactation (pas le nombre de gestations) ; saison (lait plus riche en TP l'hiver) et densité énergétique des rations (TB diminue lorsque la proportion de concentrés dans la ration augmente) ; pratique de traite (la monotraite augmente les TB et TP ; le robot tend à baisser le TB)	Valorisation des veaux mâles
Propriétés d'image	Bien-être des vaches, rétribution des éleveurs, naturalité du lait, impacts environnementaux, origine, valeur AOP	Image positive de l'élevage à l'herbe (vs stabulation) et plus généralement de l'élevage extensif (vs élevage intensif sans pâturage). Taille des troupeaux. Image positive du lait de montagne, du lait bio et des AOP.	Élevage des veaux (séparation mère-veau à la naissance) Mouvements anti-lait

Tableau 3.2 Synthèse des propriétés des viandes bovine et ovine et enjeux à partir de la revue de la littérature

Propriétés	Critères	Déterminants	Enjeux, controverses et incertitudes
Propriétés sanitaires	*Les E. coli* STEC sont le risque biologique majeur Bactéries : *Salmonella* Parasites : *Taenia sagginata* Contaminants chimiques dans l'aliment et l'environnement oxydation et néoformés ; risque minime de résidus (médicament, désinfectant)	Hygiène et propreté des animaux ; stress des animaux en pré-abattage Risque de végétaux contaminés dans alimentation ; Hygiène à l'abattoir Conditions de refroidissement, de maturation, et de conditionnement ; maîtrise de la chaîne du froid Cuisson (effet sur les produits d'oxydation et néoformés)	Risques liés à la consommation de viande hachée crue ou insuffisamment cuite Conservation longue durée sous vide de la viande bovine
Propriétés nutritionnelles	Bonne source de protéines et d'acides aminés indispensables (bonne digestibilité), zinc, fer, sélénium, B3, B6, B12 Composition en AG : AGS et AGMI majoritaires, AGPI : 9-12 % dans viande bovine et 12-15 % dans viande ovine	Espèce, race, individu, âge, alimentation, mode d'élevage, AGPI n-3, minéraux et antioxydants (pâturage et type de pâturage). Viande produite à l'herbe plus riche en composés d'intérêt nutritionnel (AGPI n-3, CLA, vitamines A, E), encore plus sur prairies de légumineuses et prairies diversifiées Digestibilité peu modifiée par cuisson	Rapport AGPI / AGS, rapport AGPI n-6/AGPI n-3, protection des AGPI contre la peroxydation (rancissement, détérioration de la couleur, formation de produits délétères pour la santé). Unanimité sur effets positifs d'une finition des animaux au pâturage
Propriétés organoleptiques	Couleur (myoglobine)	Type de muscle, espèce, race, sexe, âge, individu, stress pré-abattage, pH post-mortem, pâturage (couleur de la viande et du gras), conservation	Effets parfois conjoints (âge et mode d'élevage). Stabilité de la couleur en conservation sous forme de portions
	Jutosité	Teneur en lipides intramusculaires et capacité de rétention d'eau, âge, race, type sexuel, alimentation, muscle, stress pré-abattage, mode de cuisson	
	Tendreté	Teneur en lipides intramusculaires, teneur et solubilité du collagène, stress pré-abattage et refroidissement post-mortem, maturation, individu, race, âge, type sexuel, muscle, procédés de transformation, conservation et cuisson	Effets non linéaires, difficile de distinguer les facteurs entre eux
	Flaveur	Composition en AG, teneurs en composés odorants (scatol, indole pour viande ovine), mode d'élevage (flaveur plus forte animaux à l'herbe), race, âge, type sexuel, muscle, maturation, mode de conservation et cuisson. Pas de seuil absolu pour la perception défavorable de la flaveur (ovin)	Effets parfois conjoints (âge et mode d'élevage) Pas de comparaison entre les évaluations odeur/flaveur et acceptabilité par les consommateurs (viande ovine). Variabilité individuelle importante pour une même conduite d'élevage, mais peu d'études sur héritabilité (viande ovine)
Propriétés technologiques	Capacités de rétention d'eau et aptitudes à la conservation	Race, pH post-mortem, maturation, refroidissement, effet partiel du mode d'élevage : réserves en glycogène, exercice physique, jeûne, durée du transport	Incertitudes quant à l'effet de l'exercice physique lié au pâturage
Propriétés commerciales	Poids, conformation et état d'engraissement de la carcasse. Fermeté et couleur du gras de couverture chez les ovins.	Race laitière ou allaitante ou rustique, mode élevage (âge, degré de finition), type sexuel. Poids à la naissance chez les ovins	Grille de paiement EUROP qui ne favorise pas la montée en gamme des propriétés organoleptiques et nutritionnelles qui n'entrent pas dans les critères de rémunération à l'éleveur.
Propriétés d'image	Bien-être, environnement, mode d'élevage, naturalité, origine, contribution au développement territorial, proximité, valeur cultuelle	Mode d'élevage (à l'herbe vs en bâtiments) et plus largement système d'élevage (extensif ou intensif ; plaine ou montagne), conditions d'abattage, signes de qualité	Différences entre déclaratif et comportement d'achat. Évaluation complexe de l'impact environnemental : critères nombreux, unités fonctionnelles débattues

Tableau 3.3 Synthèse des propriétés de la viande de porc et enjeux à partir de la revue de la littérature

Propriétés	Critères	Déterminants	Enjeux, controverses et incertitudes
Propriétés sanitaires	Dangers microbiens : *Y. Enterocolitica*, *Salmonella*, *Campylobacter* et *Listeria*. Parasites : *Trichinella, Toxoplasma* ; hépatite E	Biosécurité, hygiène (nettoyage/désinfection), pratiques d'élevage (mélange d'animaux, le plein air augmente le risque de parasitisme) ; alimentation ; pratiques d'abattage (transport, attente) et de transformation	Risques épidémiques Forte réduction de l'utilisation des antibiotiques en élevage Risque d'hépatite E (mauvaise cuisson du foie) Manque de connaissances sur les potentiels effets cocktails Études à approfondir sur les néoformés à la cuisson
	Dangers chimiques : oxydation et néoformés ; risque minime de résidus (médicament, désinfectant)	Hygiène ; risque de végétaux contaminés dans alimentation ; cuisson (effet sur les produits d'oxydation et néoformés)	
Propriétés nutritionnelles	Protéines : acides aminés indispensables Lipides : 1-4 % dans les principaux muscles, 4-40 % dans les charcuteries ; AGMI majoritaires, AGPI faibles Antioxydants (dont vitamine E, sélénium…) protègent les lipides et protéines de l'oxydation.	Teneur en protéines et profil d'acides aminés : stables Lipides, vitamines dépend du type sexuel et génétique ; conduite alimentaire : niveau d'apport, nature des lipides (source d'AGPI) ; conditions élevage : température, pâturage (augmente vit E et AGPIn-3) ; type de muscle ; âge et poids à l'abattage (augmente les AGS et AGMI ; diminue les AGPI) ; oxydation : conservation, cuisson	Recherche sur l'alimentation pour optimiser le profil en AG des viandes L'apport alimentaire en AGPI n-3 se répercute sur les produits transformés Antagonisme entre propriétés nutritionnelles (AGPI n-3) et technologiques (aptitude à la transformation et la conservation des gras). Modèles mathématiques prédictifs à affiner pour optimiser les différentes propriétés
Propriétés organoleptiques	Texture : tendreté, jutosité	Type génétique, type de muscle ou pièce, conditions d'élevage (effet modéré), de pré-abattage et d'abattage, maturation de la viande, mode de cuisson Pour la tendreté : sexe (mâle castré et femelle plus tendre), alimentation (effet modéré).	Antagonisme entre l'augmentation de la teneur en muscle et la présence d'un gène délétère : développement de lignées non porteuses du défaut Effet variable selon la saison, la conduite alimentaire... Flaveur, tendreté et jutosité peuvent être antagonistes. Organoleptique renforcé par les systèmes extensifs (races locales). Arrêt de la castration à vif : études pour détecter les odeurs indésirables à l'abattage, pas d'association directe entre les niveaux de composés odorants et l'acceptabilité par les consommateurs.
	Flaveur globale Odeur indésirable de certaines viandes de porcs mâles entiers (teneurs en androstérone, scatol, indole)	Type génétique et sexuel, type de muscle, alimentation (nature des lipides, antioxydants), durée de maturation et de congélation (risque d'oxydation), cuisson. Défauts d'odeur de mâles entiers (perception variable selon les consommateurs) : âge, poids, génotype, alimentation, propreté, teneur en gras, préparation et consommation.	
Propriétés technologiques	Aptitude à la transformation (charcuteries, salaisons : capacité rétention en eau) ; en particulier des gras (consistance, cohésion, faible sensibilité à l'oxydation) Aptitude à la conservation Défauts : viande PSE, déstructurée, DFD	Transformation : type génétique ; conditions d'élevage (effets modérés) ; alimentation en fin d'élevage ; conditions de pré-abattage, abattage et réfrigération des carcasses. Tissus gras : type génétique et sexuel, âge/poids d'abattage ; alimentation et conditions d'élevage. Les indicateurs principaux des propriétés technologiques et organoleptiques sont communs et corrélés (exsudation, pH…).	Viande déstructurée : origine multifactorielle, adaptation des procédés mais étiologie du défaut encore non élucidée ; recherche de prédicteurs du défaut. Tissus gras : orienter les tissus vers différentes utilisations selon leur lipides pour gérer l'antagonisme entre propriétés technologique (AGS) et nutritionnelle (AGPI n-3)
Propriétés commerciales	Poids et teneur en maigre des carcasses (Teneur en Muscle des Pièces), Décote pour les mâles entiers Systèmes d'évaluation propres aux races locales	Type génétique et alimentation : facteurs majeurs modulés selon le type sexuel, le poids d'abattage et les conditions d'élevage Alimentation : restriction alimentaire en finition pour améliorer le TMP. Apport contrôlé en acides aminés pour contrôler l'adiposité. Modes de production alternatifs : associés à une plus grande variabilité (poids, adiposité)	Teneur en maigre des carcasses reste prioritaire (paiement aux éleveurs). Antagonisme performances zootechniques et propriétés commerciales face aux propriétés technologiques et organoleptiques. Enjeu : adaptation des apports nutritionnels aux besoins selon le stade de croissance et l'animal
Propriétés d'image	Diversité de produits, culture des charcuteries traditionnelles. Image favorable des systèmes alternatifs	Respect de l'environnement, bien-être animal, utilisation d'intrants (médicamenteux) Élevage en plein air, réhabilitation des races rustiques	Image négative de la « production intensive » Considération du bien-être animal s'accroit, l'arrêt de la castration à vif est acté (2022).

Tableau 3.4 Synthèse des propriétés de la viande de volailles et enjeux à partir de la revue de littérature

Propriétés	Critères	Déterminants	Enjeux, controverses et incertitudes
Propriétés sanitaires	Contaminations par *Salmonella, Campylobacter, Listeria monocytogenes*	Hygiène, âge, conditions d'élevage et d'abattage, saison (été, automne) conservation et cuisson à domicile.	Augmentation des cas de campylo-bacterioses Absence de données sur les liens entre modes de production et prévalence pour la salmonellose (Efsa).
	Résidus de produits vétérinaires, pesticides, mycotoxines, dioxine, métaux lourds.	Localisation de l'élevage, salubrité des bâtiments, végétaux contaminés dans l'alimentation Les poulets bio (durée d'élevage plus long et accès à l'extérieur) ont plus de risques d'exposition aux contaminants environnementaux.	Lutte contre l'antibiorésistance (-20 % des antibiotiques administrés après règlement UE 2011) Manque de connaissances sur les résidus chimiques dans la viande et sur les effets cocktails entre ingrédients et contaminants.
Propriétés nutritionnelles	Protéines : 25 % dans le filet et 18 % dans la cuisse. Minéraux 1,1 % - sodium et magnésium. Lipides : 1,3 % dans le filet et 4,5 % cuisse	Teneurs en protéines et minéraux peu variables. Teneur en lipides et profil en AG dépend de système de production, de l'espèce, de l'individu, de l'alimentation (AGPI n- 3) et des supplémentations (zinc, sélénium, vit. E)	Effort de la recherche pour augmenter la teneur en AGPI n-3. Interrogation sur l'origine des aliments (importations) et additifs alimentaires.
Propriétés organoleptiques	Couleur	Âge, alimentation (caroténoïdes), type de muscle, conditions abattage et post-mortem	Défauts de qualité des filets (*wooden breast* et *white striping*) Antagonisme entre enrichissement en AG n-3 (huile poisson et lin) et odeur (rance) si l'enrichissement est trop élevé.
	Jutosité	Âge, génotype, maturation post-mortem	
	Tendreté	Âge, type de muscle (collagène et fibres), souche	
	Flaveur	Alimentation (lipides, antioxydants), souche, âge, conditions de conservation post-mortem	
Propriétés technologiques	Capacité de rétention en eau ; % de perte de matière ; aptitude à la découpe et à la conservation	Souche, âge, pH post-mortem, alimentation (antioxydants), conditions pré et post abattage, conformation	Défauts de qualité des filets Avenir du poulet vendu en carcasse entière et devenir des restes de carcasse après découpe
Propriétés commerciales	Poids vif à l'abattage, rendement et aspect de la carcasse, rendement en filet	Souche, âge, conditions d'élevage, transport et abattage,	Usage des muscles hors filets Répartition de la valeur entre acteurs
Propriétés d'image	Intérêt nutritionnel, peu d'interdit religieux, bien-être animal, usage antibiotiques Conditions de production (environnement)	Mode d'élevage ; signes de qualité ; Éducation, médias, étiquetage	Acceptabilité des élevages intensifs, durabilité des modes d'élevage (occupation de terres arables)

Tableau 3.5 Synthèse des propriétés des œufs et enjeux à partir de la revue de littérature

Propriétés	Critères	Déterminants	Enjeux, controverses et incertitudes
Propriétés sanitaires	Salmonelles (forte prévalence) Allergies (prévalence de 1,6 à 3,2 %)	Pratiques d'hygiène. Prévalence dans le cheptel, probablement liée à la densité et la taille des élevages	Utilisation de l'œuf en tant qu'ingrédient cru. Possible augmentation de la prévalence dans le cheptel. Effet de la densité pas encore démontré.
	Contaminants chimiques : PCDD/F, PCB, éléments traces métalliques	Système d'élevage : contamination accrue avec les parcours extérieurs, surtout chez les particuliers. Conduite de l'élevage. Bioaccumulation dans l'organisme de la poule au cours du temps	Crise liée à la contamination de l'aliment. Présence d'anciennes industries en Europe comme source de contamination (PCB et dioxines) : pose la question des besoins en diagnostic environnemental ?
Propriétés nutritionnelles	Peu calorique (154 kcal/100 gg), protéines à haute valeur biologique (12,3 g/100 gg), lipides (11,9 g/100 gg) très digestibles, toutes vitamines sauf C	Le rapport blanc/jaune dépend de l'origine génétique et de l'âge de la poule.	Le débat sur le cholestérol reste important, malgré les études démontrant l'absence d'effet sur l'hypercholestérolémie (facteur secondaire)
Propriétés organoleptiques	Couleur : jaune très coloré	Reflet direct de l'alimentation (apport de caroténoïdes)	Critère important pour les consommateurs
	Flaveur	Alimentation, interaction avec génotype	Le mode d'élevage n'a pas d'effet direct, uniquement à travers l'alimentation
Propriétés technologiques	Aptitude au foisonnement (blanc), à l'émulsion (jaune) et coagulation à la cuisson Propriétés gélifiantes, viscosité	Âge de la poule (le vieillissement engendre une perte de la structure protéique favorable au foisonnement), souche utilisée, alimentation, qualité hygiénique de l'œuf cru indispensable, stockage après ponte (temps et température)	Peu d'études sur l'influence des systèmes d'élevage
Propriétés commerciales	Fraîcheur, taille de la chambre à air, intégrité de la coquille. Couleur de la coquille (brun/blanc). Poids et calibre de l'œuf	Stockage après ponte (temps et température), âge de la poule, souche	
Propriétés d'image	Critique de l'élevage en cage	Système de production (AB et agroforesterie plébiscités par les consommateurs)	L'information claire sur le mode de production de l'œuf modifie la perception de la qualité du produit par les consommateurs, et oriente leurs actes d'achat.

Tableau 3.6 Synthèse des propriétés de la chair de poissons et enjeux à partir de la revue de littérature

Propriétés	Critères	Déterminants	Enjeux, controverses et incertitudes
Propriétés sanitaires	Parasite, Vibrio pathogènes Contamination par *L. monocytogenes*	Zone de pêche, procédés de transformation, maîtrise de chaine du froid. Produits à risque : tarama, crustacés décortiqués vendus cuits et les poissons crus	
	Contaminants chimiques : mercure, PCB, PCDD/F (et additifs). Nouveaux contaminants (HAP, pesticides, mycotoxines) Histamine	Source varie selon le système d'élevage : gradient entre utilisation de la chaine trophique aquatique (extensif) et milieu artificialisé (intensif), et selon l'alimentation (huile/farine de poisson vs aliments d'origine végétale)	Controverses sur la contamination en élevage ou sauvage et sur l'origine géographique, quid de l'intérêt d'augmenter la consommation de poisson, maitrise de la contamination de la matière première (substitution végétale), incertitude sur l'influence du mode de production (AB et LR)
Propriétés nutritionnelles	Protéines (16-22 %) : Intérêt des AA essentiels Lipides (1-18 %) dont AGPI n-3 à longue chaîne, Micronutriments	Teneur en protéines : stable au sein d'une espèce. Teneur en lipides : très variable, selon espèce, génétique, saison d'élevage, teneur augmente avec taille, âge, alimentation (sur composition en AG) Micronutriments : alimentation et eau Vitamines : alimentation	Substitution farine/huile de poisson par des aliments d'origine végétale modifie le profil lipidique (à restaurer avant abattage par finition avec farine/huile de poisson) ; Résultats divergents sur l'impact du système de production AB
Propriétés organoleptiques	Visuel : aspect, couleur	Espèce, génétique, présence de pigments (caroténoïdes pour les salmonidés), déterminisme nutritionnel et génétique, triploïdie favorable, âge, maturité sexuelle, alimentation, saison	Résultats hétérogènes sur le lien entre performance/rendement et propriétés organoleptiques. Causes du « gaping » mal connues, déterminisme probablement multifactoriel. Absence de données sur la variabilité de la présence d'arêtes. Peu d'études sur le lien entre SIQO et propriétés organoleptiques.
	Flaveur (odeur, saveur)	Espèce (eau douce ou de mer), fraicheur et conservation, alimentation, flaveur anormale « off flavor » goût de terre causé par micro-organismes	
	Texture, Jutosité	Génétique, triploïdie, âge, structure musculaire, présence d'arêtes, environnement, maturité sexuelle, mise à jeun, saison (destruction du tissu musculaire « gaping » plus fréquente au printemps et en été et si rationnement)	
Propriétés technologiques	Aptitude à la découpe, conservation et cuisson	Stress y compris à l'abattage	Pas de législation sur mise à mort des poissons. Nouvelles technologies (atmosphère modifiée, additifs) pour la conservation Besoin de développer les connaissances culinaires
Propriétés commerciales	Calibre (croissance), état d'engraissement, poids	Individu (espèce, souche, âge), pratiques zootechniques (alimentation en quantité et qualité…), environnement (température, photopériode, qualité d'eau…)	Objectif : minimiser les pertes dues à la découpe, Réduction du rapport protéines/lipides dans l'alimentation permet meilleure croissance mais augmente l'adiposité
	Rendements de découpe	Espèce, morphologie du poisson, génétique, âge, maturité sexuelle délétère, stérilité favorable (triploïde)	Critère de qualité majeur pour le choix d'une espèce pour l'aquaculture
	Malformation, squelette anormal très fréquent (30 à 100 %)	Facteurs d'élevage (carence en minéraux ou vitamines, manipulations et stress … surtout quand jeune), vitesse du courant, faible teneur en 0_2 délétère	Apport alimentaire minéral limité pour respecter les normes environnementales de rejets
Propriétés d'image	Image naturelle et diététique, sans interdit religieux, bien-être animal et environnement	Fraicheur, usage d'antibiotiques, densité, nature des aliments (origine marine) Conditions de production	Reproches au système intensif, développement des circuits en eau re-circulée, substitution des aliments d'origine animale par aliments d'origine végétale

3.2. Facteurs impliqués tout au long de la chaîne d'élaboration des produits

Le tableau 3.7 montre que de nombreux facteurs influencent chaque propriété (colonnes) et qu'un même facteur (ligne) peut jouer sur plusieurs propriétés. La multiplicité des déterminants, leur combinaison, voire leurs interactions, expliquent que l'on considère que la qualité « se construit » tout au long de la chaîne d'élaboration, depuis les caractéristiques des animaux (espèce, type racial, type sexuel, âge), les conditions d'élevage, de transport et d'abattage pour la viande et la chair de poisson, puis de transformation, de conservation, de commercialisation, jusqu'à la préparation culinaire. Ce tableau couvre les produits bruts étudiés dans ce chapitre et les produits transformés qui seront analysés dans le chapitre suivant.

Tableau 3.7 : Facteurs intervenant sur les différentes propriétés des aliments d'origine animale (œuf, lait, viandes et chair de poissons et produits transformés). Le tableau indique les possibles sources de variation. Certaines lignes concernent uniquement certains produits : abattage (viandes et chair de poisson).

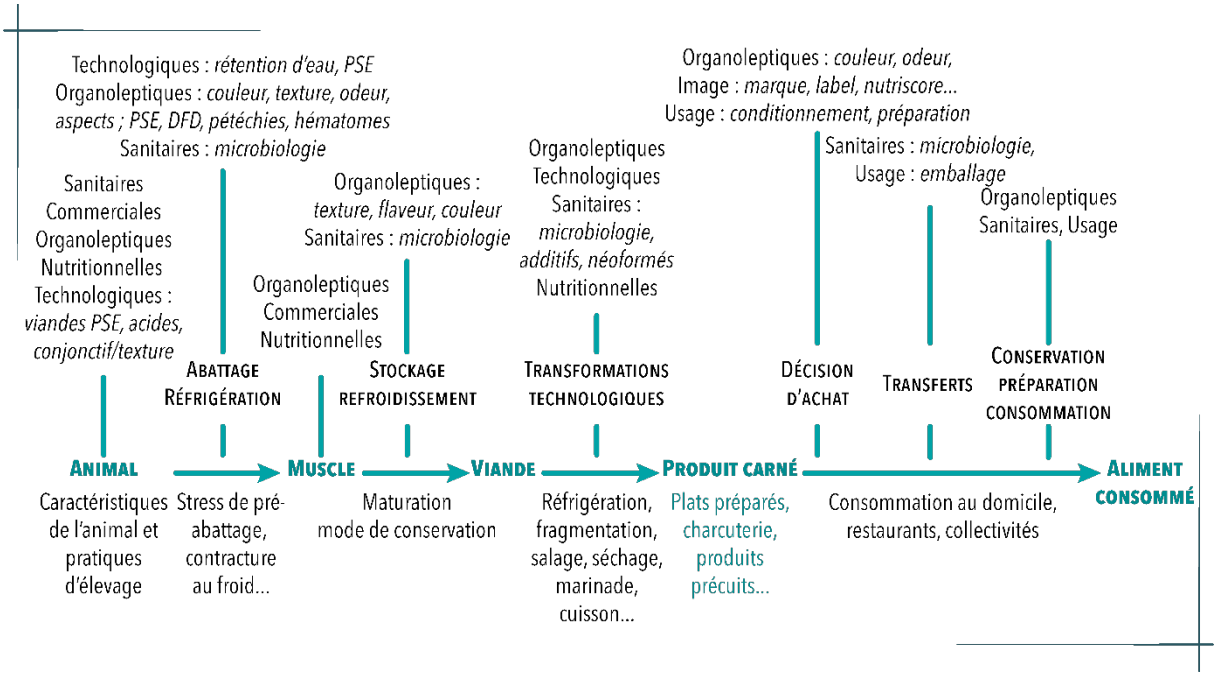
Facteurs/étapes		Propriétés						
		Commerciales	Technologiques	Organoleptiques	Sanitaires	Nutritionnelles	Usage	Image
Caractéristiques de l'animal	Santé de la mère							
	Génétique, race, souche							
	Type sexuel							
Pratiques d'élevage	Localisation de la ferme							
	Habitat des animaux							
	Hygiène							
	Bien-être, mutilation, castration							
	Densité des animaux							
	Alimentation des animaux							
	Médication (antibiotiques)							
	Âge de l'animal /âge à l'abattage							
	Stade physiologique (lait)							
Collecte, transport abattage	Collecte, transport							
	Pré-abattage, abattage (viandes, chair de poisson)							
Transformation de la matière première	Modes de conservation							
	Fractionnement							
	Modalités de cuisson							
	Salage, fumage, fermentation							
	Formulation (dont additifs)							
Distribution	Conditionnement, portion							
	Commercialisation							
Préparation domestique	Conservation (chaine froid)							
	Modalités de cuisson							

Facteur modéré de variation

Facteur majeur de variation

La figure 3.1 illustre le tableau 3.7 avec l'exemple de la viande. Entre l'animal et l'aliment consommé, le muscle est devenu viande puis plat préparé. Ces différents éléments seront détaillés dans les sections suivantes. Sont ainsi informées les étapes (élevage, abattage, réfrigération…) où se modulent les propriétés (chapitres 3 et 4), et au-dessus, les propriétés (chapitres 3 et 4) et principaux indicateurs de ces propriétés (en italique dans la figure, détaillés dans le chapitre 6).

Figure 3.1 Schéma des différentes propriétés visées au cours des principales opérations unitaires d'élaboration de la viande et des produits carnés. En italique, quelques indicateurs – source : auteurs



Au-delà de la phase d'élevage, les produits bruts sont concernés par la collecte (lait, œufs) et/ou l'abattage (viandes, poissons). Ils sont ensuite conservés, conditionnés, transportés et cuisinés. Dans la suite de ce chapitre, on se centrera sur les étapes d'élevage et d'abattage (afin d'aller jusqu'à la transformation du muscle en viande) pour comprendre les rôles des pratiques et des modes d'élevage dans la construction de la qualité des produits. Les étapes de transformation seront traitées dans le chapitre suivant.

Les conditions d'élevage n'affectent pas de la même manière tous les nutriments. La teneur en protéines et le profil en acides aminés sont plutôt stables quelles que soient les conditions d'élevage, tandis que la teneur en lipides et le profil en AG de ces lipides varient beaucoup. La composition des œufs en macronutriments apparaît particulièrement stable quel que soit le mode d'élevage. La teneur en protéines et le profil en acides aminés ne varient pas ou peu pour la viande et la chair de poisson : ils sont stables pour une espèce et un type de muscle donnés. De même, si la teneur en protéines totales du lait varie, la composition en protéines du lait varie peu selon les conditions d'élevage. En revanche, la teneur en lipides et la composition en AG des lipides des produits animaux bruts varient beaucoup selon l'alimentation des animaux. Il en est de même pour la teneur et la composition en minéraux et vitamines. La viande, le lait et les œufs des animaux élevés en « plein air » ou « à l'herbe » sont généralement plus riches en vitamines, minéraux et AGPI n-3, et ce d'autant plus que les animaux ont accès à une flore diversifiée (prairies naturelles). Les supplémentations apportées aux animaux dans les aliments industriels peuvent également enrichir significativement les profils en micronutriments des produits animaux. Le cas du lait est singulier car sa teneur en matières grasses (et en matières protéiques pour les fromages) est standardisée avant consommation, pour toutes les espèces.

3.3. Étapes majeures où se construit et où s'altère la qualité pendant la phase d'élevage

Sont ici détaillées les principales étapes et caractéristiques qui infléchissent les propriétés des produits bruts. Certaines étapes sont critiques, d'autres, au contraire, permettent de restaurer certaines propriétés ou de corriger ou d'anticiper des défauts.

3.3.1 Sélection génétique orientée par les propriétés commerciales

La primauté accordée aux caractéristiques commerciales a fortement orienté la sélection génétique (quantité de lait, rendement en muscles, taux de ponte) **et le type d'animal** (spécialisation pour une seule fonction productive). La diversité génétique des animaux de rente s'est beaucoup restreinte, voire est extrêmement limitée chez la volaille de chair ou de ponte (moins de cinq souches couvrent le marché mondial) et chez le porc (croisements entre quelques races). La sélection a permis

des gains de productivité considérables dans toutes les filières, mais rend difficile la valorisation de certains animaux ne rentrant pas dans les « canons » de la qualité commerciale et l'adoption de pratiques d'élevage agroécologiques ne convenant pas à des animaux « poussés ». Elle est aussi peut-être à l'origine de défauts de structure des tissus musculaires.

Les races locales sont alors un critère de différenciation intervenant à la fois sur les propriétés d'image, organoleptiques et nutritionnelles. Les laits issus de races locales sont ainsi souvent plus riches en AGPI que celui des vaches Holstein (génotype dominant dans le troupeau laitier). De même, les races à viande rustiques présentent des teneurs en gras intramusculaire plus élevées offrant des viandes plus persillées que celles des races à viandes dominantes (qui ont été sélectionnées, entre autres, sur un critère de viande maigre). Au-delà de la biodiversité, la préservation des races locales et anciennes est donc un enjeu pour le maintien de propriétés organoleptiques et nutritionnelles. Elles jouent aussi un rôle économique et social important dans certains territoires.

La spécialisation des races s'est opérée sur une seule fonction productive : la production de lait (volume/vache), de viande (masse musculaire et prolificité des femelles) ou d'œufs (nombre d'œufs/poule). Cette stratégie prive de débouchés les mâles dans les filières laitières et de ponte. La médiatisation de l'élimination par broyage des poussins mâles dans la filière de poules pondeuses a scandalisé l'opinion publique. La question du devenir des veaux et chevreaux mâles issus des troupeaux laitiers se pose également, d'autant que la viande de veaux laitiers n'a pas une bonne image. Cette impasse liée à la spécialisation de l'orientation productive relance le débat sur les races dites mixtes car présentant un compromis entre la production de viande et de lait ou de viande et d'œufs d'une part, et d'autre part, sur l'intérêt des croisements entre races, peu pratiqués en France (image positive des races pures) contrairement à d'autres pays. La race ovine Lacaune est un bon exemple de race mixte, avec de bonnes aptitudes à la fois laitières et bouchères, permettant l'engraissement des agneaux issus des troupeaux laitiers.

3.3.2 Caractéristiques individuelles de l'animal, valorisées ou contraignantes

Le type génétique ou la race est un facteur important de variation des propriétés organoleptiques. Chez les bovins, les différences de précocité entre races influencent la couleur et la tendreté de la viande. Les types génétiques anglo-saxons et les races laitières, plus précoces que les races à viande continentales, présentent une viande plus rouge à un âge donné. Les différences de tendreté entre races sont liées à des différences dans les proportions des différents types de fibres musculaires (proportion de fibres blanches rapides glycolytiques inférieure dans les races laitières), le tissu conjonctif et la teneur en lipides intramusculaires. Au-delà de la race, le gène culard a un effet positif sur la tendreté de la viande. Dans l'espèce porcine, certaines races ou lignées donnent des viandes de propriétés organoleptiques élevées (Duroc, Hampshire), ainsi que les races locales à croissance lente et forte adiposité et dont la qualité gustative des produits est reconnue. L'héritabilité de certains composants importants de la variabilité de la qualité, comme le profil en AGPI mériterait d'être davantage explorée. Des recherches pionnières chez les poissons et dans les filières laitières montrent que la teneur en DHA pourrait être un caractère héritable. Néanmoins, pour le moment, aucun schéma de sélection ne l'utilise. Dans la filière porcine, le contrôle des niveaux d'androstérone des viandes de porcs mâles entiers par la voie génétique est envisageable (recherches en cours).

Le poids, la conformation des animaux ou la taille des œufs sont des critères commerciaux de tri et de déclassement. Ces critères commerciaux facilitent la standardisation des manipulations à l'abattage, mais éliminent ou dévient de la consommation humaine des carcasses et des œufs dont les propriétés organoleptiques, nutritionnelles et sanitaires sont pourtant satisfaisantes. Dans certaines espèces (ovins notamment), les aléas de poids ou de conformation peuvent être dus en partie à une sous-alimentation de la mère pendant la gestation.

Le type sexuel des animaux modifie les propriétés des viandes, du fait d'une teneur en lipides intramusculaires plus élevée chez les femelles et les mâles castrés. La maturité sexuelle joue aussi un rôle. La viande porcine est particulièrement concernée car des odeurs et flaveurs indésirables de la viande de certains porcs mâles entiers dégradent nettement les qualités organoleptiques. La castration chirurgicale à vif sera interdite en France en 2022. Chez les salmonidés, la production de poissons mono-sexes femelles triploïdes permet de s'affranchir des effets négatifs de la maturation sexuelle sur la qualité de la chair, mais pourrait dégrader le bien-être.

L'âge des animaux est un critère important pour plusieurs propriétés. Avec l'âge, la flaveur des viandes devient généralement plus prononcée et leur couleur plus rouge (bovins et ovins) ; la teneur et la densité en certains nutriments peut au contraire diminuer (lait, œufs). La tendreté diminue également avec l'âge (viandes bovines, ovines et de volailles). L'âge des animaux peut jouer aussi sur le niveau de contamination par les polluants environnementaux, ceux-ci s'accumulant dans les tissus au cours de la vie de l'animal (viandes, chair de poisson, œufs). Dans une optique de productivité et d'uniformité du produit, la tendance a été de raccourcir la durée de vie des animaux, ce qui pose des questions éthiques. Les poules

pondeuses d'œufs standards sont abattues vers 18 mois quand leur production d'œufs décline, alors que leur espérance de vie avoisine 10 ans. Les vaches laitières vivent en moyenne 5-6 ans (moyenne de 2,7 lactations) alors que leur vie biologique est de 20 ans. Dans les filières viandes, l'âge à l'abattage des jeunes (agneaux, veaux) comporte une forte dimension culturelle, et varie selon les pays et régions.

3.3.3 Alimentation des animaux, facteur majeur d'amélioration des propriétés des produits

L'alimentation de l'animal est un facteur déterminant des propriétés organoleptiques, nutritionnelles, technologiques et d'image, du fait de son rôle dans la teneur et la composition des matières grasses et de la place accordée au plein air et aux prairies comme milieux de vie de l'animal.

Pour des motifs de santé humaine (fonctions cardiovasculaires, en particulier), toutes les filières animales cherchent depuis une quinzaine d'années à augmenter la teneur en AGPI n-3 dans les produits animaux. Cette orientation privilégie l'herbe chez les ruminants, et l'apport d'aliments concentrés riches en huiles et graines de lin, lupin, féverole, colza chez les monogastriques et les ruminants, ou de farines ou huiles de poissons chez les poissons d'élevage.

Chez les ruminants, les rations à base d'herbe (pâturage, foin, ensilage d'herbe) sont à l'origine de laits et de viandes généralement moins riches en matières grasses que ceux issus d'animaux alimentés avec une ration à base d'ensilage de maïs et/ou de concentrés (sauf chez la brebis laitière), mais plus riches en AGPI n-3 (ALA, EPA, DHA), CLA et en antioxydants. Les effets sont accrus avec des fourrages à base de légumineuses ou provenant de prairies diversifiées. Les propriétés nutritionnelles des produits sont donc améliorées.

Les travaux de Berthelot et Gruffat[53] ont permis d'évaluer les variations des quantités d'AG apportés par 100 g de viandes bovine et ovine. Les résultats (Tableau 3.8) montrent que la viande bovine produite à l'herbe réduit de 21 % l'apport en acide palmitique, considéré comme pro-athérogène par rapport à celle issue d'un animal qui mange des aliments concentrés. Elle est environ deux fois plus riche en ALA, et EPA et DHA, deux AGPI n-3 à longue chaîne reconnus pour leurs effets bénéfiques sur la santé. Les résultats sont convergents pour la viande d'agneau produite à l'herbe (comparativement à celle issue d'un animal nourri avec une ration à base de concentrés). Le rapport AGPI n-6/AGPI n-3, dont la valeur conditionne la synthèse d'EPA et DHA à partir de l'ALA est également beaucoup plus favorable pour la viande produite à l'herbe (il est recommandé qu'il soit inférieur à 4). Consommer 100 g de viande d'agneau élevé à l'herbe couvre ainsi 4,8 % (43 mg) et 6,4 % (32 mg) des apports recommandés d'ALA et EPA+DHA contre 2,4 % (22 mg) et 4,3 % (21,6 mg) si la viande est issue d'un agneau nourri à base de concentrés.

Tableau 3.8 Qualité des acides gras apportés par la viande bovine (mg/100 g de muscle *longissimus thoracis*) selon le régime de l'animal (issu de Berthelot et Gruffat[53])

	Viande bovine			Viande ovine	
…issue d'animaux nourris à base de	concentrés	ensilage de maïs	herbe	concentrés	herbe
Acide palmitique	722	538	570	600	382
AGPI totaux	352	178	229	314	280
AGPI n-3 totaux	35	19	63	50	85
ALA	15	10	33	22	43
EPA	8,2	3,6	14,9	14	21
DPA	17	6,6	22	23	23
DHA	2,3	2,0	4,0	7,6	10,6
CLA	8,2	9,2	12,6	17	26
C18 :2/C18 :3	20,3	13,3	5,8	11,0	3,7
AGPI n-6/AGPI n-3	10,0	8,70	2,4	7,71	2,66

Chez les monogastriques, les viandes de volailles et de porcs en plein air sont aussi plus riches en AGPI n-3 que celles des animaux élevés en bâtiments. Toutefois, quel que soit le mode d'élevage, l'incorporation d'aliments riches en AGPI n-3 améliore

les propriétés nutritionnelles des viandes et œufs. De nombreux travaux soulignent l'intérêt du lin dans les rations animales. La synthèse de Mourot (2015)[54] conclut que la part des apports recommandés d'AGPI n-3 couverts par 100 g de produit augmente quand des graines de lin extrudées sont apportées dans l'aliment des animaux : par exemple de 3,5% à

17% pour une côte de porc et de 2% à 20% pour les œufs. Les besoins en EPA et surtout DHA restent peu couverts (sauf pour les œufs). L'incorporation est généralement inférieure à 5 % des lipides totaux car, au-delà, il y a des risques d'apparition de défauts de flaveur liés à l'oxydation des AGPI dans le produit fini.

Une supplémentation en antioxydants protège les AGPI de la formation de produits secondaires de l'oxydation, les aldéhydes en particulier. L'encapsulation des graines limite aussi ces défauts et les pertes au cours du transit digestif chez l'animal. La combinaison des apports d'AGPI n-3 et de certains antioxydants agit également sur les propriétés sanitaires, en ayant un effet antimicrobien. Le couple lin + vitamine E est le plus étudié, il semble offrir le meilleur compromis entre odeur/flaveur et apport en AG oméga 3 pour les produits étudiés dans cette expertise. La vitamine E peut être d'origine naturelle (l'herbe verte en est riche) ou synthétique ou microbienne (éventuellement OGM). Notons que les composés secondaires d'oxydation lipidique (par le fer héminique, par exemple), tels que les aldéhydes, sont associés à l'effet promoteur des produits carnés sur le risque de cancer du côlon. Pour les consommateurs peu sensibles aux recommandations de limiter la consommation de viande rouge et de charcuteries, une proposition est d'associer ces aliments au cours du repas avec des aliments riches en antioxydants afin de limiter la peroxydation lipidique.

Il reste néanmoins plus efficace, pour couvrir les besoins humains en AGPI n-3 de manger du poisson gras que de la viande, des œufs ou du lait enrichis en enrichis en AGPI n-3. Cent grammes de saumon apportent en effet environ 1,48 g d'EPA+DHA, soit presque 3 fois le niveau des recommandations journalières.

La « végétalisation » de l'alimentation des salmonidés, qui sont des poissons carnivores, répond à des impératifs de durabilité (abaisser la pression de la pêche minotière sur les peuplements de poissons), sanitaires (métaux lourds, POP) et de coûts (les nutriments d'origine végétale sont moins chers). La part des farines de poissons dans les aliments pour poissons est ainsi tombée à 28 % et pourrait être encore divisée par deux d'ici peu. Cependant, l'enjeu est de ne pas réduire parallèlement la teneur en AGPI n-3 à longue chaîne (EPA et DHA) dans la chair du poisson. Les stratégies alimentaires concentrent donc l'apport en farine et huile de poisson sur les derniers mois avant l'abattage. La grande plasticité des lipides musculaires permet en effet de restaurer la composition optimale des chairs de poissons. Le cahier des charges de l'agriculture biologique ne suit pas cette végétalisation : au nom du respect du comportement naturel de l'animal, il impose un minimum de 40 % d'aliments d'origine animale pour les poissons carnivores, comme la truite ou le saumon.

Enfin, les productions animales valorisent de nombreux coproduits de l'industrie agroalimentaire (tourteaux, drèches, cosses, son et pulpes de betteraves…). Ces valorisations tendent à se diversifier. En région méditerranéenne, des produits tels que des pulpes de légumes ou d'agrumes, ou des grignons d'olive, sont, par exemple, inclus dans la ration des troupeaux de ruminants. Ces matières sont souvent riches en tannins, composés aromatiques et matières grasses qui peuvent présenter un intérêt pour la qualité des produits. Leurs effets sont, cependant, encore peu documentés. Or, ces stratégies de recyclage peuvent conduire à augmenter les risques de contaminations, comme l'a montré la crise des œufs dits « à la dioxine » en 1999, où des huiles recyclées contaminées par de la dioxine avaient été incorporées dans des aliments pour poules pondeuses.

3.3.4 Risques sanitaires différents entre élevages de plein air et confinés

Les relations entre la contamination des produits alimentaires d'origine animale et les systèmes d'élevage ne sont pas bien documentées. Il ressort que les systèmes d'élevage confinés et de plein air présentent des niveaux de risques similaires, mais sont sensibles à des voies de contamination différentes.

Tous les modes d'élevage sont exposés aux deux principaux pathogènes, *Salmonella* et *Campylobacter*. Cette prévalence est très élevée dans les élevages de volailles. Elle n'induit pas un niveau de risque élevé pour l'homme sauf accidents sanitaires, lesquels interviennent généralement en aval de l'élevage. Ces accidents surviennent surtout lors des étapes de première transformation par contamination des carcasses, du lait et des œufs ou bien lors de la conservation, puis de la préparation des repas à la maison, par contamination croisée entre aliments (utilisation d'un même couteau pour des légumes mal lavés et de la viande, par exemple). Au-delà de ces deux pathogènes majeurs, l'exposition aux risques sanitaires varie selon les modes d'élevage.

Les élevages confinés en bâtiment, présentant une forte densité d'animaux, sont logiquement sensibles aux maladies épidémiques (grippes, pestes) et à la pollution de l'air ambiant, du fait de l'émission de poussières et de gaz (ammoniac dégagé par les effluents) causant des troubles respiratoires. Il n'existe pas de statistique globalisant les pertes en animaux malades, mais cette problématique contribue à la mauvaise image des élevages intensifs.

Les risques de contaminations chimiques proviennent des aliments du bétail (résidus de pesticides dans les végétaux, mycotoxines, coproduits pollués), d'une part, et d'autre part, du contact avec des matériaux traités à l'intérieur des bâtiments

(revêtement, matériels) ou via les litières (mycotoxines). Ces contaminants se retrouvent dans les viandes et chair de poissons, laits et œufs, ces derniers captant particulièrement les polluants chimiques.

L'alimentation d'origine marine présente un risque particulier. Les farines et huiles issues de la pêche minotière peuvent contenir en effet des métaux lourds et polluants organiques persistants que les poissons marins ont accumulés dans leur chair et qui se retrouvent *in fine* dans celle des poissons d'élevage qui les ingèrent. Ce transfert potentiel questionne les élevages piscicoles biologiques qui privilégient, dans leur cahier des charges, l'approvisionnement marin, plus proche des habitudes carnivores des poissons, par rapport aux formules « végétalisées » qui progressent dans les élevages standards. Cependant, les sources végétales peuvent amener, aussi, le risque de résidus de pesticides.

L'accès au plein air expose les animaux aux contaminants environnementaux, **qu'ils soient biologiques** (virus, bactéries, parasites, mycotoxines…) **ou chimiques** avec des répercussions sur la viande, le lait et les œufs. Les herbivores prélèvent directement leur alimentation de l'environnement, les monogastriques ingèrent ou sont en contact avec des composés présents dans les sols et le milieu environnant. Les milieux naturels et les bassins où vivent les poissons d'élevage ne sont pas reconnus comme des sources de risques sanitaires, sauf accident.

La proximité d'activités humaines (présentes ou passées) augmente le niveau de risque de pollution chimique de l'environnement. Les perturbations dans les écosystèmes sont régulièrement citées parmi les causes d'introduction de risques biologiques, via des animaux sauvages qui en deviennent le vecteur. L'épidémie de grippe aviaire en 2016 a ainsi associé l'introduction et la dissémination du virus Influenza aux contacts entre les oiseaux sauvages migrateurs et les volailles en plein air. Les virus Influenza aviaires peuvent contaminer l'homme, le premier facteur de risque étant le contact direct avec une volaille contaminée vivante ou morte. Quelques cas ont résulté de la consommation de produits de volailles non cuits. Fin 2019, la suspension de la collecte de laits et d'œufs après la pollution des alentours de Rouen, suite à l'incendie de l'usine chimique Lubrizol illustre les risques de contaminations chimiques. Remarquons que l'installation d'élevages n'est pas soumise « en routine » à un diagnostic de la qualité sanitaire de son environnement incluant les activités émettrices à proximité, présentes et passées. À notre connaissance, seul le cahier des charges AB des poissons prévoit ce diagnostic.

3.3.5 Bien-être animal durant l'élevage et la période de pré-abattage

Il est difficile de distinguer l'effet du soin envers les animaux des effets des autres pratiques d'élevage. Pour améliorer le bien-être animal, les systèmes de production alternatifs imposent, par exemple, une diminution des effectifs et des densités, un accès à un parcours extérieur et un éclairage naturel qui ont peu d'incidence sur les propriétés organoleptiques, technologiques et nutritionnelles des produits par comparaison aux effets forts de l'âge à l'abattage ou de la race/souche. D'autres mesures telles que l'interdiction de la castration à vif chez le porc vont avoir un effet plus prononcé.

La récente décision du gouvernement (février 2020) d'arrêter la castration à vif des porcelets en 2022 oblige les professionnels à reconfigurer leurs pratiques. Ne plus castrer les porcelets peut affecter négativement les propriétés organoleptiques de la viande des porcs arrivés à maturité sexuelle du fait d'un risque de perception malodorante d'androstérone et de scatol de la viande de certains mâles entiers. En revanche, cela améliore les propriétés nutritionnelles de la viande (moins de lipides et plus d'AGPI) ainsi que ses propriétés commerciales (animaux plus maigres) ; d'image (bien-être des animaux) et l'impact environnemental de la production (moins de rejets azotés-). Le coût de production et le temps de travail diminuent également. La pratique de la castration chirurgicale sous anesthésie et analgésie restera autorisée pour les éleveurs, mais impliquera une formation et un coût. Actuellement, il existe une grande hétérogénéité entre pays dans la prise en charge de la douleur liée à la castration, l'anesthésie systématique étant encore peu répandue, alors que l'analgésie seule n'est pas assez efficace. L'immunocastration, pratiquée dans certains pays, reste minoritaire. Pour les ovins mâles, l'apport d'aliments riches en glucides fermentescibles au pâturage et la pratique de finition courte en bergerie après une période de pâturage et visent également à limiter les odeurs dans la viande. Des recherches sur des méthodes de détection des carcasses en fonction de leur niveau d'odeur sur la ligne d'abattage pourraient permettre d'orienter les produits vers des procédés de transformation adaptés.

Les pratiques de mises à mort dans les abattoirs ont fait l'objet de plusieurs rapports publics[0]. Les étapes de pré-abattage sont sources de multiples stress pour les animaux. Les regroupements éventuels de différents lots d'animaux, leur chargement, transport et déchargement, l'environnement et le temps d'attente en abattoir, l'amenée vers le poste d'étourdissement et de mise à mort donnent lieu à de nombreuses manipulations et situations inhabituelles stressantes. Les

[0] Le CNA et le CESE ont tous deux produit des rapports en 2019.

conséquences du stress de l'animal affectent la majeure partie des propriétés (sanitaires, technologiques, organoleptiques) de la viande et de la chair de poisson.

Les animaux élevés en plein air peuvent être plus sensibles au stress que leurs congénères élevés en bâtiment ou bassins, lorsque ces derniers sont plus habitués à la promiscuité et à des contacts fréquents entre animaux et avec des humains ; l'inverse est aussi observé, où l'expérience antérieure d'animaux élevés en extérieur les rend moins agressifs lorsqu'ils sont mélangés ou placés en bouverie d'abattoir que des animaux élevés en claustration.
L'étourdissement des animaux avant la mise à mort est obligatoire depuis 1964 en France[55 ; 56], sauf dérogation d'ordre religieux. Après la mort de l'animal, l'enlèvement de la peau et l'éviscération sont une étape à fort risque sanitaire. Les carcasses sont ensuite refroidies. Les modifications métaboliques qui se produisent *post mortem* (acidification, rigidité cadavérique et maturation) vont transformer le muscle en viande. Un épuisement des réserves énergétiques avant l'abattage, lié à une mise à jeun prolongée, un transport trop long ou des conditions stressantes, induit des viandes à coupe sombre et moins tendres (*Dark Firm Dry* en anglais), particulièrement visibles chez les espèces bovines et ovines (viande rouge). Chez ces espèces, un refroidissement *post mortem* trop rapide contracte le tissu musculaire et la viande restera dure, quelle que soit la durée de maturation. Les viandes de porc, veau et volailles sont aussi sensibles au stress de pré-abattage (bousculades, coups). Il peut donner lieu à des viandes pâles, molles et exsudatives. Ces viandes « pisseuses » selon le jargon industriel sont dites « PSE », de l'anglais *Pale Soft Exudative*, dans le secteur académique. Leur valeur économique, tant en frais qu'en produit transformé, est compromise. Les défauts de qualité qui touchent la viande fraîche ont des répercussions sur les produits transformés qui en sont issus : risque de pertes anormalement élevées de jus à la cuisson, baisse des rendements technologiques des charcuteries cuites et dégradation des propriétés organoleptiques, en particulier, la jutosité, la tendreté et la couleur.

L'abattage de proximité est actuellement expérimenté. Le syndicat Confédération paysanne et plusieurs associations[p] plaident en faveur d'un abattage « à la ferme » ou de proximité. En Europe, et à l'exception de l'abattage d'urgence des animaux accidentés, l'abattage "à la ferme" pour la commercialisation est autorisé uniquement dans le cadre d'abattoirs mobiles. L'abattage en abattoir mobile sur l'exploitation évite le transport des animaux et vise à préserver leur bien-être. Les abattoirs mobiles sont prévus dans la réglementation européenne (règlements 853/2004 et 1099/2009). Une expérimentation de ce dispositif a été lancée en France pour 4 ans par la loi Egalim[57]. Ces abattoirs, dont tout ou partie est mobile, doivent être agréés au même titre que les abattoirs fixes et ils doivent répondre aux même exigences réglementaires d'hygiène et de protection animale. Cette pratique existe déjà de façon limitée en Suède, en Allemagne et Hongrie, mais peu de travaux scientifiques ont été identifiés sur la question. L'expérimentation prévue doit notamment permettre d'évaluer les effets sur le bien-être des animaux ainsi que sur la viabilité économique de ce mode d'abattage et de ces structures mobiles.

3.4. Antagonismes et synergies entre propriétés

In fine, la qualité des produits résulte de compromis entre les différentes propriétés et entre les critères au sein de chacune des propriétés. Ces compromis mettent en lumière des antagonismes et des synergies. Par exemple, la fabrication fromagère de terroir (AOP notamment) résulte de l'adéquation entre une race laitière locale, des conditions d'élevage, des ressources alimentaires et des procédés de transformation et d'affinage. Dans ce cas, les propriétés technologiques du lait bénéficient aux propriétés organoleptiques, ces dernières contribuant à l'image du fromage.

Les antagonismes sont également intéressants à relever, car ils mettent à jour les stratégies divergentes et les rapports de force entre acteurs.

3.4.1 Classement des carcasses qui ne préjuge pas des propriétés organoleptiques et technologiques

Le poids et le classement de la carcasse sont les principaux critères commerciaux des viandes puisqu'ils sont à la base du paiement à l'éleveur. Le classement des carcasses des bovins, ovins et porcins est harmonisé au niveau européen : il est fondé sur la conformation de l'animal selon la classification EUROP, sur l'état d'engraissement pour les bovins et les ovins et sur la

[p] Le collectif « Quand l'abattoir vient à la ferme », l'Association en faveur de l'abattage des animaux dans la dignité » (Afaad), plateforme pour une trasitiontransitiontrasition alimentaire, Fadear… Documents en ligne sur : www.confederationpaysanne.fr/mc_nos_positions.php?mc=680&PHPSESSID=o1tbtp1v7lgneerhdg4d1idh42 (consulté en mars 2019)

teneur en viande maigre pour les porcins. L'évaluation de ces critères est réalisée visuellement par des opérateurs (bovins, ovins) ou par des équipements (porcins, bovins) agréés.

Ce classement a conduit, en élevage bovin allaitant, à privilégier les animaux lourds et de race tardive, présentant une forte musculature au détriment des tissus adipeux, et en amont à sélectionner des animaux produisant une viande « maigre ». Cette orientation affecte les propriétés organoleptiques des viandes, puisqu'elle se fait au détriment des lipides intramusculaires constitutifs du persillé de la viande. Les pratiques conventionnelles ainsi que les cahiers des charges des produits sous signes de qualité renforcent cette orientation en privilégiant des animaux de race pure plutôt que ceux issus de croisements. De plus, cette préférence pour des animaux lourds et de race tardive rend la finition des jeunes animaux à l'herbe difficile. Cela va ainsi à l'encontre de l'orientation politique en faveur de systèmes d'élevage plus herbagers. Pour encourager ces derniers, il faudrait réorienter la génétique vers d'autres critères comme la précocité (afin d'avoir précocement du gras intramusculaire) plutôt que vers la seule recherche de forts potentiels de croissance et de développement musculaire et/ou vers des croisements avec animaux de races plus précoces.

Il en va de même pour la viande d'agneau produite à l'herbe. Elle présente une meilleure image (plein air) et de meilleures propriétés nutritionnelles (acides gras, antioxydants) que la viande d'agneaux élevés uniquement en bergerie. Cependant, les propriétés organoleptiques et commerciales sont moindres : on observe des défauts de flaveur et une conformation sub-optimale des carcasses d'agneaux. Finir les agneaux pendant un temps court en bergerie peut limiter ces défauts de flaveur sans pénaliser les propriétés nutritionnelles, ni trop alourdir le coût de production. Sensibiliser les consommateurs à la flaveur plus intense est une autre option en expliquant qu'elle est corollaire à l'origine herbagère de la viande.

Le système australien MSA (*Meat Standard Australia*) est un modèle de prédiction de la qualité organoleptique de la viande bovine. Il s'appuie sur un ensemble de caractéristiques des animaux, de la carcasse et de la viande. Le modèle de prédiction met en regard ces caractéristique et les résultats d'évaluations par des consommateurs de la qualité en bouche de la viande, en intégrant l'effet de la cuisson. La qualité ainsi évaluée influe sur le paiement des éleveurs et permet au distributeur d'apposer sur la viande une information qualitative à destination des consommateurs. Mis en place en Australie à partir de 1999, le système MSA se fonde sur le volontariat. Il a apporté une plus-value économique à l'ensemble des opérateurs et une garantie de qualité aux consommateurs. Pour l'instant, centrée sur les propriétés organoleptiques, cette méthode a pour objectif d'intégrer d'autres propriétés, notamment nutritionnelles et environnementales. Actuellement testé et en cours d'adaptation dans d'autres pays (Corée du Sud, États-Unis, Pologne, Irlande et France), ce système d'évaluation ne fait pas l'unanimité en Europe, et notamment en France. Certains professionnels craignent qu'il fasse concurrence au Label Rouge et qu'il conduise à dévaloriser le troupeau allaitant au profit du troupeau laitier. Toutefois, certains plans de filière proposés suite aux EGA évoquent l'inclusion de critères organoleptiques dans les cahiers des charges des viandes bovines sous SIQO et l'adaptation des grilles de paiement de la viande porcine afin que l'offre réponde mieux aux différentes demandes de qualité.

Le développement et l'application en ligne de méthodes spectrales pourraient permettre d'élargir la gamme des propriétés considérées : organoleptiques (comme le persillé dans la viande), nutritionnelles (comme le profil en acides gras des lipides), sanitaires (charge bactérienne, présence de résidus), technologiques (capacité de rétention d'eau). Des méthodes d'analyse d'image sur la viande sont aussi réalisées pour mesurer la quantité de gras.

Cet antagonisme entre les critères commerciaux et les autres propriétés des produits pourrait être transposé pour le lait, les critères de paiement aux éleveurs ne prenant pas non plus en considération l'ensemble des nutriments favorables aux propriétés nutritionnelles et organoleptiques.

3.4.2 Phénomènes de déstructuration des viandes et de la chair de poisson

Apparus il y a environ 10 ans, les défauts de déstructuration des filets de poulet standard se sont accrus sur la période récente (Figure 3.2). Plusieurs études conduites en abattoirs ou en stations d'expérimentation, en France, Italie, États-Unis ou Brésil, notent des occurrences supérieures à un filet sur deux. La situation est donc préoccupante pour le poulet standard, mais des phénomènes analogues concernent aussi la viande de porc et la chair de poisson. Les causes ne sont pas encore bien comprises. Les défauts sur les filets de poulets sont apparus sur les souches lourdes à fort rendement musculaire, utilisées pour la découpe et la transformation. Quatre phénomènes sont décrits : le *white striping*, lorsque le filet présente des stries blanches (le plus fréquent) ; le *wooden breast*, lorsqu'il comporte des zones dures et qu'un liquide clair et visqueux recouvre le filet ; le filet « spaghetti », dont les fibres musculaires se dissocient les unes des autres, et l'*Oregon disease* quand les aiguillettes prennent une couleur verte ou rouge (phénomène plus rare). Les filets atteints de *white striping* et de *wooden*

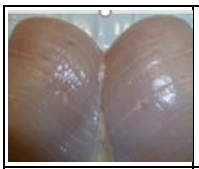
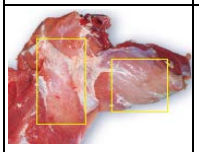
breast sont les plus étudiés. Ces lésions s'apparentent à des myopathies. La principale hypothèse d'explication les associe à une sélection génétique trop poussée sur la vitesse de croissance des poulets et sur l'accroissement du rendement en filets. Les résultats ont été spectaculaires puisque les filets représentent dorénavant 1/5e du poids du poulet. En effet, la morphologie de ces muscles a changé. L'hypothèse la plus probable est que le grossissement rapide des muscles pectoraux comprime les flux sanguins et limite l'apport en énergie et oxygène à ces muscles. Les fibres musculaires se nécrosent, induisant l'apparition de phénomènes inflammatoires et de stress oxydatif, suivis d'une formation d'adipocytes intramusculaires (lipidose) et de collagène interstitiel (fibrose). Ces défauts sont accentués par la faible activité locomotrice et musculaire des poulets standards et ils sont rendus plus visibles par la tendance au recul de l'âge à l'abattage pour la production de poulets lourds destinés uniquement à la découpe et transformation (de 35 j à ± 50 j). Le caractère héritable de ces myopathies pourrait permettre d'écarter les reproducteurs porteurs de ces défauts par des méthodes de phénotypage, mais c'est l'orientation même de la sélection qui devrait changer. Aux Pays-Bas, la pression sociale contre les conditions d'élevage intensives a conduit la filière avicole à se reporter sur des poulets à croissance plus lente pour alimenter le marché en produits frais.

En viande porcine, des défauts de déstructuration musculaire sont aussi observés depuis les années 1990, avec une fréquence très variable pouvant atteindre 30 %. La viande perd son aspect fibreux au profit d'une masse molle, sans structure apparente, entraînant d'importantes pertes de fabrication (réduction des rendements de cuisson et tranchage) du jambon cuit. Ce défaut est devenu crucial avec l'augmentation des volumes de ventes de jambon cuit en libre-service (augmentation des cadences et réduction de l'épaisseur de tranchage) associée à l'élimination progressive des additifs (phosphates) et la réduction de la teneur en sel. Une des difficultés est qu'il n'est discernable que lors du désossage. Le défaut de déstructuration est associé à une chute rapide et importante du pH et à des processus de stress oxydant et d'apoptose dans le tissu musculaire. Toutefois son origine biologique n'est pas encore élucidée. Les causes sont multifactorielles. Parmi les facteurs favorisant ce défaut, interviennent le type génétique (dont l'allèle n au gène majeur halothane), la vitesse de croissance des animaux (muscles plus glycolytiques), la teneur en muscle et de mauvaises conditions de pré-abattage (durée de mise à jeûn, manipulations stressantes des animaux) et d'abattage des porcs. L'hypothèse de l'âge plus jeune des porcs au stade d'abattage est peu vraisemblable, l'âge moyen ayant peu évolué depuis une trentaine d'années (la croissance plus rapide des animaux étant compensée par un poids à l'abattage plus lourd) ; l'effet strict de la vitesse de croissance en finition sur l'apparition du défaut n'a pas été évalué à notre connaissance. Les recherches explorent actuellement des méthodes spectrales pour prédire ces défauts le plus tôt possible sur la carcasse, à l'abattoir ou, de façon plus exploratoire, sur le plasma.

De tels défauts de déstructuration de la viande ne sont pas rapportés chez les ruminants.

Chez les poissons, des défauts de chair molle ou *gaping* sont également connus, surtout chez les salmonidés, depuis les années 1990. Le *gaping* correspond à un détachement des feuillets musculaires, faisant apparaître des trous dans le filet. Ses causes sont mal connues. L'origine génétique n'a pas été démontrée, le *gaping* n'étant pas un caractère héritable. Une étude sur le saumon Atlantique rapporte une plus forte incidence du phénomène de *gaping* chez les poissons triploïdes, comparés aux diploïdes. Enfin, notons que, comme pour les animaux terrestres, les programmes de sélection génétique actuels portent sur les performances de croissance et les rendements en filets.

Figure 3.2 Défauts de structure et leur fréquence d'apparition (%) dans les viandes de poulet, de porc, le jambon cuit et la chair de poisson fraiche et fumée. Source : photos INRAE.

	Filets de poulet présentant un défaut de *white striping* Fréquence d'apparition de 10 à 83 %		Filets de poulet présentant un défaut de *wooden breast* Fréquence d'apparition de 6 à 53 %
	Filets de poulet présentant un défaut d'*Oregon disease* Fréquence d'apparition de 0,8 à 11 %		Filets de poulet dits « spaghettis » Fréquence d'apparition de 11 %
	Viande de porc désossée avec zones déstructurées. Fréquence d'apparition de 0 à 30 %, très variable		Jambon cuit présentant des défauts de tranche du fait de la déstructuration initiale de la viande
	Gaping Fréquence d'apparition de 0 à 38 %		Truite fumée présentant un défaut de *gaping*

3.4.3 Compromis sur la végétalisation de l'alimentation des poissons

En pisciculture, le remplacement des aliments d'origine marine par des aliments d'origine végétale améliore les propriétés d'image grâce au moindre impact sur la ressource sauvage. Toutefois cette substitution a tendance à dégrader les propriétés nutritionnelles, avec de moindres teneurs en acides gras EPA et DHA dans la chair des poissons. Les propriétés commerciales sont également moins bonnes car les rendements en découpe baissent à cause de l'adiposité accrue des filets. Un compromis a cependant été trouvé en concentrant l'apport en farines de poisson sur les derniers mois avant l'abattage, ce qui permet de restaurer la qualité des acides gras. La question des contaminants chimiques par des POP présents dans les farines marines a drastiquement régressé avec la végétalisation, néanmoins les végétaux pourraient apporter, de leur côté, des résidus de traitements pesticides post-récoltes et des mycotoxines (dans les limites réglementaires), ainsi que des HAP formés lors de l'extraction à chaud des huiles végétales[58].

3.4.4 Bénéfices et risques associés au lait cru

L'intérêt du lait cru est organoleptique : les fromages non traités thermiquement conservent leur flore microbienne et développent, de ce fait, des flaveurs plus riches et plus intenses que les fromages au lait pasteurisé ou microfiltré. La pasteurisation, outre son action sur les microorganismes, modifie, en effet, les protéases et lipases qui participent aux processus biochimiques en cours d'affinage. L'utilisation du lait cru reste un enjeu sanitaire. D'un côté, les autorités sanitaires déconseillent la consommation de produits laitiers fabriqués à partir de lait cru aux personnes à risque — femmes enceintes, enfants de moins de 5 ans, personnes immunodéprimées ou âgées —, car l'absence de traitement thermique ne permet pas de garantir un produit indemne de *Listeria monocytogenes,* de *Salmonella* ou d'*Escherichia coli* EHEC. De l'autre, plusieurs études épidémiologiques sur des cohortes associent la consommation de lait cru à une protection accrue contre les allergies, les maladies atopiques et respiratoires y compris chez de jeunes enfants. Les mécanismes ne sont pas encore précisés. La forte diversité microbienne des laits crus et des fromages au lait cru pourrait influencer la composition du microbiote intestinal.

3.4.5 Préoccupations éthiques et orientation des filières

La pression des consommateurs réoriente la filière européenne d'œufs. Pionnière, l'Allemagne a interdit l'élevage de poules pondeuses en cage, dès 2010, après une campagne de l'association Food Watch. La grande distribution allemande a joué un rôle crucial, en bannissant de ses rayons les œufs issus de ce mode d'élevage et en adoptant un étiquetage mentionnant le mode d'élevage, aujourd'hui généralisé en Europe. En 2012, l'Union européenne a fixé la fin de l'élevage de poules en cages en 2025. Ce type d'élevage est néanmoins encore majoritaire en France, mais il recule (58 % en 2018 contre

81 % dix ans auparavant). D'ici cinq ans, la filière doit donc se réorganiser. Le secteur étant fortement intégré, les acteurs aval pourraient soutenir la transition des élevages.

C'est dorénavant la spécialisation de la filière œufs qui est mise en cause. Les lignées ont en effet été sélectionnées sur la capacité de ponte au détriment du développement musculaire. La reproduction ne s'intéresse donc qu'aux femelles. Les poussins mâles sont éliminés juste après l'éclosion, généralement par broyage. Les gouvernements français et allemands ont annoncé début 2020 l'interdiction de cette pratique en 2021. De nombreuses recherches se développent pour proposer un sexage *in ovo*, c'est-à-dire déterminer le sexe des œufs et permettre un tri avant éclosion. Une autre alternative est la sélection de lignées « à double finalité », dont les femelles produisent des œufs et les mâles de la viande.

Un troisième débat s'ouvre parallèlement : celui de l'âge de la réforme des poules pondeuses. Les poules sont éliminées dès que le taux de ponte tombe en dessous de 75 % de leur performance maximale. En 2016, ce seuil était franchi à 72 semaines d'âge en moyenne, soit au bout d'une année de production. Allonger la durée de ponte permettrait de diminuer le nombre de poules pondeuses : par exemple, conserver les poules pondeuses jusqu'à 100 semaines accroît la production par poule de 320 à 500 œufs. Une étude anglaise évalue qu'avec 25 œufs supplémentaires par poule, le cheptel national pourrait être réduit de 2,5 millions de têtes, ce qui améliorerait, en plus, l'impact environnemental global du secteur. La qualité des œufs a cependant tendance à se dégrader avec l'âge de la poule. Poussant plus loin la réflexion éthique, une société privée[q] propose des œufs « qui ne tuent pas la poule », le principe étant que le prix de l'œuf permette d'entretenir les poules jusqu'à leur mort naturelle (environ 10 ans).

À l'instar des poussins mâles dans la filière de ponte, le devenir des jeunes chevreaux et veaux est problématique dans certaines filières laitières. Le manque de débouchés pour les chevreaux mâles s'est accentué avec la croissance du marché des fromages de chèvre. Des effectifs importants sont équarris sans que les faits ni les chiffres ne soient bien documentés (14-18 % selon le plan de filière caprine 2019). Dans la filière des vaches laitières, la viande de veau est un marché en soi, en France, aux Pays-Bas ou au Danemark. Ce n'est pas le cas dans les pays anglo-saxons, tels le Royaume Uni, l'Irlande ou la Nouvelle-Zélande. En Irlande, par exemple, le gouvernement a autorisé l'abattage des jeunes mâles laitiers à 15 jours pour une valorisation en alimentation pour chiens et chats (*pet food)* ce qui constitue un problème d'éthique ainsi qu'un gaspillage alimentaire (source : articles de presse Irish Times ; The Guardian).

[q] https://www.poulehouse.fr/ [Consulté en mai 2020]

4. Propriétés des produits transformés et leur variabilité selon les opérations de transformation

Parce que les matières premières d'origine animale sont périssables, le but historique de la transformation a été d'allonger leur durée de conservation (propriétés sanitaires), et de développer leurs propriétés organoleptiques. Avec l'amélioration des procédés de conservation, les objectifs des industriels se sont focalisés sur l'amélioration des propriétés organoleptiques, d'usage (praticité) et la diversité de l'offre. Les « produits transformés » et la « transformation » recouvrent des produits et un périmètre d'opérations diversement qualifiés selon les acteurs et les approches scientifiques. L'intensité des procédés et la distance entre le produit d'origine et final sont souvent des critères, mais pas systématiquement. Ainsi, le lait que l'on boit est considéré comme un aliment « brut » bien qu'il ait subi un traitement thermique intense d'ultra-haute température (UHT). Dans les études nutritionnelles, les viandes hachées sont considérées comme de la viande brute et pas comme de la viande transformée, bien que le hachage modifie les propriétés organoleptiques et sanitaires. Plus généralement, les étapes dites de « première transformation », c'est-à-dire les opérations liées à l'abattage, la découpe et la maturation pour la viande et la chair de poisson, et à la réfrigération pour les œufs et le lait, restent classiquement attachées aux produits « non transformés ». Réglementairement, la congélation et la surgélation ne sont pas classées comme des opérations de transformation. Dans ce chapitre, l'objectif étant d'examiner la variabilité de la qualité des produits induite par les traitements technologiques, le hachage et la cuisson sont inclus.

Les opérations technologiques étant extrêmement variées, l'expertise en a sélectionné une dizaine. Les recherches sur les déterminants de cette variabilité sont tributaires de l'accès à l'information sur les recettes alimentaires. Or si la transformation charcutière porcine dispose d'un Code des usages donnant un accès assez précis aux pratiques du secteur, ce n'est pas le cas général. Les recettes sont souvent protégées par des clauses de confidentialité. Remarquons aussi que si toutes les filières animales offrent un éventail de produits transformés, les produits volaillers et porcins sont particulièrement concernés par la variété des recettes. La viande peut être panée (cordons bleus, escalopes à la viennoise, nuggets), transformée en produits charcutiers (jambons, pâtés, saucisses et saucissons, galantine), marinée (brochettes, produits hachés et farcis).

De façon générale, les travaux scientifiques faisant le lien entre les propriétés de la matière première et celle des produits transformés sont moins nombreux que ceux portant sur les propriétés des produits consommés « en frais ». Une des principales raisons est que l'industrie agroalimentaire a cherché à restreindre la variabilité des propriétés des produits bruts (Figure 4.1), puis à adapter ses procédés, en jouant souvent sur le fractionnement (ou cracking) et la formulation (ingrédients, additifs) pour réintroduire de la diversité tout en obtenant un aliment ayant toujours les mêmes caractéristiques, quelles que soient la saison, les conditions d'élevage, l'origine génétique et les caractéristiques des animaux. Cette stratégie lui a également permis de capter la valeur ajoutée de cette diversification.

4.1. Classements des aliments d'origine animale

Le premier chapitre soulignait le grand nombre de produits transformés contenant des ingrédients d'origine animale. Des produits proches peuvent fortement différer quant à la proportion de produits animaux, le nombre d'ingrédients et les procédés de transformations : ainsi parmi les desserts lactés, les yaourts 100 % issus du lait côtoient une grande variété de préparations laitières comportant une base végétale plus ou moins importante ; les préparations à base de viande ou de poisson côtoient des plats beaucoup plus composites comme les pizzas, et enfin de nombreux produits ne sont pas classés parmi les produits alimentaires d'origine animale bien qu'ils contiennent des ingrédients issus du lait ou des œufs, comme les biscuits notamment.

4.1.1 Différences entre les classements existants

Le classement des aliments aide la décision en matière de recommandations nutritionnelles, de sécurité alimentaire, et aussi de politique environnementale (empreinte carbone, ACV), voire socioéconomique et culturelle (approvisionnement local, terroir, savoir-faire traditionnel). Dans cette expertise, nous nous sommes souvent rattachés aux grandes catégories utilisées dans les recommandations nutritionnelles (PNNS), ainsi qu'à la classification de l'Efsa qui apparaît la plus précise à l'échelle des aliments. Nous avons également fait référence au Nutri-Score dont l'apposition sur les étiquettes est encouragée par les pouvoirs publics et à la classification Nova qui a mis en exergue le rôle défavorable des produits ultra-transformés dans l'alimentation.

Dans le PNNS, les produits animaux constituent deux catégories à part entière et contribuent à deux autres. Sur les huit catégories d'aliments permettant de décrire de façon simple les régimes alimentaires, deux relèvent des produits animaux : « les produits laitiers (lait, fromages, yaourts) » et « les viandes, les poissons et les œufs ». Les légumineuses qui se rattachaient à ce groupe avant 2019, en forment un à part dorénavant. Le beurre et la crème sont classés dans les « matières grasses » avec les huiles végétales. Les pâtisseries et charcuteries sont dans la catégorie « produits sucrés et gras », laquelle intègre également les boissons sucrées et/ou alcoolisées.

La classification FoodEx2 de l'Efsa répartit quelque 2 700 aliments en 216 catégories, selon une classification hiérarchique (Tableau 4.1). Chaque catégorie est annotée d'une lettre indiquant s'il s'agit d'un aliment brut (r), d'un aliment dérivé d'un produit brut (d), d'un aliment composite simple (s) ou d'un aliment composite complexe (c). Les qualifications d, s ou c, ne sont pas toujours évidentes. Ce système normalisé permet de comparer des données issues de sources différentes, mais est trop détaillé pour éclairer les choix des consommateurs.

Tableau 4.1 Extrait du FoodEx2 montrant la structure hiérarchique de la classification et exemples de groupes d'aliment et de leur classification concernant leur transformation. Source : FoodEx2

Type d'aliments : « H » groupe hiérarchique (écrit en bleu) ; « C » liste de base (rouge) ; « E » liste élargie (vert). **Code** : code alphanumérique unique qui représente chaque élément. **Groupe d'aliments :** représente visuellement les relations hiérarchisées (parent-enfant), où les sous-groupes « enfants » sont inclus dans le groupe parental. **Classification du degré de transformation** : « r » aliment brut ; « d » aliment dérivé de produits bruts, ingrédients ; « s » aliment composite simple ; « c » aliment composite complexe, agrégé ; « g » groupe hétérogène

Type	Code	Groupe d'aliments	Classification
H	A03VC	Plats excluant les plats de pâtes, riz, sandwich et pizza	c
H	A04NJ	Saucisses sèches et fermentées	s
C	A024X	Saucisse de type salami	d
E	A024Y	Salami de type italien	d
E	A024Z	Salami de type hongrois	d
E	A025A	Salami allemand	d
C	A025B	Saucisse de type poivron/paprika	s
E	A025C	Chorizo et produit similaire	s
E	A025D	Saucisse, linguiça (*saucisse portugaise*)	d
E	A025E	Cabanos (*saucisse fine polonaise*)	d
E	A025F	Kolbasz affiné (*saucisse hongroise*)	d
C	A025H	Produits de charcuterie maturés destinés à être cuisinés	d

Le Nutri-Score est le score nutritionnel de référence en France, apposé sur les étiquettes des produits emballés. Dès 2003, l'OMS et la FAO préconisaient d'apposer des logos nutritionnels sur les produits alimentaires afin d'orienter les consommateurs. S'inscrivant dans le cadre de la loi de modernisation du système de santé et de la loi Egalim, le Nutri-Score a été choisi comme le logo nutritionnel de référence en France, fin 2017. Ce score synthétise les bénéfices-risques des propriétés nutritionnelles des aliments transformés par un système de cinq couleurs associées à cinq lettres allant de A (vert), le meilleur score, à E (rouge), le plus mauvais[59]. Le calcul s'appuie sur les teneurs en nutriments favorables ou défavorables à la santé. Après avoir rencontré l'opposition de certains industriels, il est en train de s'étendre (200 marques l'affichent sur leurs produits fin 2019), y compris à l'international. Certaines entreprises et enseignes de distribution semblent même l'intégrer comme levier d'incitation pour améliorer la qualité de leur offre alimentaire.

La classification Nova met en exergue « l'ultra-transformation » d'une majorité de produits alimentaires. Proposée par une équipe de nutritionnistes brésiliens[60], Nova a pour objectif de devenir un outil de politique nutritionnelle en pointant les écarts de qualité entre d'une part les produits bruts (classe 1), les ingrédients culinaires (sel, huile, sucre : classe 2), les aliments qui associent des produits de la classe 1 et les ingrédients de la classe 2 pour former la classe 3 et, d'autre part, les produits et boissons qualifiés d'ultra-transformés. On trouve dans cette classe 4 les plats préparés, les produits à base de viande reconstituée et globalement tous les produits dérivés des classes 1, 2, 3 ayant subi des traitements et des reformulations, dont l'ajout d'additifs (colorants, exhausteurs de goût, émulsifiants, édulcorants, épaississants). Les aliments classés en 4 sont réprouvés parce qu'ils contribuent aux pathologies alimentaires (diabète de type 2, obésité, MCV…). La FAO a relayé l'intérêt de la classification Nova en 2019. Le Brésil et le Canada l'utilisent. En France, les nouvelles recommandations du PNNS indiquent de limiter la consommation d'aliments ultra-transformés[61]. La classification Nova est facile d'accès pour les consommateurs. Elle reste toutefois assez empirique et peu discriminante, la classe 4 des produits ultra-transformés englobant la grande majorité des aliments actuellement consommés. Elle est controversée : certains nutritionnistes lui reprochent, par exemple, de traiter tous les additifs de la même manière, indépendamment de leurs effets et la communauté des sciences des aliments de ne pas dissocier les effets de la transformation de ceux de la formulation des produits. Au

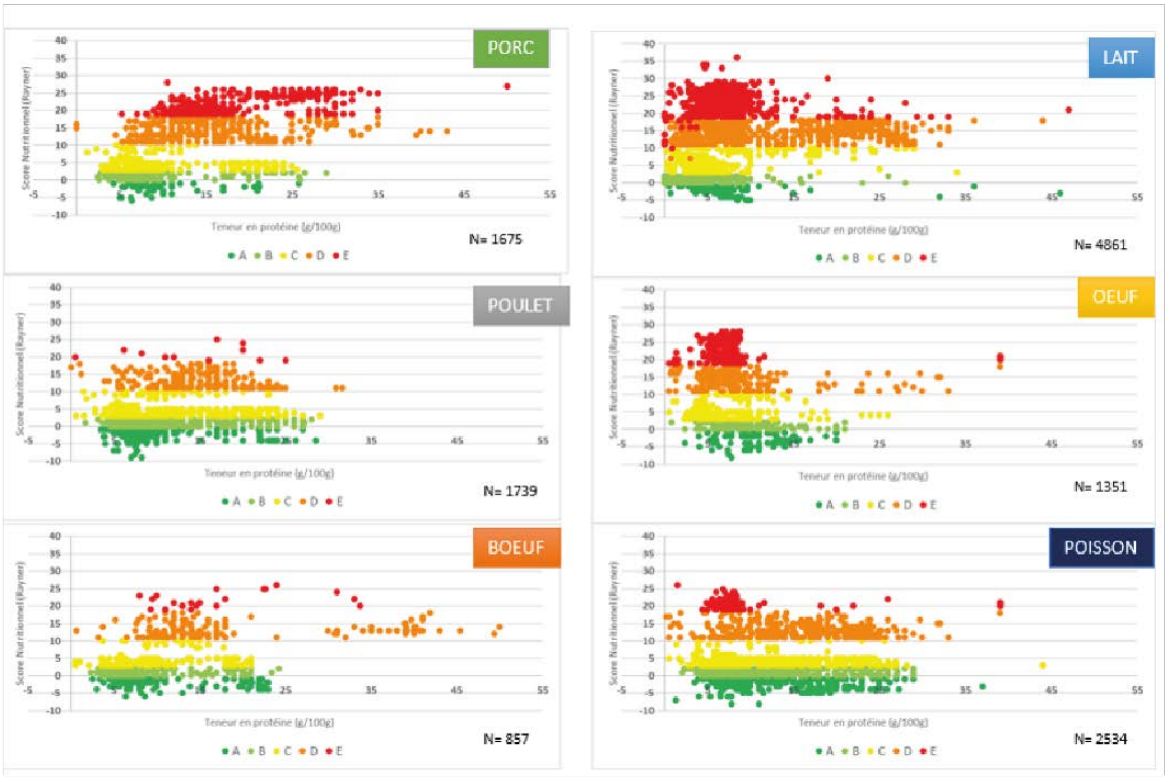
qualificatif « ultra-transformation », les technologues préfèreraient celui d'« ultra-formulation » des produits, plus en accord avec la définition des différentes classes utilisées dans Nova.

Les classifications actuelles ne rendant en effet pas bien compte des procédés technologiques, des travaux cherchent à caractériser le degré de transformation des aliments et à calculer un indice de « processing ». Un travail pionnier a été conduit sur des pizzas fraîches et surgelées présentes sur le marché français, à partir du diagramme des opérations unitaires réalisées. Ce travail a mis à jour un résultat contre-intuitif : pour un même type de pizza, les pizzas fraîches (rayon traiteur) sont plus transformées et comportent un plus grand nombre d'additifs que les pizzas surgelées. L'indice de *processing* varie également entre les types de pizzas (jambon-fromage, fromage, charcuterie, Margarita…). Il apparaît fortement corrélé au Nutri-Score (plus l'indice de *processing* est élevé, moins bon est le Nutri-Score), mais faiblement à la classification Nova.

4.1.2 Analyse exploratoire sur l'offre française d'aliments à base de produits animaux

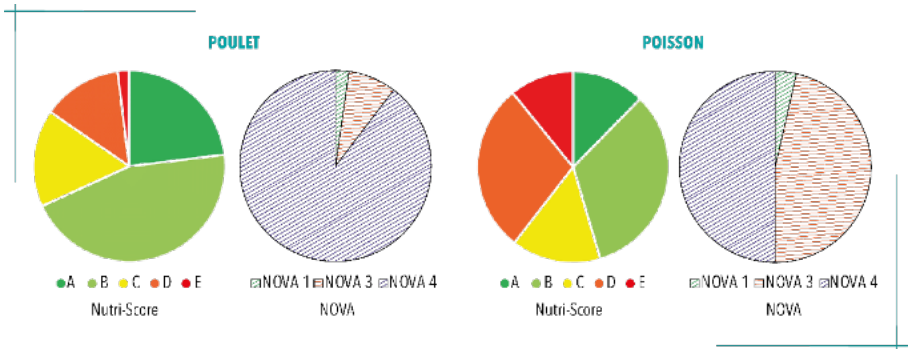
L'Observatoire de la qualité des aliments en France (Oqali) montre que plus de la moitié des produits transformés mentionnant le Nutri-Score sont des aliments à base de produits animaux (55 %). Une étude exploratoire réalisée dans le cadre de l'expertise, à partir de l'extraction des données de la base *Open Food Facts*, apporte quelques indications sur le positionnement de ces aliments à par rapport aux classements Nutri-Score (Figure 4.1) et Nova (Figures 4.2 et 4.3). Cette extraction porte sur quelques 35 000 produits, dont environ 4 500 contiennent du porc, 6 800 du poulet, 2 500 du bœuf, 14 700 du lait, 4 200 des œufs et 8 000 du poisson (dont pêche). Ces chiffres donnent des ordres de grandeur de la diversité de l'offre des aliments commercialisés, à partir des différents produits bruts. Ces aliments sont très différents : par exemple, ceux à base de porc incluent le jambon cuit, les allumettes de lard allégées et fumées, et aussi le riz cantonais. Parmi les produits contenant du lait, on trouve tous les fromages et desserts lactés, et aussi les pains au lait. Aucun seuil minimal de teneur en produits animaux n'a été appliqué pour réaliser l'extraction des données. La Figure 4.1 montre que les produits se répartissent entre les 5 scores du Nutri-Score, quelle que soit leur teneur en protéines (on obtient le même résultat pour la densité calorique), illustrant la grande diversité des produits.

Figure 4.1 Comparaison de la répartition des aliments industriels à base de produits animaux selon leur Nutri-Score et leur teneur en protéines. Données extraites de la base Open Food facts (mai 2020) – extraction des aliments dont le nom ou la catégorie contient les mots porc, poulet, bœuf, lait, œuf, poisson. Suppression des produits à information incomplète. L'axe des Y est une échelle continue qui va de -15 à +40 et correspond au score de Rayner à partir duquel est déterminé le Nutri-Score.



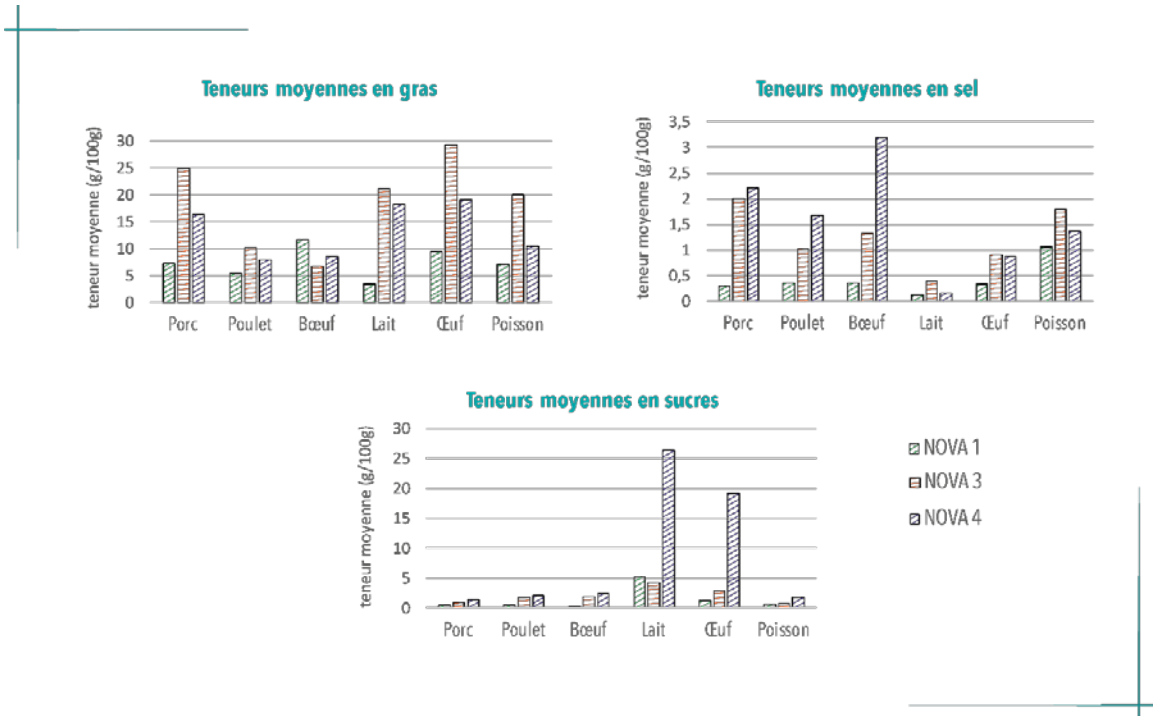
La Figure 4.2 montre que la majorité des aliments commercialisés emballés (ayant une étiquette) à base de poulet sont classés par le Nutri-Score en score A ou B, c'est-à-dire favorables à la santé. Pourtant une très grande majorité de ces mêmes aliments sont classés dans les produits ultra-transformés de la classe « Nova 4 », c'est-à-dire qu'il est recommandé d'en limiter la consommation. Cette contradiction qui s'explique par les critères différents privilégiés dans les deux classements, apporte de la confusion aux recommandations à adresser aux consommateurs. Les classements des produits alimentaires à base de poisson (y compris pêche) sont en revanche proches dans les deux cas : environ la moitié des produits appartiennent à des classes favorables à la santé et l'autre moitié, aux scores C, D et E ou Nova 4.

Figure 4.2 Comparaison de la répartition des produits à base de poulet et de poisson selon le Nutri-Score (A à E) et Nova (classes 1, 3 et 4). Données extraites de la base Open food facts (septembre 2019 pour Nova et mai 2020 pour Nutri-Score) – extraction des données contenant les mots « poulet » ou « poisson » dans le nom ou la catégorie du produit.



Enfin, il a paru intéressant d'analyser le positionnement des produits selon leur teneur en sel, gras et sucre, dont l'excès est défavorable à la santé (Figure 4.3). Les produits classés Nova 3 et Nova 4 à base de porc, lait, œuf ou poisson sont plus gras que les produits classés Nova 1. Cette différence n'est en revanche pas significative pour les produits à base de poulet ou de bœuf. Les teneurs moyennes en sel des produits à base de porc (charcuterie) et de bœuf classés Nova 3 et Nova 4 sont très élevées : jusqu'à un tiers des apports maximaux recommandés pour une portion de 100 g. Les teneurs élevées en sucre concernent surtout les aliments classés Nova 4 contenant du lait et des œufs (viennoiserie, desserts…). On observe aussi que, bien que faibles dans les produits à base de poulet, de porc, de bœuf ou de poisson, les teneurs en sucre sont également systématiquement plus élevées pour les produits de la classe Nova 4 : le sucre est alors utilisé comme exhausteur de goût.

Figure 4.3 Comparaison des teneurs moyennes en sel, gras et sucre des aliments industriels à base de produits animaux. Données extraites de la base Open food facts (septembre, 2019) – extraction des données contenant « porc », « poulet », « bœuf », « lait », « œuf », « poisson » dans le nom ou la catégorie du produit.



Encadré 3. Les principaux procédés de transformation

Pour les viandes et chairs de poisson, les principales opérations sont traditionnelles :

Le salage est un mode de conservation. Il limite la croissance des micro-organismes. C'est aussi un exhausteur de goût. Cependant l'ajout excessif de sels, et de nitrite qui lui sont souvent associés, dans les produits à base de viande est défavorable à la santé humaine.

La fermentation est un mode de conservation généralement suivi d'un séchage et d'un affinage. Elle bénéficie d'une bonne image. Les propriétés sanitaires des produits fermentés sont généralement améliorées et les propriétés organoleptiques diversifiées.

Le fumage produit un effet antimicrobien et apporte des propriétés organoleptiques particulières. Il peut être réalisé à chaud ou à froid. Le fumage est généralement pratiqué par la combustion de bois, mais d'autres technologies font appel à l'électrostatique ou la chimie (fumée liquide). Le fumage est critiqué à cause de la formation de composés néoformés délétères pour la santé humaine.

Le séchage (ou affinage dans le cas du jambon sec) suit le plus souvent un salage au sel sec, souvent additionné de nitrite et parfois de nitrate, ou un fumage. Le séchage allonge la durée de conservation, réduit le risque de développement des pathogènes. Des études visent à réduire les durées de séchage, tout en préservant les qualités du produit.

La cuisson confère de nouvelles flaveurs au produit et inactive la plupart des micro-organismes. De manière générale, elle diminue la teneur en eau, ce qui concentre les protéines. L'évolution de la teneur en lipides dépend du mode de cuisson.

Les deux traitements ci-dessous ne sont pas nécessairement considérés comme des opérations de transformation :

La réfrigération, la congélation ou la surgélation ne sont pas considérées comme des opérations de transformation dans le Droit européen[62] relatif à l'hygiène des denrées alimentaires d'origine animale. Ces traitements peuvent néanmoins dégrader la couleur et la texture des produits. Les ruptures dans la chaîne du froid excluent tout usage alimentaire en raison du risque microbiologique.

La fragmentation ou le hachage sont considérés comme une transformation dans les sciences alimentaires, mais pas en nutrition, ni dans les études épidémiologiques. La viande hachée fraîche y figure parmi les viandes brutes. Le hachage améliore les propriétés organoleptiques et la biodisponibilité des nutriments, mais augmente le risque microbien, ce qui limite la durée de conservation.

Pour le lait, l'itinéraire et la combinaison des opérations conditionnent le type de produit fini :

L'écrémage est manuel ou mécanique et permet d'obtenir la crème et le beurre.

L'homogénéisation réduit la taille des globules gras afin de les répartir dans la phase aqueuse.

La standardisation modifie la composition du lait afin de garantir des teneurs en matières grasses et protéiques constantes.

La filtration sépare les composants du lait microbiens, protéiques, minéraux…

Les traitements thermiques (thermisation, pasteurisation, stérilisation) améliorent les propriétés sanitaires et d'usage, mais modifient les propriétés organoleptiques et technologiques du lait.

Le séchage et la déshydratation transforment le lait (ou ses constituants) en poudre, favorisant ainsi leur conservation, stockage et transport. À l'échelle industrielle, la déshydratation est réalisée par atomisation : le lait est vaporisé en gouttelettes dans une enceinte chauffée et récupéré sous forme de paillettes.

La fermentation peut être lactique ou propionique, sous l'action d'enzymes microbiennes, et permet la production de yaourts, fromage blanc et fromages.

L'affinage est l'étape de production fromagère qui permet le développement de la flore microbienne dans le fromage et les réactions lipolytiques et protéolytiques associées. Pendant l'affinage du fromage, des acides gras sont libérés, ainsi que des peptides solubles et des acides aminés ; ces composés sont soit des précurseurs d'arôme, soit des arômes.

Le « cracking » ou la fragmentation » consiste à décomposer le lait en ingrédients, notamment protéiques. Les procédés reposent sur divers modes de filtration (ultrafiltration, microfiltration, diafiltration, nanofiltration...), la chimie (hydrolyse, cristallisation…), le séchage. Les propriétés fonctionnelles et nutritionnelles des fractions sont hautement valorisées. Les industriels du lait sont ainsi passés d'une transformation dite de première génération (poudre de lait) à des procédés plus techniques de 2e génération (produits issus du cracking) jusqu'à la 4e génération qui caractérise les ingrédients bio-fonctionnels.

Deux filières pour les ovoproduits

Selon leur destination d'utilisation, les ovoproduits sont divisés en deux catégories. Ceux de première transformation sont destinés aux industries agroalimentaires et correspondent à une préparation en tant qu'ingrédients (blancs et jaunes séparés, congelés, séchés en poudre…). Ceux de 2e transformation sont destinés aux consommateurs, généralement via la restauration hors domicile et correspondent à des aliments déjà élaborés (œufs durs, pochés, omelettes…).

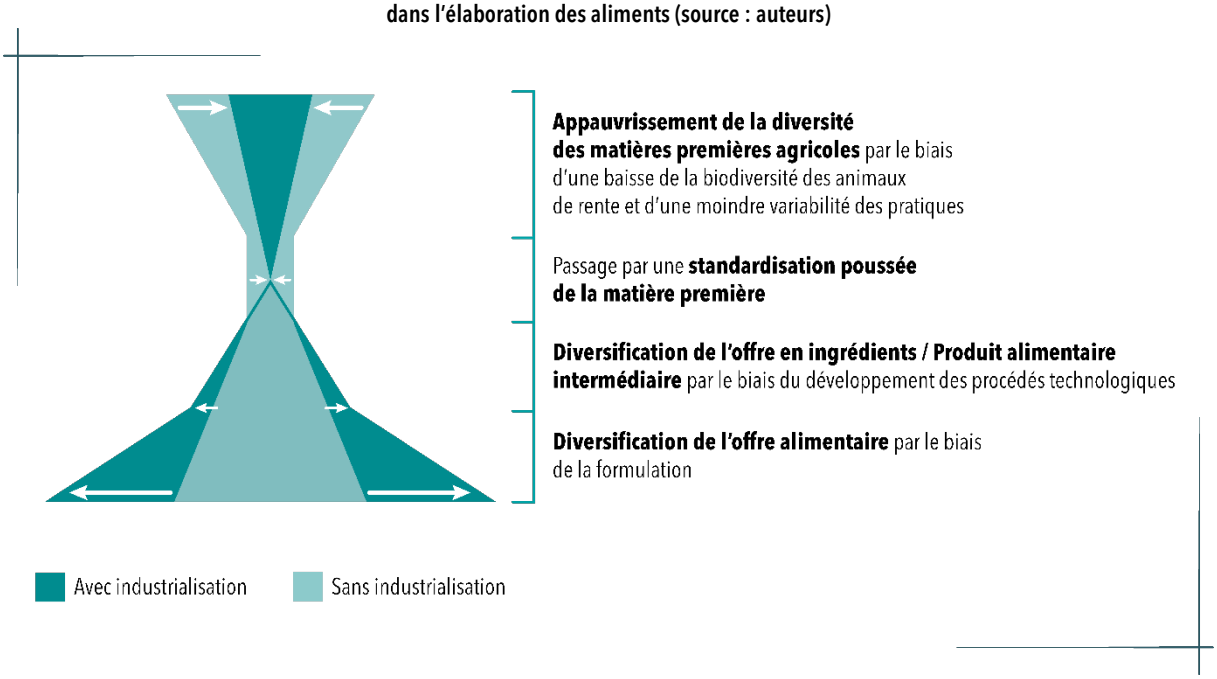
4.2. Opérations majeures où se modifie la qualité pendant la phase de transformation

Si toutes les opérations de transformation modifient une ou plusieurs propriétés des produits, nous nous attacherons ici à celles qui, aujourd'hui, posent question du fait de leur impact sur ces propriétés. Au vu de la diversité des produits, nous illustrerons le propos par un ou plusieurs produits. Les principales opérations de transformation des produits animaux peuvent être considérées comme traditionnelles (voir encadré 3). Les principes sont inchangés. En revanche, les technologies industrielles ont permis des changements d'échelle et des innovations dans le fractionnement et l'assemblage des matières premières.

4.2.1 Adaptation de la matière première à la transformation

Avec l'industrialisation, il est en effet devenu plus facile pour les transformateurs d'assembler des fractions de matières premières dont les compositions sont contrôlées, plutôt que d'adapter leurs procédés à la variabilité des produits agricoles. La Figure 4.4 schématise cette évolution. Le resserrement de la diversité des matières premières agricoles a été obtenu par la standardisation des pratiques et la faible diversité génétique au sein des populations d'animaux d'élevage. L'industrialisation conduit à entretenir un flux continu d'approvisionnement en produits, poussant en amont l'élevage à s'affranchir autant que possible des contraintes des saisons et des rythmes naturels de la reproduction des animaux. Sur le schéma, le goulot rend compte de la tendance à cette standardisation des matières premières. Puis l'offre s'élargit sous l'impulsion de l'industrie de la transformation dont les opérateurs se sont spécialisés sur deux étapes successives : le fractionnement de la matière première agricole d'une part et la formulation d'aliments à partir de ces ingrédients. Entre les deux, le fractionnement de la matière première permet d'obtenir des ingrédients intermédiaires, les Produits alimentaires intermédiaires (PAI), dont l'assemblage donnera les formulations variées de produits finaux. L'association entre des technologies industrielles et la grande taille des unités de transformation permet des économies d'échelle[63]. Les PAI ont entériné la bifurcation des procédés de transformation alimentaires entre les transformations artisanales et industrielles.

Figure 4.4 Évolution de la variabilité de la matière première et transformée avec l'industrialisation dans l'élaboration des aliments (source : auteurs)



En contrepoint de ce "sablier", l'adaptation des procédés de transformation à la matière première devient l'apanage des petites échelles de transformation : les transformations artisanales et fermières.

L'intérêt de la variabilité de la qualité des produits animaux bruts est rediscutée. L'uniformité est devenue un argument de conformité des produits, alors que leur variabilité est associée à des difficultés. Les rôles respectifs des consommateurs, de l'industrie, des distributeurs dans cette recherche de produits uniformes et constants ne sont pas clairs. La littérature scientifique s'est peu saisie de cette question et notamment des conséquences, pour la transformation, d'une plus grande variabilité des propriétés : est-ce que la variabilité oriente vers des échelles industrielles moins grandes ou différentes ?

Les produits issus de l'agriculture biologique présentent une matière première généralement plus variable que celle des produits issus des systèmes d'élevage conventionnels. Cela peut s'expliquer par la diversité des pratiques permises au sein du cahier des charges, par une plus forte utilisation des ressources locales, par une exposition plus forte aux aléas climatiques du fait du plein air ainsi qu'un recours limité aux intrants (alimentaires et médicamenteux) et, dans certaines filières, par la moindre sélection des animaux. En conséquence, les animaux expriment davantage leur individualité, et les ressources alimentaires reflètent davantage la diversité des conditions locales et saisonnières de chaque élevage, voire de chaque lot d'animaux. Le goulot d'étranglement qui symbolise la standardisation de la matière première est beaucoup moins prononcé.

D'autres SIQO, au contraire, réduisent la variabilité de la matière première en effectuant un tri sur les animaux, sur les carcasses et sur les viandes éligibles à la labellisation, comme le SIQO Label Rouge gros bovins de boucherie par exemple.

4.2.2 Effets des traitements thermiques

Les effets de la cuisson sur les propriétés des produits animaux sont contrastés. Elle joue un rôle primordial dans la maîtrise des dangers microbiologiques, modifie les propriétés organoleptiques (texture, couleur…) et peut dégrader les propriétés nutritionnelles si la cuisson est excessive.

La cuisson améliore généralement la digestibilité des protéines et, par voie de conséquence, leur utilisation par l'organisme. La cuisson des œufs double presque la digestibilité des protéines (de 50 à 90 %). Pour le lait, les traitements industriels (pasteurisation, UHT, séchage par atomisation) semblent préserver globalement le niveau élevé de la digestibilité des protéines laitières. Pour la viande, l'effet semble suivre une évolution « en cloche » en fonction de la température : la vitesse de digestion la plus élevée (favorable à la santé) étant observée pour une température de cuisson de l'ordre de 70-75°C à cœur[64]. Cette évolution pourrait s'expliquer par une dénaturation progressive des protéines jusqu'à 75°C, suivie de leur oxydation et de la formation d'agrégats.

Des pertes importantes en nutriments solubles peuvent intervenir lors de la cuisson. Les vitamines thermosensibles B12, B3 et B6 et une partie des oligoéléments d'intérêt (fer, zinc, sélénium) peuvent notamment être expulsées dans le jus des viandes.

Les hautes températures dénaturent les protéines. À une température supérieure à 90-100°C, l'oxydation des acides aminés basiques, soufrés et aromatiques conduit à une perte de solubilité des protéines, à leur précipitation et parfois à la formation d'agrégats ainsi qu'à la formation de composés néoformés délétères à la santé (AHA, HA ; voir section 2.2.3).

En France, la quasi-totalité du lait est bu sous forme de lait UHT. Ce traitement consiste à chauffer le lait à plus de 135°C pendant 1 à 9 secondes puis à le refroidir rapidement. Cela détruit l'ensemble des micro-organismes présents et inactive en grande partie les enzymes, ce qui permet de conserver le lait jusqu'à 9 mois à température ambiante, alors que le lait pasteurisé ne se conserve qu'une quinzaine de jours. Le traitement UHT et le stockage de longue durée modifient le goût du lait qui acquiert des notes de caramel. Cette flaveur provient de composés volatils issus de la dénaturation de la béta-lactoglobuline, des réactions de Maillard ainsi que de l'oxydation des acides gras. Le conditionnement en brique (Tetra Brick ou Tetra Pak) met, de plus, le lait en contact avec une feuille de polyéthylène qui interagit avec certains composés volatils du lait (composés néoformés).

Les acides gras étant exposés sur très peu de temps à une haute température, la composition des matières grasses du lait UHT est peu altérée. En revanche, l'homogénéisation des matières grasses préalable au traitement UHT divise la taille des globules gras par 10 et multiplie leur nombre par 1 000 ou plus. Cette modification de la structure des globules gras accélèrerait possiblement leur digestion ce qui serait potentiellement bénéfique à la santé (sans que cela n'ait été démontré chez les humains). Le traitement UHT dénature de 40 à 80 % des protéines, selon le type de traitement UHT (les traitements par injection directe de vapeur dans le lait étant les moins dénaturants). L'impact de cette dénaturation sur la digestion reste incertain : de nombreuses études *in vitro* montrent que les caséines résistent plus à la digestion lorsqu'elles sont chauffées[65], mais une étude clinique chez les humains conclut, au contraire, à une accélération de la digestion et de l'absorption des protéines[66]. Enfin, le traitement UHT modifie peu la teneur en vitamines sauf les vitamines thermosensibles B1, B12, B6 et B9. La perte de vitamines (C notamment) est davantage imputable à l'oxydation qu'à l'effet du chauffage.

Les procédés de cuisson des viandes les plus utilisés à travers le monde sont des cuissons intenses : grillade, rôtissage, friture. Elles sont plébiscitées parce qu'ils apportent du goût, du croustillant. Au barbecue, la température de la surface au contact de la viande dépasse souvent 260°C ; dans une friture la température varie entre 175°C et 190°C. Les composés néoformés se trouvent principalement en surface du produit, dans la croûte. En revanche, comparée à une viande saignante, une viande « bien cuite » réduit les risques de contaminations microbiologiques. À notre connaissance, une seule revue de la littérature[67] (Tableau 4.2,) a comparé les modes de cuisson des viandes et poissons. Cuisiner les viandes avec des huiles

végétales (olive, tournesol) peut diminuer la proportion des acides gras saturés dans l'aliment en faveur des acides gras insaturés. Par exemple, un aliment précuit dans de l'huile d'olive et réchauffé au four aboutit à un ratio AGPI n-6/n-3 en accord avec les recommandations nutritionnelles. Par ailleurs, la cuisson peut entraîner des pertes en AGPI n-3 des produits préalablement enrichis en AGPI n-3, de l'ordre de 10% à 15%[68].

Tableau 4.2 Évaluation qualitative globale de l'impact des différentes méthodes de cuisson domestique sur la teneur en nutriments et contaminants dans la viande et la chair de poisson. Source : Sobral *et al.* 2018[81]

Type de cuisson	Nutriments				Contaminants		
	Acides aminés	Acides gras	Vitamines	Minéraux	Antibiotiques	Pesticides	Néoformés
Au four		=	= ou -	+	-	-	+
Barbecue							++
Bouillie	= ou -	+	- ou --	-	-	-	=
Frite	-	++	+ ou = ou -	-	-	--	+
Grillée	+ ou -	+	+ ou = ou -	+	+		++
Micro-onde	+ ou -	+	= ou -	+	+ ou --	-	=
Pochée			-				
Rôtie	= ou -		= ou -		+ ou -		
Fumée	+ ou -					+ ou-	++
Sous-vide	-	+					-
A la vapeur			-		-		-
Légende : Pour tous les composés, à l'exception des acides gras: réduction (-), augmentation (+), forte réduction (--) et forte augmentation (++). Acides gras : impact élevé (+), un impact très élevé (++) ou pas d'impact (=).							

Les produits précuits industriels peuvent avoir été soumis à une cuisson longue à basse température pour optimiser leur tendreté et leur jutosité. Ce type de cuisson, le plus souvent est appliqué sous vide. La maîtrise de l'hygiène microbiologique est importante ; la contamination des viandes bovines ainsi cuites est par exemple relativement limitée en profondeur, mais en revanche potentiellement plus importante en surface.

Plusieurs travaux évaluent la possibilité de limiter la formation des composés néoformés dans les viandes. Les antioxydants naturels contenus dans les épices et les herbes inhibent la formation d'amines hétérocycliques dans les viandes cuites. Des travaux ont démontré une réduction significative de la teneur en AHA dans la viande frite de bœuf lorsqu'elle est consommée avec une marinade d'huile avec de l'ail, de l'oignon et du jus de citron, ou mieux un mélange curcuma-citronnelle. Si ces études ont mesuré l'impact des marinades sur la formation des composés néoformés dans la viande, elles n'ont cependant pas évalué les conséquences en termes de bénéfices-risques pour la santé.

Des procédés alternatifs aux traitements thermiques existent ou sont à l'étude. Les traitements à hautes pressions (HPP) offrent une solution alternative en permettant de stériliser des aliments faiblement acides, à des températures modérées, sans induire d'effets de la cuisson. L'aliment à traiter est emballé sous vide, soumis à des hautes pressions grâce à de l'eau pressurisée qui remplace l'air autour du produit. L'utilisation des HPP en alimentaire rentre dans la réglementation « Novel Food »[r] (nouvel aliment), c'est-à-dire que l'Anses doit en évaluer l'innocuité. Cette technique concerne surtout les viandes transformées. En France, elle a été autorisée pour des magrets de canard séchés et fumés, de la viande de volaille marinée, du jambon de porc et des plats cuisinés à base de chair de poisson. L'effet des hautes pressions sur la qualité des produits dépend du niveau de pression appliqué. Une pression supérieure à 400 MPa est généralement nécessaire pour inactiver les microorganismes. Une des limites de cette technique tient au recours indispensable aux emballages plastiques souples qui transmettent les pressions appliquées. D'autres innovations comme l'utilisation d'ultrasons, de champs électriques pulsés, d'ondes de choc hydrodynamique ont également été développées pour détruire tout ou partie de la flore bactérienne. Ces

[r] Union Européenne, 2015. Règlement (UE) 2015/2283 du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2015 relatif aux nouveaux aliments, modifiant le règlement (UE) n°1169/2011 du Parlement européen et du Conseil et abrogeant le règlement (CE) n°258/97 du Parlement européen et du Conseil et le règlement (CE) n°1852/2001 de la Commission (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE). *JOUE* L 327 du 11.12.2015, p. 1-22.

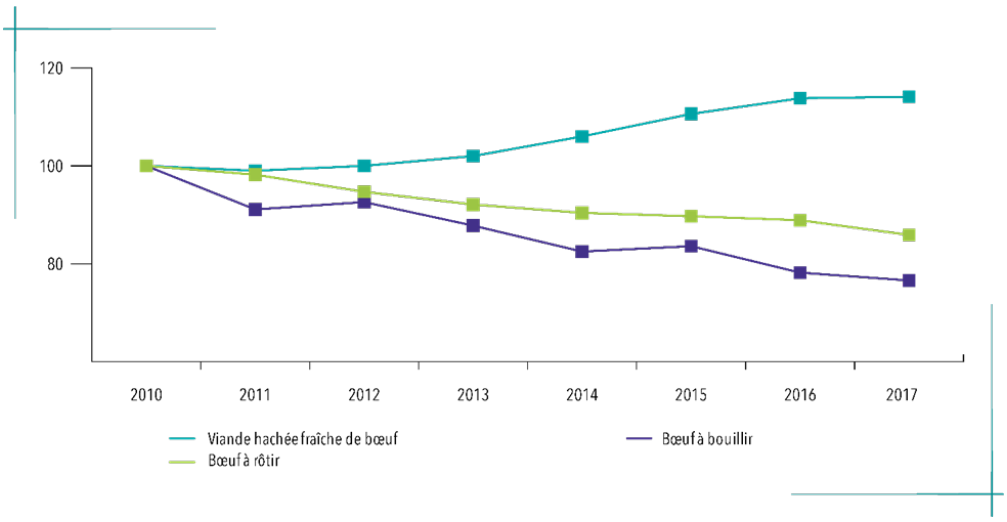
technologies sont aujourd'hui explorées pour leurs effets sur les propriétés organoleptiques de l'aliment, notamment l'amélioration de la tendreté de la viande.

4.2.3 Hachage de la viande

Le steak haché a permis de régler le débouché de viandes plus difficiles à valoriser comme les quartiers avant (poitrine, collier, pièces à pot au feu, à braiser), les carcasses mal conformées et les animaux « âgés ». Hacher et mélanger les viandes permet de « rattraper » certains défauts (viande dure ou flaveur trop forte) et d'utiliser plus de morceaux et tissus. Dans la filière viande bovine, le hachage est devenu un débouché en soi, et même le segment le plus dynamique du marché. On observe maintenant une segmentation de la viande hachée, avec à côté des steaks hachés de qualité intermédiaire, un premium issu majoritairement de morceaux nobles.

Le steak haché de bœuf représente dorénavant près de la moitié de la consommation de viande bovine (40 à 45 %) des ménages français et un tiers de l'utilisation des carcasses. Sa consommation profite du développement de la restauration hors foyer, en particulier des fast-foods et cafétérias : 12 % des steaks hachés y sont consommés. Le steak haché concourt à la consommation de viande par les enfants, lesquels le plébiscitent (aliment préféré par près de 60 % d'entre eux). Son image positive auprès de plus de 80 % des Français s'appuie sur sa praticité, ses caractéristiques nutritionnelles et ses bons rapports qualité-prix et qualité-temps. Quelques 40 % des ménages en mangent toutes les semaines.

Figure 4-5 La consommation de viande bovine hachée progresse au détriment des viandes brutes - base 100 en 2010)
Source : achats déclarés par les ménages, FranceAgriMer / INSEE



La gamme des viandes hachées s'est élargie dans les années 2000 avec l'incorporation de protéines végétales, l'augmentation de la teneur en matières grasses et la certification d'une qualité premium. Les steaks hachés « pur bœuf » sont constitués de muscles avec leurs tissus graisseux et conjonctifs, et de chutes de découpe de muscles entiers (> 99 % ; règlement CE n°853/2004)[76]. Ils contiennent entre 5 % (sans ajout) et 20 % de matière grasse. L'intensité de la flaveur, la jutosité et la tendreté du steak haché augmentent avec le taux de matière grasse. Les autres préparations de viande hachée peuvent contenir jusqu'à 30 % du poids du produit en protéines végétales en France (aucune indication dans le règlement européen). Divers ingrédients peuvent remplacer les protéines animales (carraghénanes, fibres, son, isolats de soja, ajout d'eau et de phosphates, substituts de graisses, protéines de lait, œufs, ou végétaux, hydrocolloïdes ou amidon…). Le conditionnement peut être identique à celui du steak haché, mais l'aliment ne peut prétendre à cette appellation.

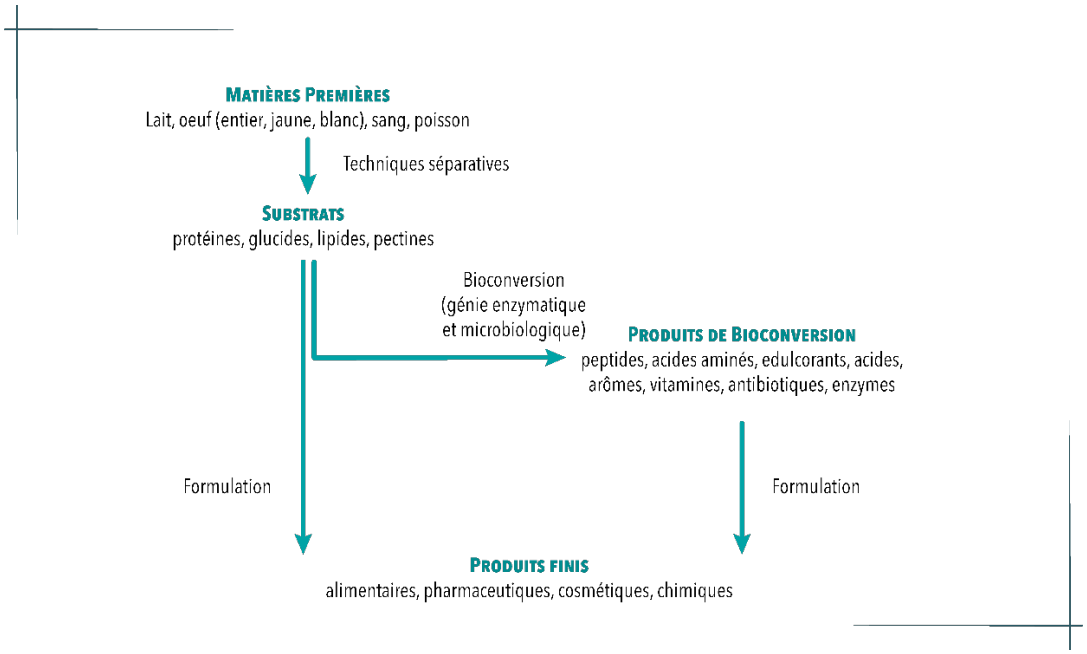
Dans la filière ovine, les saucisses et steak haché (burger) permettent également de valoriser la viande de moindre valeur commerciale, mais l'offre est encore restreinte. Les problèmes de flaveur, que l'on rencontre notamment dans la viande issue d'agneaux d'herbe âgés, sont atténués dans la fabrication des saucisses par l'ajout de sucres (glucose, sucrose, xylose). L'utilisation de plantes aromatiques ou d'épices lors de la fabrication masque également les flaveurs intenses de « mouton ». Les acteurs de la recherche-développement étudient la faisabilité de ces stratégies pour capter des consommateurs peu habitués à consommer de la viande ovine et qui sont, de ce fait, plus sensibles à sa flaveur spécifique.

4.2.4 Fractionnement de la matière première

Les entreprises spécialisées dans l'extraction d'ingrédients à partir de la matière première agricole fabriquent des Produits alimentaires intermédiaires ou « PAI ». Les transformateurs de 2e génération ont recours à cette multitude de PAI, dont les propriétés technologiques et/ou nutritionnelles sont modifiées, concentrées, « améliorées » et surtout standardisées.

Le fractionnement des matières premières ou « cracking » offre aux industries agroalimentaires des lipides, protéines, glucides, molécules… ayant des fonctionnalités spécifiques (Figure 4.6). L'assemblage des ingrédients peut aboutir à des aliments ou passer par une bioconversion qui donnera de nouveaux composés intermédiaires. Les PAI issus des produits animaux sont très nombreux. Ils sont essentiellement issus du lait ou des œufs.

Figure 4.6 Fractionner les matières premières pour standardiser les procédés
Schéma inspiré d'une présentation orale de L. G. Soler (2019).



Les ovoproduits sont le débouché d'environ 40 % de la production française d'œufs. Ces œufs sont de catégorie B (par opposition aux œufs frais, destinés aux consommateurs et dits de catégorie A). Ils fournissent des ingrédients aux industriels et artisans des métiers de bouche ou des œufs durs, produits cuits ou prémix prêts à l'emploi à la restauration collective. Les ovoproduits ont pour intérêt de combiner les propriétés de l'œuf et la praticité de produits pré-formulés, conditionnés sous un format liquide, congelé ou poudre. Les ovoproduits sont souvent pasteurisés afin de limiter les risques biologiques (*Salmonella*), surtout lorsque l'œuf est incorporé dans des préparations crues. La déshydratation lève plusieurs contraintes économiques en facilitant la régulation des marchés (en cas de surproduction ponctuelle par exemple) et en abaissant les coûts de transport et de stockage. Les poudres de blanc d'œufs font ainsi l'objet d'intenses échanges internationaux. Les poudres et solutions liquides diffèrent dans leur composition et propriétés : la teneur en protéines des poudres d'œufs entiers dépasse ainsi 40 %, 60 % dans le jaune et voisine 80 % pour la poudre de blanc d'œuf.

Les propriétés technologiques des ovoproduits sont largement utilisées en cuisine (Tableau 4.3). Le jaune d'œuf est surtout utilisé pour ses propriétés émulsifiantes liées à la lécithine et aux protéines qu'il contient, et pour ses propriétés colorantes. Le blanc a des pouvoirs foisonnant et gélifiant. De nombreuses études décrivent et expliquent les mécanismes physicochimiques en jeu dans ces propriétés, mais peu portent sur leurs impacts dans les aliments composites. L'ajout de sel ou de sucre dans les prémix protègent la couleur et les arômes du jaune d'œuf au cours de la cuisson, ainsi que ses propriétés émulsifiantes. Des teneurs élevées allongent la durée de conservation et augmentent les propriétés moussantes, au détriment des propriétés nutritionnelles de l'aliment final. Gommes et texturants sont aussi souvent ajoutés. Quelques trajectoires de fabrication remontent jusqu'à l'alimentation des poules pondeuses afin d'influencer la composition de l'œuf et notamment la couleur du jaune pour la fabrication de pâtes aux œufs, par exemple.

Tableau 4.3 Propriétés techno-fonctionnelles et principales applications alimentaires des ovoproduits

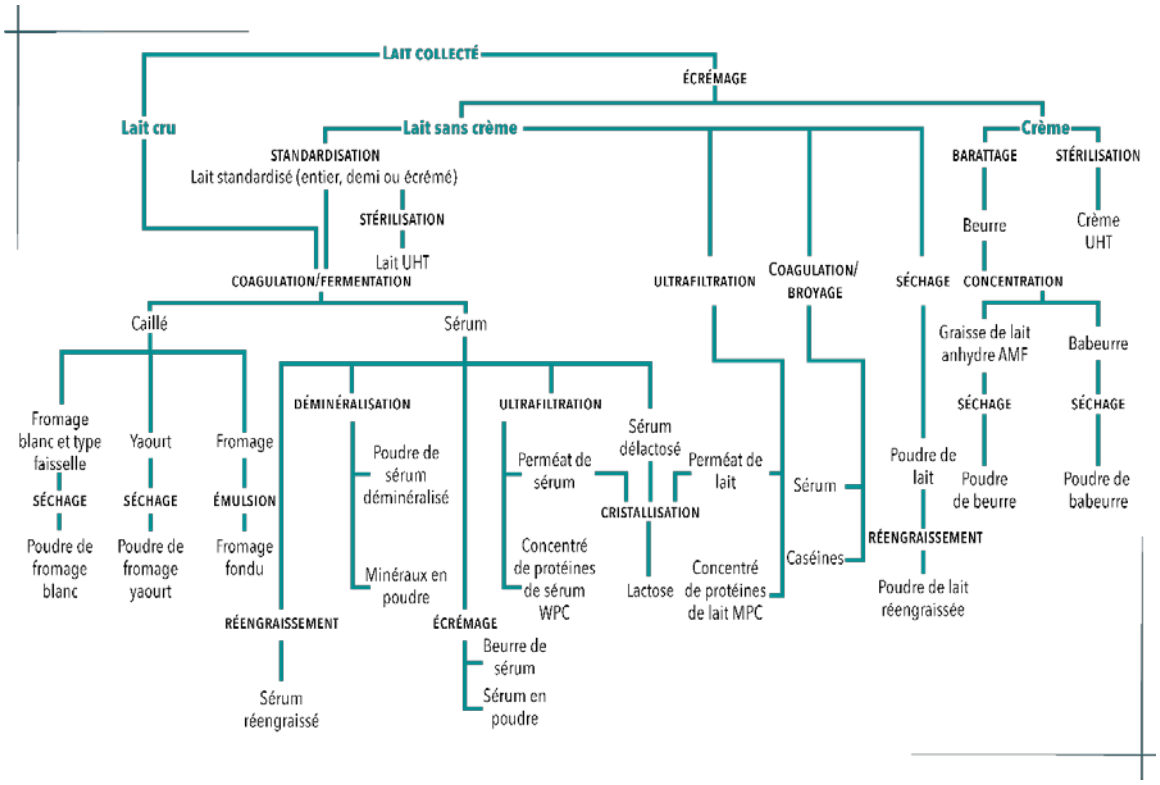
	Œuf entier	Jaune d'œuf	Blanc d'œuf
Pâtisserie, biscuiterie	Foisonnant, gélifiant, liant, colorant	Émulsifiant, colorant	Foisonnant
Confiseries			Foisonnant
Glaces	Liant	Émulsifiant	
Plats cuisinés	Liant, émulsifiant, colorant		Gélifiant
Charcuteries, terrines de poisson	Liant, émulsifiant		Gélifiant
Pâtes alimentaires	Colorant, liant, élasticité		
Soufflés, quiches, tartes	Liant, émulsifiant, élasticité, colorant		
Sauces	Liant, émulsifiant, colorant	Émulsifiant, épaississant	Épaississant

Enfin, certains ingrédients offrent une forte valeur ajoutée. C'est le cas de la lécithine et des immunoglobulines Y (usage vétérinaire) pour le jaune d'œuf et du lysozyme dans le blanc (conservateur naturel utilisé en alimentation et pharmacie). Il est aujourd'hui possible de fractionner « en cascade » les protéines du blanc d'œuf[69].

Les protéines du sang possèdent aussi de multiples propriétés technologiques culinaires : elles sont utilisées comme gélifiant, agent moussant ou liant pour la fabrication de produits prêts à consommer à base de viande. Les produits dérivés du sang, à haute valeur ajoutée, sont aussi utilisés en tant que compléments alimentaires. Ces produits sont généralement commercialisés en poudre. Le fractionnement s'intéresse aussi à d'autres coproduits comme le collagène (pouvoir structurant) ou de peptides issus de son hydrolyse ayant une activité anti-hypertensive, anti-cholestérol, antioxydante…

Le cracking du lait, quant-à-lui, représente environ 14 % du débouché du lait (Figure 4.7). Le cracking était au départ une technique de stabilisation des éléments en suspension dans le lait. Il offre désormais des débouchés avec de fortes valeurs ajoutées. De fait, alors que le cracking du lait correspondait à la valorisation de sous-produits, c'est dorénavant lui qui pourvoit des coproduits. Le cracking consiste en une succession d'opérations techniques, dont au moins une phase de déshydratation permettant de sélectionner et concentrer les différentes composantes du lait. Au fil des traitements, de nouvelles « générations » d'ingrédients apparaissent : la poudre de lait ou le lactosérum représentent la première génération, tandis que des ingrédients bio-fonctionnels comme les peptides appartiennent à la quatrième génération et répondent à des préoccupations de santé. La multifonctionnalité des ingrédients permet leur incorporation dans une large gamme de produits : plats préparés, diététiques, produits infantiles… Les fonctionnalités de ces fractions et molécules issues du cracking ne sont pas encore complètement comprises, ni les effets de leurs assemblages sur la santé.

Figure 4.7 Schéma des principales opérations unitaires sur le lait. Source : d'après un schéma paru dans L'économie laitière en chiffres, édition 2018. www.filiere-laitiere.com



4.2.5 Formulation des produits

La formulation des produits transformés et des plats préparés est actuellement fortement questionnée. Les nutritionnistes lui reprochent un rapport densité en nutriments sur densité calorique faible (notion de "calories vides") et de contenir beaucoup d'additifs, dont certains ont un effet délétère sur la santé (voir section 2.2.5). Si les produits animaux bruts sont riches en nutriments d'intérêt nutritionnel, ils contribuent à une large gamme de préparations culinaires dont le profil nutritionnel peut être nettement moins bon. Parmi les produits transformés contenant du lait et des œufs figurent par exemple les glaces et les pâtes à tartiner, sauces et viennoiseries qui sont très caloriques, mais peu denses en nutriments.

Certains produits élaborés de volailles illustrent la dégradation des propriétés nutritionnelles de la viande de volaille. Ils contiennent un grand nombre d'ingrédients et d'additifs[70] : l'eau, pour compenser les pertes en jus au cours de la cuisson, accroître la jutosité et réduire la teneur en lipides, des sels (chlorure de sodium, phosphates, nitrite, nitrate, sodium ascorbate et sodium erythorbate), des épices pour la flaveur, la couleur et leurs propriétés anti-oxydantes et antimicrobiennes, ainsi que des agents sucrants et brunissants, antioxydants, ferments, inhibiteurs de moisissures, acidifiants, enzymes, agents gélifiants et texturants...

Des substitutions végétales partielles sont fréquentes dans les aliments transformés d'origine animale. L'incorporation de protéines végétales dans les viandes transformées et produits laitiers n'a pas grand intérêt en termes nutritionnels, sauf l'apport conjoint de fibres. En revanche, elle est justifiée par les transformateurs et les consommateurs sur un plan éthique, environnemental et économique. Produire des végétaux plutôt que des produits animaux réduit les impacts climatiques et l'utilisation de ressources naturelles. La substitution permet de limiter le nombre d'animaux consommés et donc abattus. Les motivations sont aussi économiques, produire et consommer des végétaux revenant généralement moins cher. À titre d'exemple, les préparations de viandes hachées incorporant jusqu'à 50 % de protéines de soja apportent des protéines de bonne qualité, mais l'apport en minéraux et vitamines est réduit. Le bénéfice économique pour le transformateur est, lui, indéniable.

Il est démontré qu'on peut remplacer jusqu'à 50 % de la matière grasse animale dans certains aliments par des matières grasses végétales sans affecter sensiblement leurs propriétés organoleptiques. Des travaux récents ont porté sur du saucisson et du chorizo[71]. Ces substitutions peuvent être intéressantes si les huiles végétales sont favorables à la santé : noix, lin, colza, germe de blé par exemple. L'incorporation d'huiles de poissons ou de micro-algues accroît la proportion des acides gras insaturés au détriment des acides gras saturés, mais elle affecte négativement les propriétés organoleptiques et il faut donc ajouter des antioxydants. Parallèlement, de nombreuses études ont démontré l'intérêt d'ajouter des fibres, souvent d'origine végétale, dans les produits à teneur réduite en graisse afin de préserver les propriétés organoleptiques, sans altérer la sécurité microbiologique des produits.

4.2.6 Conditionnement et biopréservation

L'usage croissant des emballages a accompagné l'évolution des pratiques industrielles de transformation des produits et des modes de consommation. Les emballages allongent la durée de conservation en assurant une protection du produit contre les contaminations biologiques et de l'environnement. Les matières premières animales peuvent être emballées dès les premières phases de leur transformation et être reconditionnées plusieurs fois au cours de la transformation puis de la distribution et de nouveau chez les consommateurs.

Les matériaux d'emballage au contact des aliments sont une source potentielle de contamination chimique des aliments. Les risques de transfert des molécules de l'emballage au produit sont avérés. L'impact délétère sur la santé humaine de l'exposition à des perturbateurs endocriniens (bisphénols, phtalates…) issus des emballages fait évoluer la réglementation européenne. L'effet cocktail des substances potentiellement en interaction pourrait présenter un danger supérieur à l'exposition d'une seule molécule. Le recyclage des matériaux d'emballage peut augmenter les risques de contamination (ex : risque de présence de résidus dans les boîtes d'œufs cartonnées).

La R&D sur les emballages est très dynamique. Sans être spécifiques aux produits animaux, de nouveaux emballages sont développés, en se fondant sur des méthodes d'écoconception moins énergivores, employant des matériaux bio-sourcés ou « actifs » c'est-à-dire qui libèrent des substances produisant un effet antimicrobien ou antioxydant par exemple ou absorbant l'oxygène (Règlement CE n°1935/2004). Ces travaux sont particulièrement intéressants pour les produits animaux, du fait de leur caractère périssable et de leur sensibilité aux pathogènes.

La biopréservation est une technique récente prometteuse. Elle s'inspire des principes de préservation des produits fermentés : des micro-organismes (bactéries lactiques) sont appliqués sur un aliment de manière à inhiber le développement

d'autres flores qui dégraderaient la qualité du produit. La biopréservation ne modifie pas significativement les propriétés organoleptiques des matières premières. Les premiers projets de biopréservation ont été appliqués aux produits de la mer et datent d'une dizaine d'années. Viandes fraîches, cuites, et même le jambon sec, pourraient être ciblés. Les recherches sur la viande hachée, qui peut être contaminée à cœur et consommée peu cuite, illustrent l'enjeu de la biopréservation. Une étude a montré qu'elle réduisait le développement des salmonelles et d'*E. coli* entre autres, pour les aliments sous vide ou sous atmosphère protectrice[72]. De manière générale, la biopréservation peut être appliquée aux produits réfrigérés, à durée de vie courte et en complément des conditionnements sous vide ou sous atmosphère protectrice. Les méthodes de séquençage à haut débit, en identifiant les communautés bactériennes présentes dans les aliments, pourraient accroître son utilisation.

4.2.7 Dernières étapes de transformation au domicile

Très peu de travaux scientifiques analysent les pratiques des ménages en matière de préparation culinaire. Les risques sanitaires liés à la mauvaise conservation des aliments et la gestion inadéquate du réfrigérateur sont connus. En revanche, les pratiques de cuisson ou de réchauffage sont très peu étudiées. Nous avons identifié une seule synthèse dont les résultats ont été présentés dans le chapitre 2. La variabilité des pratiques individuelles et la diversité des équipements constituent une limite majeure à cette étude. L'impact de la baisse du temps consacré à la préparation des repas est souvent mis en avant. Une méta-analyse[73] (fondée sur 3 047 articles) souligne le poids du manque de confiance des personnes qui cuisinent dans leurs compétences culinaires.

4.2.8 Pertes et gaspillages

À l'issue de l'examen des étapes tout au long de la chaîne d'élaboration des aliments d'origine animale, la question des pertes et gaspillages se pose. Ces derniers interpellent à la fois la valeur de l'alimentation, l'éthique, la durabilité, la sobriété et la pertinence de nos modes de production et de consommation[73]. Ces dimensions rentrent implicitement ou explicitement dans l'appréciation des propriétés d'image, technologiques et commerciales des produits. Lutter contre le gaspillage est devenu une priorité des politiques alimentaires depuis 2016 (loi Garot). Les préconisations touchent à la fois l'utilisation des déchets et coproduits, la sensibilisation des professionnels et l'éducation des enfants ainsi que la prévention du gaspillage.

La quantification des pertes et gaspillages alimentaires est difficile tant on manque de données, et tant que la définition de ce que sont les « pertes » et les « gaspillages » et leur périmètre d'évaluation ne sont pas stabilisés. Ainsi, les animaux, les tissus et les produits qui quittent la chaîne alimentaire humaine pour la nourriture pour chiens et chats (*pet food)* sont, ou ne sont pas, considérés comme une perte ; de même, les animaux qui meurent durant l'élevage sont ou ne sont pas inclus. Avec une grande marge d'incertitudes donc, les pertes et gaspillages sont estimés en France autour de12 % pour les produits laitiers, 12 à 20 % pour les œufs, 21 % pour les viandes, et 31 % pour le poisson[74]. De manière générale, l'étape finale de la consommation est celle où les pertes et gaspillages sont les plus importants (environ 30 % des pertes totales).

Traditionnellement, les filières animales ont toujours cherché à valoriser les coproduits et produits de moindre qualité dans la transformation (par exemple les œufs fêlés transformés en ovoproduits). Les progrès ont été opérés via des équipements plus performants dans l'extraction des chairs et dans le fractionnement des ingrédients. L'attention portée aux coproduits est néanmoins assez récente, notamment dans les filières viandes malgré des volumes importants de coproduits riches en nutriments[75]. Depuis la crise de la vache folle, le recyclage à l'abattage des « protéines animales transformées » en aliments pour animaux est autorisé seulement pour les filières aquacoles (depuis 2013 au niveau européen, 2017 en France). Les retraits en abattoirs sont majoritairement recyclés en *pet food*, sauf pour les ruminants dont une partie importante est incinérée.

4.3. Antagonismes, synergies et compromis au cours de la chaîne d'élaboration des produits

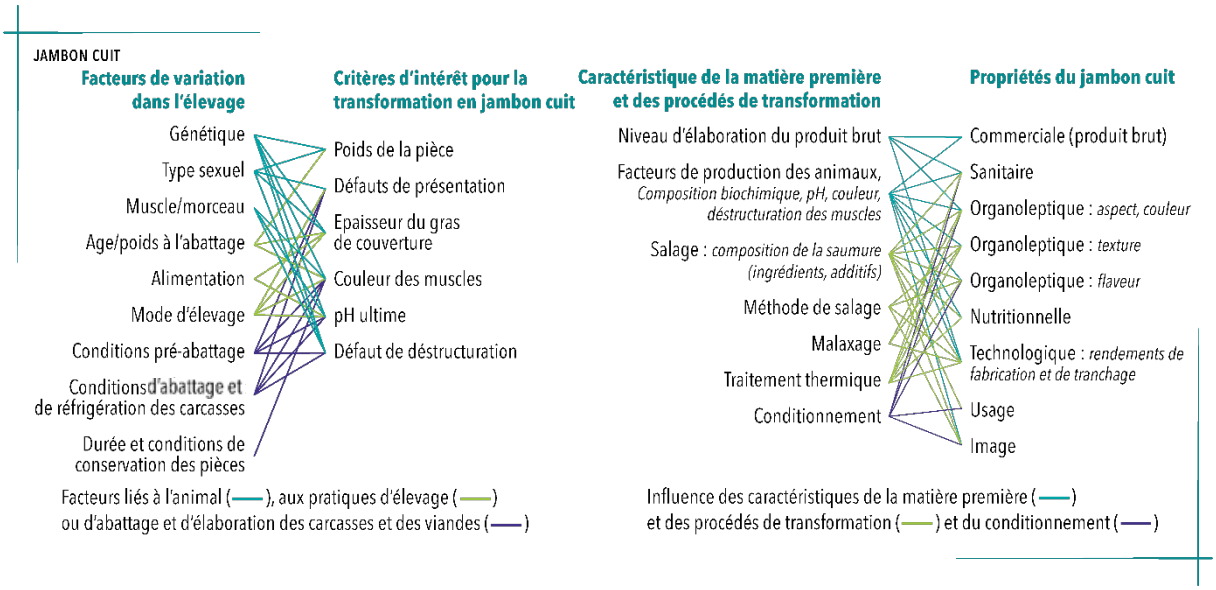
Cette section détaille quelques itinéraires technologiques qui mettent en lumière des synergies ou des antagonismes entre les différentes propriétés des produits transformés et entre les étapes de la chaîne d'élaboration des produits depuis la phase d'élevage (tableau récapitulatif 3.7).

4.3.1 Construction de la qualité des jambons tout au long de l'élaboration du produit

Fortement encadrée par un code des usages, la charcuterie illustre la « construction » de la qualité des produits finis. Les exemples des jambons cuits et secs montrent que les choix opérés tant sur la matière première que sur les procédés déterminent la qualité du produit fini.

La qualité des jambons cuits varie selon que leur qualité est standard ou supérieure. L'écart d'exigence démarre dès le choix de la matière première. Dans un jambon supérieur, qui représente 75 % des jambons vendus en France, les muscles utilisés sont de meilleure qualité (plus de noix). Les procédés de fabrication définis dans le code des usages varient ensuite peu selon les catégories, hormis le salage. La saumure est injectée directement dans le jambon standard. Le malaxage des jambons saumurés en cuves rotatives est plus long pour le jambon supérieur. Chlorure de sodium, sels nitrités, sucres (lactose…) antioxydants et épices/aromates sont employés pour le goût, la couleur et la conservation des produits, avec des doses de sel et sucre moindres pour le jambon supérieur. L'offre croissante en jambons cuits à teneur réduite en sel (-25 %) porte généralement sur des jambons de qualité supérieure, car cette réduction rehausse l'exigence de qualité sur la matière première et de maîtrise des étapes de transformation. Les protéines de sang de porc, les gélifiants et les phosphates (additifs) sont autorisés dans le jambon standard, mais pas dans le jambon supérieur. En général, la cuisson des jambons est réalisée sous vide à une température de 67-68°C à cœur. Le jambon se conserve environ 1 mois à 4°C. Les propriétés du jambon cuit dépendent d'abord des procédés de transformation. Les facteurs d'élevage (Figure 4.8) interviennent moins. Par exemple, le risque de défauts d'odeurs (viande de mâle entier) est faible sur ce produit cuit, consommé froid, et qui contient peu de lipides. Les conditions d'élevage et d'abattage agissent sur la couleur et sur la composition nutritionnelle. Les stratégies d'augmentation des teneurs en AGPI n-3 dans les aliments donnés aux porcs se répercutent notamment dans le jambon cuit.

Figure 4.8 Relations entre facteurs d'élevage et caractéristiques majeures de la matière première des jambons puis entre la matière première et les propriétés du jambon cuit (source : auteurs)



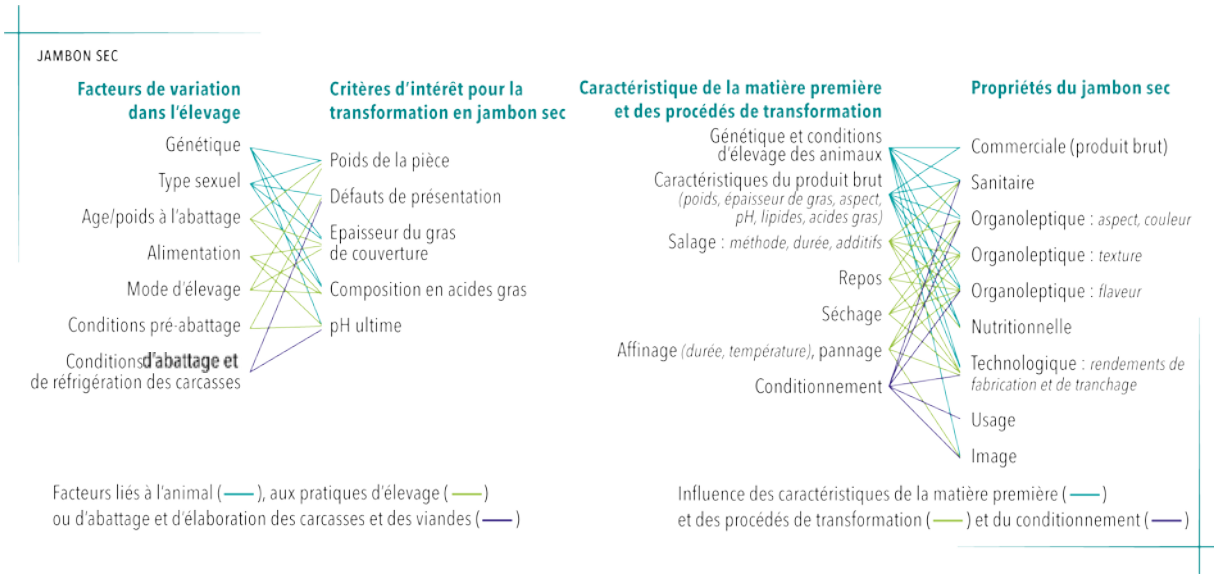
La typicité des jambons secs repose, elle, sur la qualité de la matière première et sur le savoir-faire des transformateurs. Contrairement au jambon cuit, la transformation requiert peu d'ingrédients et peu de technologie. En Europe, l'Espagne, l'Italie (à parts égales), et la France dans une moindre mesure, sont les principaux producteurs et consommateurs de jambon sec. La France compte trois catégories de jambons secs : le cru (ou cru de pays), le sec et le sec supérieur ou traditionnel. Les consommateurs qui achètent très majoritairement du jambon sec prétranché, priorisent les caractéristiques organoleptiques (couleur, texture, flaveur) du jambon avant sa valeur nutritionnelle ou son prix[76].

Les conditions d'élevage interagissent fortement avec les conditions de transformation (Figure 4.9). Les propriétés organoleptiques dépendent du poids du jambon brut, de l'épaisseur et de la composition du gras, du pH, de la couleur, de la capacité de rétention d'eau… qui résultent elles-mêmes du type génétique et des conditions d'élevage et d'abattage des animaux. Les porcs lourds (animaux plus âgés et plus gras) et les croisements ou certaines races spécifiques (porcs gascons, ibériques ou basques) sont plus appropriés à la production de jambon sec que les porcs conventionnels trop maigres. Toutes les AOP ne reposent cependant pas sur des races locales, l'AOP Parme par exemple. L'élevage extensif optimise généralement les caractéristiques de la viande : une couleur rouge plus intense, une accrétion lipidique plus forte liée aux ressources alimentaires locales (herbe, glands, châtaignes) consommées par les animaux. Le terroir fait, en effet, varier les arômes du

jambon sec, ainsi que la saison de finition, ces dimensions étant valorisées par certains SIQO. Les élevages intensifs offrent moins de leviers de variation dans l'alimentation et donc moins de spécificités organoleptiques. L'arrêt de la castration à vif des porcs mâles pourrait altérer la flaveur des jambons secs d'autant que les porcs destinés au jambon sec sont plus âgés et issus de génotypes « gras ».

Au cours de la transformation, les variations de qualité dépendent des pratiques. Les Italiens et les Français (exemple du jambon de Bayonne) privilégient un salage « doux », c'est-à-dire en frottant le jambon avec du sel régulièrement pendant 14 à 21 jours en fonction du poids du jambon. Les procédés espagnols enfouissent le jambon dans un mélange de sel, sucre et salpêtre, pendant une dizaine de jours environ selon le poids (jambons STG Serrano et AOP Ibériques). Plusieurs aromates sont autorisés, mais certains additifs ne le sont que pour la catégorie « basique » des jambons crus. L'affinage final dure plusieurs semaines à plusieurs mois. Ainsi, la durée totale de la transformation varie de 7 mois pour la STG Serrano ou l'IGP Bayonne, à 12 à 30 mois pour les AOP Parme et Corse, et peut aller jusqu'à 36 mois pour les AOP Bigorre, Barrancos (Portugal) ou les jambons ibériques. Par ailleurs, les jambons secs de type méditerranéen ne sont pas fumés, contrairement à ceux produits en Europe du Nord.

Figure 4.9 Relations entre facteurs d'élevage et caractéristiques majeures de la matière première des jambons puis entre la matière première et les propriétés du jambon sec (source : auteurs)



4.3.2 Synergie entre les propriétés nutritionnelles, organoleptiques et d'image des fromages de ruminants nourris à l'herbe

Les propriétés des fromages dépendent surtout des procédés technologiques mis en œuvre. Il est ainsi possible d'obtenir une grande variété de fromages à partir d'un même lait. Néanmoins, certaines pratiques d'élevage, et en particulier le pâturage, sont à l'origine de produits laitiers aux propriétés organoleptiques et nutritionnelles distinctes.

La teneur importante de l'herbe en bêta-carotène et la composition botanique des prairies déterminent les propriétés organoleptiques des fromages (idem pour le beurre). Les fromages issus de vaches au pâturage sont généralement plus jaunes, leur goût plus intense, leur texture plus crémeuse, leur odeur spécifique et variable selon la composition botanique des prairies, le stade végétatif de l'herbe et la saison. Les différences entre le pâturage et une alimentation à base de foin ou l'ensilage d'herbe sont perceptibles, et encore plus nettes avec de l'ensilage de maïs. Remplacer 15% de la ration de maïs par le pâturage d'une prairie naturelle modifie la note organoleptique globale. Par ailleurs, le profil en AGPI est amélioré et le ratio AGPI/AGS augmente (voir section 3.3.3). L'image du fromage issu de vaches au pâturage est également meilleure.

Ces effets du pâturage sont dus à plusieurs mécanismes biologiques. Le bêta-carotène de l'herbe est partiellement détruit lors du fanage et du séchage du foin, et l'ensilage de maïs en contient très peu. Les flaveurs plus riches et diversifiées ont été associées à la composition botanique des prairies naturelles du fait d'une plus grande quantité et diversité des composés volatils. Les chercheurs n'ont cependant pas établi de liens génériques entre un type botanique ou la présence de certaines plantes et des caractéristiques organoleptiques particulières des fromages. Les hypothèses suggèrent l'influence des terpènes, substances aromatiques très présentes dans les plantes, ou/et de micro-organismes ou de composés du lait produits par l'animal suite à l'ingestion de couverts prairiaux ou plantes spécifiques (acides gras, enzymes, par exemple).

Les étapes de transformation peuvent accentuer ou gommer les effets du pâturage. Les fromages à pâte pressée, ayant une concentration plus élevée en matières grasses que ceux à pâte molle, sont plus sensibles à l'effet « pâturage ». Pour un même type de fromage, la durée d'affinage semble accentuer les différences organoleptiques alors que la standardisation du lait en début de fabrication les réduit. Lorsque le lait est pasteurisé, les variations de flaveur selon l'alimentation des vaches sont atténuées, voire totalement gommées. Ces variations nourrissent les conflits entre filières au lait cru et au lait pasteurisé, comme celui qui perdure depuis plusieurs décennies autour de l'appellation Camembert de Normandie.

4.3.3 Antagonisme entre rentabilité et les propriétés nutritionnelles des nuggets de volailles

La composition des nuggets de volailles va à l'encontre des recommandations nutritionnelles en raison de leur richesse calorique et d'un excès de sel. Selon les modalités de cuisson, la teneur en lipides et en sel des nuggets peut doubler (lipides : 10,9 et 22,7 %, sel entre 0,87 et 1,63 %). Une portion journalière de nuggets représente jusqu'à presque la moitié du besoin journalier en sel d'un adulte[77]. La viande ne représente que 40-50 %, le reste étant de la graisse, des nerfs, des vaisseaux sanguins[77].

Quelques travaux expérimentaux envisagent diverses voies d'amélioration nutritionnelles. Modifier la recette de la panure peut par exemple diminuer les effets défavorables de la prise d'huile pendant la friture et la formation d'acrylamide. L'enrichissement en AGPI n-3 et antioxydants dans les nuggets précuits peut réduire les risques d'oxydation susceptibles d'altérer le goût : huile essentielle de thym, poudre de clou de girofle, graines de moutarde broyées (propriétés anti-oxydantes), huile de poisson micro-encapsulée… Un autre pan de recherche vise l'optimisation des recettes sur le plan technologique dns la limite d'un compromis acceptable avec les volets organoleptique et nutritionnel. Plusieurs travaux testent, par exemple, l'utilisation de peau de poulet, de son de blé ou de diverses protéines végétales (gluten de blé, soja) afin de réduire le coût de production. Les résultats tendent à montrer que la flaveur des nuggets ne serait pas altérée jusqu'à un niveau d'incorporation de 30 % pour le soja et de 40 % pour le blé. Des taux de 15 à 40 % sont proposés pour l'incorporation de viande de poulet séparée mécaniquement et lavée avec une solution de NaCl, moins chère, et qui présenterait l'avantage de ne pas modifier la composition chimique et les propriétés organoleptiques des produits. La cuisson est aussi étudiée sous l'angle de ses performances technologiques et organoleptiques, en particulier les effets de la friture selon la durée, le type d'huile ou encore l'optimum du couple temps/température. Les nuggets cuits à la vapeur ont le meilleur rendement après cuisson, mais pas la meilleure appréciation organoleptique.

De tels travaux existent pour les autres produits élaborés de volailles. Une série d'études récentes s'est ainsi intéressée à la substitution des graisses animales par des huiles végétales (olive, noix) dans les saucisses de volailles.

4.3.4 Tension entre sécurité sanitaire et propriétés nutritionnelles : exemples du lait infantile, des produits carnés et du poisson fumé

La formulation du lait infantile (réglementée au niveau européen) est importante puisqu'il s'agit de produits destinés aux nouveau-nés chez lesquels les nutriments vont permettre la croissance, le développement des principales fonctions motrices et cognitives, la maturation du système immunitaire et la structuration du microbiote intestinal. Le lait infantile, vendu en poudre, résulte d'une dizaine d'étapes de transformations technologiques du lait de vache. Il s'agit de modifier sa composition afin de se rapprocher de celle du lait humain. Le ratio caséines/protéines solubles doit notamment passer de 80/20 (lait de vache) à 40/60 (lait de femme). La préparation est pasteurisée, concentrée, complétée par des matières grasses végétales (pour se rapprocher du ratio AGPI/AGS du lait humain), homogénéisée, puis séchée. Ce schéma général se décline en quelque 160 formules infantiles différentes sur le marché français.

Durant la fabrication, les ingrédients subissent une succession de traitements thermiques drastiques. Les matières premières (ingrédients et lait écrémé) ont la plupart du temps déjà été traitées thermiquement. Pendant la fabrication, jusqu'à sept autres traitements thermiques vont de nouveau être effectués afin de garantir la qualité sanitaire et aboutir à la déshydratation finale. Ces chauffages endommagent l'intégrité, voire dénaturent les protéines et favorisent l'apparition de composés néoformés. La structure des constituants protéiques et lipidiques du lait infantile diffère donc nettement du lait humain. Les procédés d'homogénéisation du lait en fragmentant les globules gras en petites gouttelettes, lui font perdre les propriétés bioactives des globules gras de grande taille. Au niveau glucidique, le lait humain contient une myriade d'oligosaccharides qui sont absents des formules infantiles alors qu'ils interviennent dans la structuration du microbiote. De même, l'écosystème microbien spécifique au lait de chaque espèce joue un rôle primordial dans la mise en place du microbiote intestinal du nouveau-né. Enfin, le lait infantile ne contient pas certains composés mineurs susceptibles d'avoir

un rôle essentiel sur la santé de l'enfant : immunoglobulines, facteurs de croissance, micro-ARN, acides nucléiques... Toutes ces différences influent sur la vitesse de digestion du lait infantile. Les connaissances scientifiques ne permettent actuellement pas de savoir si ces différences ont des conséquences physiologiques pour le nouveau-né. Conserver des globules gras de grande taille biomimétiques du lait maternel supposerait de concevoir des formules infantiles beaucoup moins traitées, tout en garantissant une sécurité microbiologique maximale. Les chercheurs s'interrogent par ailleurs sur les possibles liens entre les différences avec le lait maternel et l'augmentation de la prévalence de l'allergie aux caséines observée ces dernières années, ainsi que la résistance accrue des caséines à la digestion.

Dans les produits carnés, la cuisson et le salage améliorent la conservation des produits, mais génèrent des composés néoformés délétères pour la santé : hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP, cuissons et fumage), amines hétérocycliques aromatiques (AHA cuisson), acrylamides (panure frite), nitrosamines ou leur précurseur (saumure dans les charcuterie)

Les antioxydants naturels contenus dans les épices et les herbes ont été étudiés en tant qu'inhibiteurs de la formation d'amines hétérocycliques dans les viandes cuites. Les études ont évalué précisément l'impact de recettes alternatives sur la formation des composés néoformés, elles n'ont toutefois pas évalué les conséquences sur la santé. Un travail pionnier a néanmoins montré, dans deux modèles animaux de carcinogenèse colorectale et chez les volontaires humains sains, l'intérêt des marinades qui, de par leur composition en antioxydant, peuvent inhiber la peroxydation lipidique endogène. Ces différents travaux invitent à introduire des indications de recettes ou de composition de plats carnés dans les recommandations alimentaires.

Les saumures entrant dans la fabrication des charcuteries et de certains fromages contiennent du nitrite de sodium et du nitrate de potassium dont les effets sont contrastés. Du point de vue de la santé, le nitrite a une fonction bactériostatique d'intérêt majeur contre le botulisme notamment. Cependant, dans le même temps, son ajout dans la viande favorise la formation de composés N-nitrosés (dont les nitrosamines) potentiellement impliqués dans le cancer colorectal. Le poids relatif des nitrite et nitrate, ajoutés dans les charcuteries, dans la formation des composés N-nitrosés n'est pas bien défini, le nitrite pouvant également provenir d'autres aliments et de la réduction de nitrate par la salive.

Alors que la consommation de jambon cuit baisse depuis 2015, les industriels proposent des jambons « à teneur réduite en sel » (-25 %) ou, plus récemment, « sans nitrite ajouté ». Si ces jambons n'ont certes pas reçu d'ajout de nitrite lors de leur fabrication, ils peuvent en contenir : le nitrate étant naturellement présent dans la viande, ou pouvant provenir d'ajout de nitrate dans la saumure ou de bouillon de légumes. La substitution des sels nitrités par des poudres de légumes (céleri, betterave, poireau…) riches en nitrate impose en effet d'ajouter des flores microbiennes pour assurer la réduction du nitrate en nitrite et s'avère n'être qu'une « pseudo solution », puisque le risque lié aux substances néoformées à partir du nitrite est le même[78]. De nouvelles études sont nécessaires pour élucider les mécanismes mis en jeu dans la chimie du nitrite et dans ses interactions avec les composants de la viande, à la fois lors de la fabrication des produits de charcuterie et lors de la digestion.

L'itinéraire de fabrication du jambon de Parme offre une autre hypothèse. En effet, seul du chlorure de sodium est ajouté, sans qu'aucun problème microbiologique, ni défaut de coloration ne surviennent. Des chercheurs ont suggéré que sa couleur rouge brillante viendrait de l'activation accrue d'une enzyme en présence de sel, alors que l'ajout de nitrite inhiberait la formation du composé précurseur de cette activation. Précisons cependant que c'est la durée de fabrication longue du jambon de Parme (24 mois) qui permet cette réaction enzymatique, ainsi qu'une maîtrise de la sécurité microbiologique de la matière première.

Le fumage du poisson confère des propriétés organoleptiques très appréciées des consommateurs et permet de prolonger la durée de conservation de ces produits périssables**.** Ce fumage peut être réalisé à froid ou à chaud, avec une grande variété de bois. Les effets antimicrobiens et antioxydants du fumage ont récemment fait l'objet d'une étude approfondie. Cependant, malgré ces avantages, ce procédé présente un risque pour les consommateurs. Divers cancers fréquents au Nigeria et dans les pays baltes sont associés à la forte consommation de poissons fumés riches en HAP. La production de HAP est due à une combustion incomplète. D'autres procédés, moins fréquemment employés, comme la pulvérisation de fumée liquide obtenue par condensation de la fumée du bois (environ 5 % des poissons fumés en France), limitent la production de HAP.

4.4. Innovations de rupture

Sont ici brièvement présentées trois orientations qui illustrent les débats actuels sur la consommation des aliments d'origine animale. Le manque de recul et le peu de travaux scientifiques ne permettent pas d'analyse poussée. La consommation d'animaux qui ne sont habituellement pas mangés en Europe, comme les insectes emprunte encore une autre direction.

4.4.1 Substitutions totales des ingrédients d'origine animale par des végétaux

L'intérêt des substitutions vers des ingrédients végétaux repose sur les gains économiques et environnementaux escomptés. C'est moins clair pour la santé humaine : pas ou peu de travaux dressent une comparaison exhaustive des propriétés des produits originels et de leurs substituts. La gamme des substituts est encore restreinte mais concerne à la fois les produits carnés, laitiers et ovoproduits (steak haché, yaourts, sauces…). Le défi technologique pour maîtriser la stabilité des produits et leur goût est important, surtout sans le recours à des additifs. La formulation des substituts végétaux combine en effet généralement un nombre importants d'ingrédients et d'additifs afin d'imiter au mieux le produit original. Ce faisant, elle comporte le risque de dégrader les propriétés nutritionnelles de l'aliment par rapport à celui qu'il est censé imiter. Plus largement, la place de ces substituts dans les transitions alimentaires n'est pas claire. On peut se demander quels sont les consommateurs qui adopteront ces produits et dans quelle mesure ils les privilégieront plutôt qu'une baisse (sans compensation) de leur consommation en produits animaux.

4.4.2 Émergence des produits analogues

Depuis les années 2000, quelques projets ont été menés pour produire des tissus musculaires à des fins alimentaires. Des investisseurs misent actuellement sur ce créneau. Jusqu'à présent, cette biotechnologie avait des applications médicales. La motivation est la promesse de produire ou « cultiver » *in vitro* de la viande sans tuer d'animaux. Réduire l'impact environnemental en supprimant l'élevage est aussi avancé par les promoteurs. Des travaux hollandais ont débuté sur de la culture de cellules souches provenant de porc. La technologie consiste à développer des cellules souches, puis à les différencier en cellules musculaires. La technologie actuelle comporte un certain nombre de limites. Citons : i) la co-culture de cellules musculaires, adipeuses et de la matrice extracellulaire dont la complexité reste un défi à surmonter; ii) la formulation de milieux de culture pour assurer un taux de croissance élevé des cellules incluant des nutriments, des facteurs de croissance et hormones (interdits en élevage depuis 2006) et du sérum de veau fœtal ; iii) le support de culture permettant l'alignement cellulaire. Il est, de plus, attendu que la « viande de culture » ressemble à de la vraie viande, bien qu'elle ne corresponde pas à sa définition légale, c'est-à-dire des muscles rattachés au squelette (Règlement (UE) n°1169/2011)[79].

Les innovations en matière de produits analogues questionnent la frontière entre animalité et non-animalité. Soumise à la législation Novel Food[82], la mise sur le marché de tels aliments nécessite une autorisation préalable. À ce jour, les études sur les représentations symboliques associées à ces produits analogues, et sur leur acceptation sociale, manquent.

4.4.3 Personnalisation de l'offre grâce à l'impression 3D

Les stratégies visant à adapter les aliments aux personnes selon leurs besoins individuels s'appuient souvent sur des avancées technologiques, matérielles ou non matérielles. L'impression 3D ouvre une voie à la personnalisation de l'alimentation. Des recherches sont actuellement en cours pour améliorer l'alimentation des personnes âgées souffrant de sarcopénie ou de dysphagie. Un projet européen[s] a ainsi cherché à imprimer en 3D des aliments adaptés aux besoins de chaque personne (taille de la portion, texture) et contenant d'éventuels compléments et vitamines alimentaires en fonction de l'état de santé. Ce projet a mis au point des fluides et des gélifiants à injecter dans l'imprimante afin que le plat soit à la consistance voulue, et conçu des techniques pour mélanger au mieux les ingrédients. L'expérience est cependant encore loin d'un prototype. Cette approche permet d'imaginer la valorisation de certaines protéines animales contenues dans les abats, ou de créer des produits mixant différentes sources de matières premières : animal, végétal, algues, insectes. Pour autant, ces innovations questionnent l'impact de « l'hyper intrusion » technologique dans l'alimentation, de la dépendance à ces innovations et de la reconfiguration des pratiques culinaires.

[s]Projet de recherche européen « Performance - Development of Personalised Food Using Rapid Manufacturing for the Nutrition of Elderly Consumers »)

5. Spécificités des produits animaux sous signes de qualité

Les Signes officiels d'identification de la qualité et de l'origine ou « SIQO » sont une voie de promotion de la qualité des produits. Ces labels sont strictement encadrés et règlementés. Il en existe quatre à l'échelle européenne : les Appellations d'origine protégée (AOP)[t], les Indications géographique protégées (IGP), les Spécialités traditionnelles garanties (STG), l'Agriculture biologique (AB) auxquels s'ajoutent le Label Rouge (LR) qui est une spécificité française. Dans le cadre de l'expertise, nous avons étudié leurs cahiers des charges afin de qualifier leurs engagements respectifs en termes de qualité des produits et d'analyser la variabilité des engagements à l'intérieur d'un même label. La littérature utilisée est essentiellement technique et réglementaire, peu de travaux scientifiques abordent cette question. Ce travail exploratoire n'est pas exhaustif de tous les SIQO européens : ont été examiné les cahiers des charges du Label Rouge gros bovins, ceux des fromages AOP/IGP de la région Auvergne-Rhône-Alpes et de manière générale, le label AB. En France, l'INAO définit au niveau national les cahiers des charges des LR, AOP, IGP, STG pour chaque produit. L'agriculture biologique est régie par un cahier des charges européen unique. Ce cadre européen n'empêche pas qu'il y ait des compléments pratiques à l'échelle nationale.

Outre les SIQO, la règlementation européenne inclut des « mentions de qualité ». En France, il existe trois mentions : « montagne », « fermier » et « Haute valeur environnementale (HVE) ». La production fermière est définie par produit : ainsi, la volaille fermière est régie par un règlement européen[80], alors que le fromage fermier est défini par un décret national. En France, le Label Rouge et la mention « fermier » sont souvent combinés. L'INAO a annoncé que l'ensemble des SIQO adopterait bientôt une dimension agroécologique, en intégrant la certification environnementale « HVE » dans leurs cahiers des charges (engagement de l'article 48 de la loi n°2018/938 du 30 octobre 2018, dite Egalim, niveau 2 puis 3 à partir de 2022)[81]. Le décret d'application était en cours d'élaboration (mai 2020).

Encadré 4 : les cinq SIQO reconnus en France

LR - Label Rouge : produit de qualité supérieure en comparaison des produits standards. Cette qualité supérieure concerne les caractéristiques organoleptiques, l'image et les éléments de présentation ou de service du produit.

AOP - Appellation d'Origine Protégée : produit typique dont toutes les étapes de production, fabrication et transformation ont lieu dans la zone géographique délimitée, et dont la typicité est basée sur le terroir (interactions entre le milieu géographique, physique et biologique, et les facteurs humains).

IGP - Indication Géographique Protégée : produit typique dont au moins une étape parmi la production, la fabrication et la transformation a lieu dans la zone géographique délimitée qui lui confère une qualité, réputation ou autre caractéristique reconnaissable.

STG - Spécialité Traditionnelle Garantie : produit traditionnel, basé sur une composition, une méthode de fabrication ou de transformation traditionnelle.

AB - Agriculture Biologique : produit selon des pratiques respectueuses de l'environnement, respectant la biodiversité, les ressources naturelles et le bien-être animal, correspondant à une approche agroécologique.

5.1. Propriétés mises en avant selon les SIQO

La lecture des défintions règlementaires des SIQO permet d'associer les engagements décrits aux sept propriétés constitutives de la qualité d'un produit (Tableau 5.1).

La propriété commune à tous les SIQO et mentions de qualité est la qualité d'image. Tous les signes officiels visent à garantir la crédibilité, la fiabilité et la reconnaissance des produits certifiés par les consommateurs. Cette attention à l'image renvoie aux attentes de naturalité, proximité, santé, etc., décrites dans le chapitre 1.

[t] En France, l'obtention d'une AOP nécessite d'abord celle de l'AOC (Appellation d'origine contrôlée) décernée par l'INAO.

Tableau 5.1 Comparaison des engagements des CDC des SIQO et mentions valorisantes en lien avec les propriétés des produits animaux, basée sur les références officielles nationales et européennes

Signe ou mention	LR	AB	AOP	IGP	STG	Produit de montagne	Fermier	Haute valeur environnementale
Référence UE		RCE 889/2008 (qui sera complété par RUE 2018/1584) RCE 834/2007 (qui sera abrogé par RUE 848/2018)	RUE 1151/2012			RUE 1151/2012 (mention de qualité)		
						complété par RUE 665/2014	RCE 543/2008 (volaille)	
Référence FR	Code Rural - R641-1 à -10 L641-2 à 4	Code Rural - R641-26 à 31 L641-13	Code Rural - R641-11 à 21 L641-5 à10	Code Rural - R641-11 à 21 L641-5 à10	Code Rural - R641-11 à 21 L641-23	Code Rural - R641-32 à 44 L641-14 à 17 ; Loi Montagne n°85-30 de 1985 ; Décret 2000-1231	Code Rural - D641-32 à 44 (œufs) et L641-19 Décret 2007-628 (fromage)	Code Rural - R641-57; D617-1 à 4; L641-19-1
Sanitaire	-	"limiter fortement l'utilisation des pesticides, qui peuvent entraîner la présence de résidus dans les produits agricoles (RCE889 6)" "utilisation de procédés qui ne nuisent pas à l'environnement, à la santé humaine (RCE834 II.3.c)"	-	-	-	-	-	"ne fait pas état de qualités sanitaires particulières (R641-57-2)"
Organoleptique	"Ensemble distinct de qualités et de caractéristiques spécifiques établissant un niveau de qualité supérieure" (R641-2.8)	-	"qualité/caractéristiques essentiellement ou exclusivement dues au milieu géographique (RUE1151 II.5.1.b)"	"qualité, réputation ou autre propriété attribuée essentiellement à origine géographique (RUE1151 II.5.2.b)"	"denrée alimentaire spécifique (RUE1151 III.18.1)" "spécificités : propriétés de production caractéristiques qui permettent de distinguer clairement un produit d'autres produits similaires" (RUE1151 I.3.5)	-	-	"ne fait pas état de propriétés organoleptiques particulières (R641-57-2)"
Nutritionnelle	-	-	-	-	-	-	-	"ne fait pas état de propriétés nutritionnelles particulières (R641-57-2)"
Usage	"qualités et de caractéristiques spécifiques établissant un niveau de qualité supérieure" (R641-2.8)	-	-	-	-	-	-	-
Technologique	-	-	-	-	-	-	-	-
Commerciale	-	-	-	-	-	-	-	-
Image	"mode de valorisation de la qualité et de l'origine" (Code rural VI.IV.1)	"viser à produire des produits de haute qualité (RCE834 II.3.b)" "préserver et justifier la confiance des consommateurs (RCE834 3)" "permettre une concurrence loyale et un bon fonctionnement du marché intérieur (RCE834 3)" ; "contribuant au développement rural (RCE834 3)" "maintient et améliore la santé du sol, de l'eau, des végétaux et des animaux (RCE834 II.3.a.i)" "assurer un niveau élevé de bien-être animal(RCE834 II.5.h)"	"garantir une concurrence loyale & conférant une valeur ajoutée (RUE1151 1.1.a) "profitable à l'économie rurale (RUE1151 4)" "assurant des revenus équitables (RUE1151 II.4.a)"			"garantir une concurrence loyale (RUE1151 1.1.a)" "la mention apporte une valeur ajoutée (RUE1151 IV.29.1.b)" "profitable à l'économie rurale (RUE1151 4)"		
					"sauvegarder les méthodes de production et recettes traditionnelles (RUE1151 III.17)"	"zones de montagne se caractérisent par des handicaps significatifs (Loi85-30 art3)"	"localisation des activités dans l'exploitation" (Décret 2007-628 art9)	"valorisation de la démarche agroécologique" (Code rural L611-6)")

Le Label Rouge se distingue en promouvant une qualité supérieure à celle des produits standards. L'écart de qualité doit être perceptible par les consommateurs. Dans la définition règlementaire, le Code rural ne spécifie pas les propriétés concernées par la supériorité attendue pour le LR. L'INAO précise qu'il s'agit de propriétés organoleptiques et aussi d'usage. Les SIQO liés à une zone géographique (AOP et IGP) ou à une tradition (STG) mettent en avant des propriétés organoleptiques particulières. Les produits se différencient non par une qualité supérieure, mais par une qualité différente fondée sur la typicité et la spécificité du produit. L'agriculture biologique est d'abord reliée aux propriétés sanitaires des produits car elle privilégie « *l'utilisation de procédés qui ne nuisent pas à l'environnement, ni à la santé humaine* » (règlement CE n°834/2007)[82]. Enfin, la certification environnementale HVE (Haute valeur environnementale) précise que les produits issus d'exploitations certifiées HVE ne peuvent se prévaloir d'effets bénéfiques sur les propriétés organoleptique, nutritionnelles ou sanitaires au titre de la HVE.

5.2. Démarches de construction de la qualité

En utilisant des logiciels d'analyse textuelle (logiciels Iramuteq[u] et CorTexT[v]), on peut observer les cooccurrences sémantiques et en tirer des traits statistiques. Appliquées aux cahiers des charges des SIQO, ces analyses montrent que les engagements pris sont à la fois hétéroclites et spécifiques à chaque type de produit. Les deux exemples ci-dessous illustrent certaines caractéristiques des AOP et IGP, au travers des cahiers des charges de 18 fromages AOP/IGP de la région Auvergne/Rhône-Alpes et la démarche de construction de la qualité avec le Label Rouge gros bovins (viande bovine).

5.2.1 Engagements AOP/IGP sur une typicité organoleptique

Les cahiers des charges des fromages AOP et IGP de la région Auvergne/Rhône-Alpes suivent la chaîne de production depuis la description de l'exploitation (ses caractéristiques et celles du cheptel) jusqu'au conditionnement du fromage. Pour les IGP, une seule étape, la production ou la transformation, doit intervenir dans l'aire géographique définie et non pas forcément l'ensemble de la chaîne d'élaboration du produit. Pour autant, les cahiers des charges des IGP présentent des engagements aux diverses étapes. L'origine géographique ou la race des animaux et l'alimentation à l'herbe sont les critères les plus communs, avec, dans deux tiers des cas, une durée annuelle de pâturage supérieure à 120 jours. Le recours à l'ensilage est interdit dans un peu plus de la moitié des cas. Le lait cru est une condition pour 10 fromages, mais 8 cahiers des charges autorisent des traitements thermiques.

La typicité mise en avant par la réglementation des AOP/IGP repose sur la délimitation du territoire de production, et pour un tiers des cahiers des charges également sur le matériel et les pratiques fromagères. Certains engagements ne donnent pas lieu à des effets tranchés ou prouvés : par exemple, fixer la fréquence de traite n'a pas d'effet connu sur les propriétés organoleptiques du fromage. De même, la présence de lactosérum dans la ration des vaches, et sa provenance, sont très souvent indiquées dans les cahiers des charges, mais les effets de ces spécifications sont incertains. En revanche, l'utilisation d'un robot de traite n'est jamais mentionnée. Son interdiction peut être parfois être sous-entendue par l'obligation de prévoir 8 heures entre deux traites. Des recherches ont pourtant montré que la traite automatisée détériorait les propriétés sanitaires (forte augmentation du nombre de spores butyriques) dans les exploitations où l'herbe est conservée sous forme d'ensilage. Ces études ne notaient pas d'influence notable sur les propriétés organoleptiques des fromages. L'analyse statistique montre que les engagements concernent surtout les propriétés organoleptiques (3/4 d'entre eux ont un impact positif sur cette propriété), puis technologiques et d'image. Les propriétés sanitaires, nutritionnelles, commerciales et d'usage interviennent après, par ordre décroissant. On retrouve cette hiérarchie en analysant les cahiers des charges du jambon de Parme AOP et du jambon de Bayonne IGP (qui met aussi en avant les propriétés nutritionnelles du jambon sec).

5.2.2 Garantie de qualité supérieure dans le Label Rouge, l'exemple du LR gros bovins

Le cahier des charges des Labels Rouges doit justifier la qualité supérieure du produit par comparaison avec un produit courant. Ce dernier est souvent défini vaguement, par exemple : « *de type laitier », « de tout système de production », « de maturation généralement comprise entre 3 et 5 jours* », dans les cahiers des charges du Label Rouge gros bovins.

La majorité des engagements pris dans les cahiers des charges LR gros bovins (au nombre de 16 début 2020) a un impact positif sur les propriétés organoleptiques. Les engagements quant au choix d'une race pure locale, au bien-être animal, à

[u] http://www.iramuteq.org/
[v] https://www.cortext.net/

l'entretien du paysage et du territoire et au respect de l'environnement renvoient aux propriétés d'image. Cependant, la castration des mâles est obligatoire. Seuls les femelles et les mâles castrés sont labellisables. Les autres propriétés, même si elles ne participent pas à la définition initiale du LR, bénéficient des engagements pris. Ainsi, l'importance du pâturage, de l'alimentation à l'herbe, et les indications pour la finition (lin dans la ration) ont un effet positif sur les propriétés nutritionnelles. L'obtention de la qualité organoleptique supérieure se « construit » ainsi à travers la succession de choix et conditions fixées tout au long de la chaîne de production (Tableau 5.2).

Cette construction de la qualité se réalise par des tris successifs : tri du type d'animal éligible au niveau de l'élevage, tri des animaux, tri des carcasses et des viandes labellisables à l'abattoir... Contrairement à l'agriculture biologique où tous les produits issus d'un élevage peuvent être commercialisés sous le label AB, certains animaux (bovins mâles entiers, carcasses de conformation et/ou d'état d'engraissement jugés non satisfaisants) et morceaux (viandes de pH trop élevé) ne sont pas éligibles à la labellisation et sont alors commercialisés dans le circuit standard.

En 2000, une étude[83] sur les LR gros bovins n'avait identifié que deux sources de variation entre les cahiers des charges : les caractéristiques de la carcasse (conformation, état d'engraissement, poids) et l'alimentation des animaux (alternance pâture/stabulation, maïs autorisé ou non, ensilage en unique fourrage interdit, finition à l'herbe). Elle signalait aussi que les démarches du Label Rouge étaient souvent basées sur une différenciation par la race et la zone de production. Depuis cette étude, le Label Rouge s'est détaché du lien avec une zone géographique désormais réservée aux AOP/IGP. En revanche, le lien avec les races a été conservé. Cependant, le LR n'intègre pas la notion de race en conservation. Par exemple, la race bovine Mirandaise est décrite comme s'engraissant facilement. Elle est réputée pour ses veaux de lait et ses bœufs « nacrés de Gascogne » et classée comme sentinelle par l'association *Slow Food*. Elle pourrait faire l'objet d'un Label Rouge, pour faire reconnaître ses qualités gustatives, en lien avec les objectifs de préservation de la biodiversité fixés par l'INAO.

Tableau 5.2 Renforcement des propriétés organoleptiques de la viande par les principaux engagements des cahiers des charges LR gros bovins tout au long de la chaîne de production/transformation (vert : engagement sur le troupeau, orange : tri par individu)

Etapes d'élaboration du produit	Critère	Produit courant	Engagement LR		Propriétés organoleptiques de la viande
Type d'animal	Race	-	Race à viande Voire 1 ou quelques races		Couleur, jutosité, tendreté, flaveur
	Type sexuel	-	Pas de mâles non castrés		Tendreté
	Age à l'abattage	-	> 30 mois 28-120 mois voire plus restrictif		Tendreté, couleur
Elevage	Pâturage	-	> 5 mois/an voire > 8 mois/an		Couleur
Pré-abattage	Bien-être	-	Max 24 h entre enlèvement et abattage		Couleur, tendreté
Carcasse	Conformation	Toutes classes de développement musculaire : E-U-R-O-P	E-U-R (développement musculaire important) voire E-U ou U-R		Peu de lien avec jutosité et flaveur
	Engraissement	1 à 5	2 à 4		Tendreté, jutosité, flaveur
	pH ultime	-	≤ 5,8		Couleur, jutosité
Viande	Maturation	3 à 5 j en moyenne	Viandes à griller/rôtir : > 10 j voire > 14 j		Tendreté, flaveur

5.3. Engagements de l'agriculture biologique et leurs effets sur les propriétés des produits

5.3.1 Label AB, entre variabilité et différenciation

Les consommateurs de produits biologiques déclarent choisir le logo AB pour des questions d'éthique, de santé et d'aversion aux contaminants. En France, la loi Egalim de fin 2018 fixe dans son article 24 des objectifs concernant l'augmentation de leur consommation, et les « plans de filières » proposés par les acteurs professionnels à la suite des États généraux de l'Alimentation présentent également des objectifs d'accroissement de la production.

Leroux (2009)[84] a décrit les principes règlementaires de l'élevage en agriculture biologique en Europe. Bien que les règlements (n°834/2007 et n°889/2008) fassent office de cahier des charges, il existe des disparités et des spécificités nationales, voire régionales, dans l'application de la réglementation européenne. En France, un guide de lecture officiel publié par l'INAO vise à éviter les différences de lecture entre les acteurs du secteur, notamment les certificateurs. Pour autant, cet outil n'est pas commun à tous les États membres. L'Allemagne, l'Italie, les régions en Belgique… complètent également les règlements européens. Aucun organisme ne recense les décrets nationaux ou régionaux d'application de l'agriculture biologique européenne. Des éléments sont rassemblés par les filières et instituts techniques, mais ils ne sont pas étudiés dans la bibliographie scientifique. Les différences peuvent relever de définitions (définition d'une souche à croissance lente, d'une « région »), d'interprétations (densité calculée avec ou sans volière, délai d'attente après administration d'un médicament vétérinaire…) et d'autorisations de dérogation (pâturage ou herbe fauchée…). À titre d'exemple, l'âge à l'abattage d'un poulet de chair bio est au minimum de 81 jours en France, calé sur la réglementation du Label Rouge volailles, alors qu'il est de 70 jours dans le règlement européen. Ces disparités compliquent la comparaison des résultats entre travaux européens.

Par ailleurs, si la règlementation européenne sur l'AB est détaillée quant aux pratiques d'élevage, la transformation n'est guère approfondie : la fabrication des aliments biologiques doit passer par « *des méthodes de transformation garantissant le maintien de l'intégrité biologique et des qualités essentielles du produit, à tous les stades de la chaîne de production* »[97]. La transformation en AB se fonde sur l'autorisation de substances et procédés naturels et sur l'exclusion de ceux non respectueux du produit biologique. Cependant, à part l'interdiction en AB de l'usage d'OGM et de l'ionisation des aliments, tous les autres traitements peuvent être identiques à ceux mis en œuvre pour les produits conventionnels. Comme pour l'élevage, les interprétations des règlements européens varient. La résine échangeuse d'ions utilisée dans le traitement du lait (auxiliaire technologique) est ainsi interdite en France, contrairement à d'autres pays européens. De fait, les résines échangeuses d'ions sont une technologie essentiellement chimique, alors qu'en AB la préférence doit être donnée aux méthodes biologiques, mécaniques et physiques.

En 2018, l'UE a adopté deux nouveaux règlements[84 ; 85] qui modifient plusieurs points techniques pour les animaux : i) afin d'accroître le lien au sol, le pourcentage de l'alimentation des bovins, ovins, caprins provenant de l'exploitation passera de 60 % à 70 % à partir de 2023, quand celle des porcs et des volailles devra atteindre 30 % à partir de janvier 2021 au lieu de 20 % actuellement. ; ii) les contrôles seront espacés (tous les deux ans au lieu d'un an s'il n'y a pas de non-conformité constatée) ; iii) la certification peut être attribuée à un groupe d'exploitations et iv) la cuniculture est intégrée dans le nouveau règlement. Il est difficile d'anticiper les effets de cette révision, dont les modalités d'application doivent encore être négociées. Deux points en particulier suscitent des débats : la taille maximale des élevages (notamment en aviculture) et l'épandage des effluents (manque de définition des effluents industriels).

5.3.2 Premières méta-analyses sur les laits et viandes issues de l'agriculture biologiques

Les tableaux ci-après synthétisent les connaissances sur les différentes propriétés des produits d'origine animale certifiés biologiques. Les propriétés d'usage ne sont pas abordées faute d'information (Tableau 5.3).

Travaux pionniers en la matière, deux méta-analyses récentes comparent les propriétés nutritionnelles du lait et des viandes biologiques par rapport aux produits conventionnels (Tableau 5.3). Concernant la viande fraîche, l'analyse conclut à une plus forte proportion d'AGPI (dont les AGPI n-3), et à une plus faible proportion d'AGS (C14 :0 et C16 :0). Les raisons avancées sont une proportion plus élevée de fourrages, et notamment d'herbe pâturée, dans la ration, ainsi qu'une proportion plus élevée de légumineuses dans les prairies. Un biais pourrait provenir de la différence dans la teneur en lipides, les viandes bio étant moins riches en lipides que les viandes conventionnelles.

L'analyse pour le lait se fonde sur beaucoup plus d'études que pour les viandes et elle est donc plus robuste. Elle conclut que le lait bio a une composition plus riche en AGPI n-3 (ALA et AGPI n-3 LC), et CLA, avec des rapports AGPI n-6/AGPI n-3 et LA/ALA moindres. Il est également plus riche en vitamine E. Les études sources présentent cependant des résultats hétérogènes qui peuvent s'expliquer par la grande diversité des pratiques d'élevage à la fois dans les systèmes biologiques et dans les systèmes conventionnels considérés dans la méta-analyse. Par ailleurs, la composition en acides gras et vitamines du lait dépendant en premier lieu de l'alimentation des animaux, les différences entre laits bio et conventionnel sont moindres si le lait conventionnel est issu d'un système herbager extensif.

Tableau 5.3 Comparaison des propriétés des produits animaux AB par rapport aux produits conventionnels

	Produits	Bibliographie	Comparaison avec le conventionnel	Explications	Limites dans l'étude
Organoleptiques	Lait et Yaourts	Smigic *et al.*, 2017 ; Schwendel et al. 2015, Adler et al. 2013 ; Bloksma et al. (2008) ; Gallina Toschi *et al.*, 2012 ; Coggins *et al.*, 2008.	Peu de données et globalement pas de différence significative		Forte variabilité des pratiques d'élevage (tant en bio qu'en conventionnel)
	Viande ovine	Prache *et al*, 2011 ; Kocak *et al* 2016	Risque accru de défaut de flaveur	Prairies plus riche en trèfle blanc	Risque plus fort en AB, mais les prairies de systèmes herbagers conventionnels peuvent aussi être riches en trèfle blanc
		Angood *et al*, 2008	Plus juteuse, intensité flaveur agneau plus élevée, viande bio plus appréciée	Pas d'information	Viande achetée en supermarchés, donc les caractéristiques des animaux et des conditions d'élevage restent inconnues
	Viande poulet	Horsted *et al.*, 2011 ; Castellini et Mourvaki, 2007	Viande plus foncée et plus rouge, moins juteuse et plus ferme	Vitesse de croissance réduite et âge à l'abattage supérieur	Les contraintes du cahier des charges AB engendrent une forte variabilité des propriétés organoleptiques
	Viande porcine	Sundrum *et al.*, 2000 Hansen *et al.*, 2006 Jonsall *et al.*, 2002 Alvarez-Rodriguez *et al.*, 2016	Résultats sur tendreté et jutosité disparates, pouvant être améliorées ou réduites	Variable selon la conduite alimentaire (apports en énergie, protéines: profil acides aminés) et les conditions d'élevage (température, espace) influencent les caractéristiques musculaires (teneur en lipides, pH) et en conséquence les propriétés sensorielles	La variabilité des pratiques d'élevage (incluant type génétique) en AB engendre une forte variabilité des propriétés organoleptiques; études peu nombreuses et parfois anciennes (la réglementation a évolué en 2009)
	Poisson	Lerfall *et al.*, 2016	Moins lumineux mais sans différence de couleur	L'utilisation de pigments naturels conduit à une plus grande diversité de pigments dans le muscle	Très peu d'études disponibles.
	Œufs	Hammershøj *et al.*, 2016, Nys *et al.*, 2018	Variabilité dans la couleur du jaune	Cantaxanthine interdit (pigment rouge)	Le changement de coloration dépend de l'alimentation, et non directement du système d'élevage
		Nys *et al.*, 2018	Risque accru de défaut de flaveur	Peut être apporté par des matières premières en extérieur	Non dépendant du système d'élevage mais de l'accès à l'extérieur
Technologiques	Lait	Schwendel *et al.* 2015, Smigic *et al.* 2017, Srednicka-Tober *et al.* ,2016 ; Ürkek *et al.* 2017, Malissiova *et al.*, 2017	Résultats divergents sur le teneurs en matières grasses et protéiques, numération cellulaire et flore totale : Incidence de mammites un peu moins élevée dans les élevages bio.	Différences, lorsqu'elles sont rapportées, liées à l'alimentation (plus de fibres et moins d'amidon en bio) et aux animaux (races et/ou individus moins productifs en bio).	Forte variabilité des pratiques d'élevage (tant en bio qu'en conventionnel)
	Viande poulet	Castellini *et al*, 2002	Qualité technologique inférieure, indice d'oxydation plus élevé	pHu acide, activité physique supérieure, souche à croissance lente et âge d'abattage tardif	
	Viande porcine	Jonsall *et al* 2002, Alvarez-Rodriguez *et al* 2016	↘ pH, ↗ ou sans effet sur perte en eau	Conditions d'élevage (extérieur) associées au type génétique influencent variabilité des caractéristiques musculaires et propriétés technologiques	Peu d'études disponibles; besoin de considérer plusieurs critères technologiques : proportion élevée et place croissance des produits transformés
	Œufs	Casiraghi *et al*, 2007 ; Alemperese *et al*, 2010, 2012 et 2012 ; Filipiak Florkiewiczet *et al*, 2017	Peu ou pas d'effet du système d'élevage sur les propriétés rhéologiques (moussante, gélifiante)	Le temps de stockage et l'âge de la poule influent davantage	Peu d'études disponibles
Commerciales	Viande ovine	Prache *et al.*, 2011	Le gras de couverture est moins ferme pour les agneaux élevés à l'herbe et sans différence pour les agneaux élevés en bergerie	Agneaux élevés à l'herbe : prairies plus riche en trèfle blanc	Agneaux élevés à l'herbe : risque plus fort en AB, mais les prairies de systèmes herbagers conventionnels peuvent aussi être riches en trèfle blanc
	Viande poulet	Petracci *et al.*, 2017	Rendement carcasse et en viande plus faible	Pas de sélection sur le rendement en filets	Qualité commerciale plus variable
	Viande porcine	Sundrum et al 2000; Prunier et Lebret 2009	Croissance potentiellement réduite, notamment des tissus maigres	Interdiction de AA de synthèse dans la ration, ressources protéiques bio limitées : difficulté d'optimiser les apports nutritionnels / besoins des animaux	
		Prunier et Lebret 2009	Adiposité variable selon les conditions climatiques, l'activité physique et la conduite alimentaire	Augmentation de la variabilité : valable pour toute production "alternative"	

Sanitaires	Viande poulet	Voidarou *et al,* 2011 ; Bokkers et De Boer, 2009	Plus forte contamination microbienne (plus forte prévalence de *Campylobacter* spp)		
		Synthèse Katsoumanis, 2019	Pas de différence significative concernant *Salmonella*, voire résultats contradictoires	Stress, densité d'élevage, augmentation du nombre de poulailler augmentent la sensibilité	Nombre d'études limité
		Dervilly Pinel *et al,* 2017	Teneurs plus élevées de contaminants de l'environnement	Durée d'élevage plus long et parcours extérieur	Reste en dessous des seuils réglementaires
	Poisson	Nacher Mestre *et al,* 2018	Influence sur le risque de contamination (traitements post-récolte ou mycotoxine)	Utilisation de produits végétaux biologiques dans l'alimentation	
		Efsa	Contamination des salmonidés (PCB-DL, PCDD/F)	Aliments d'origine aquatique (ex farine ou huile de poisson)	Pas de bibliographie scientifique (ni pour AB, ni pour LR)
	Œufs	Huneau Salaun *et al,* 2010	Risque plus élevé de *Salmonella* non démontré		Le risque dépendrait plus de la densité et de la taille des élevages
Nutritionnelles	Lait	Méta analyses : Srednicka *et al.*, (n=170), 2016 ; 2016 ; Palupi *et al.*, 2012 Synthèse Schwendel *et al.*, 2015	Production laitière moindre (-23 %) TB, TP similaires Proportions AGPI et AGPI n-3 plus élevée, dont ALA, AGPI n-3 LC, CLA ; diminution de AGPI n-6/AGPI n-3 Teneurs en vitamine E et Fe plus élevées, teneurs en I et Se plus faibles	Ration plus riche en fourrages, dont herbe pâturée et légumineuses, plus pauvre en maïs et concentrés	Variabilité de la composition du lait selon caractéristiques du fourrage, saison… Données insuffisantes sur produits transformés (mais composition en AG et en vitamines liposolubles peu affectées - simplement concentration- par la transformation fromagère)
	Viande ruminants	Méta analyse : Srednicka *et al.*, (n=32), 2016	Meilleur profil en acides gras : augmente proportions AGPI et AGPI n-3, diminue proportions C14:0 et C16:0	Ration plus riche en fourrages, dont herbe pâturée, plus de légumineuses dans les prairies	Biais possibles liés à des différences dans l'état d'engraissement des animaux et la teneur en lipides de leur viande Ne concerne que la viande fraîche non transformée Forte variabilité des pratiques d'élevage Données insuffisantes pour teneurs en micronutriments
	Viande ovine	Angood et al, 2008 ; Bauchart et al, 2012 ; Kocak *et al.*, 2016	Meilleur profil en AG (augmente AGPI ou diminue AGS) mais certains résultats disparates : augmente ou diminue C16:0 (AGS)	Légumineuses dans les prairies. Effet moins important quand les disponibilités en herbe pâturée sont plus faibles	Angood et al (2008) : Viande achetée en supermarchés, donc les caractéristiques animaux et conditions d'élevage inconnues Bauchart et al (2012) et Kocak et al (2016) : Peu d'information quant aux caractéristiques de l'herbe pâturée
	Viande poulet	Méta-analyse : Srednicka *et al.*, (n=17), 2016	Augmente les proportions AGPI, AGPI n-3, AGPI n-6, LA ; Diminue les teneurs en lipides et proportion AGS, AGMI	Accès à un parcours après 4 sem. augmente AGPI Tourteau de soja bio plus riche en lipides car issu d'une extraction à froid de l'huile (augmente les proportions LA et AGPI n-6)	Biais liés aux différences dans l'état d'engraissement des animaux et à la teneur en lipides de leur viande. Peu de données en conditions contrôlées permettant d'expliquer ces différences
	Viande porcine	Karwowska et Dolatowski 2013, Alvarez-Rodriguez *et al.*, 2016, Méta analyse : Srednicka-Tober *et al.*, 2016 (n=14)	Effets controversés : ↘ proportion AGPI (dont AGPI n-3) et oxydation; pas d'effet sur AGS et AGPI mais ↗ AGPI n-3 et ↘ n-6/n-3; ou ↘ proportion AGMI et ↗ proportion AGPI (méta-analyse)	Les différences de pratiques d'élevage surtout de conduite alimentaire : nature des ressources (dont fourrage grossier) ; accès à du pâturage… au sein de la production porcine bio expliquent cette variabilité	Nombre limité d'études; besoin de considérer d'autres nutriments que les AG
	Poisson	Trocino *et al.*, 2012 ; Di Marco *et al.*, 2017	Résultats contradictoires : proportion plus élevée AGPI ou non	Compositions en acides gras de l'aliment différentes	Forte variabilité des pratiques d'élevage (tant en bio qu'en conventionnel)
	Œufs	Mugnai *et al.*, 2014	Augmente teneur en AGPI n-3, particulièrement ALA et DHA	Accès à un parcours herbager	Nombre limité d'études
Image	Tous les produits - quelques différences selon ruminants ou monogastriques	Dumont *et al.*, 2016 et 2017 (porc) ; Seguin *et al.*, 2013 (poulet) ; Dakpo *et al.*, 2012 (ovin)	Impact environnemental diminue : réduction consommation énergétique et GES ; mais utilisation de l'eau et des surfaces augmente	Durée d'élevage plus longue, rendements carcasse et viande inférieurs, consommation d'aliment et rejets supérieurs, densité en élevage moindre, séquestration carbone dans prairies, utilisation de race locale, plein air	Impacts varient selon l'indicateur et l'unité fonctionnelle choisie (; plus élevés pour impacts globaux et par kg ; plus faibles pour impacts locaux et par ha. Les résultats dépendent du scénario d'approvisionnement en matière première (pour Seguin : production locale et pas d'importation)
		Benoit et Meda, 2017 (ovin)	Préservation biodiversité et santé humaine	Non utilisation d'engrais et de pesticides de synthèse	
		Seguin *et al.*, 2013 (poulet)	Qualité sanitaire supérieure, bien-être des animaux mieux pris en compte.	Moins de traitements médicamenteux et d'utilisation de pesticides pour la production de l'alimentation animale	
		Sans *et al.*, 2017 (œuf)	Meilleure note sensorielle lorsque l'origine bio est connue des consommateurs		

Quelques études épidémiologiques, qui ont comparé grands et petits consommateurs de produits biologiques, concluent sur des bénéfices sanitaires et nutritionnels d'une alimentation biologique (Tableau 5.4). Néanmoins, elles sont encore peu nombreuses pour affirmer un niveau de preuve convaincant. L'interdiction d'employer des pesticides de synthèse en agriculture biologique pourrait expliquer ce résultat.

Tableau 5.4 Effets sur la santé des produits animaux AB par rapport aux produits conventionnels

Bibliographie	Source des données	Résultats
Bradbury KE, Balkwill A, Spencer EA, Roddam AW, Reeves GK, Green J, *et al.*, 2014	Million Women Study, Etats-Unis	Le risque global de cancer n'était pas associé au niveau de consommation d'aliments biologiques, mais une réduction significative (-21 % ; (RR=0.79, 95% CI: 0.65-0.96)) du risque de lymphome non hodgkinien a été observée.
Sun Y, Liu B, Du Y, Snetselaar LG, Sun Q, Hu FB, *et al.*, 2018	NHANES, Etats-Unis	Moindre prévalence (-20 %) de diabète chez les sujets achetant préférentiellement des aliments bio.
Baudry J, Lelong H, Adriouch S, Julia C, Allès B, Hercberg S, *et al.*, 2017	BioNutrinet, France	La part de bio dans l'alimentation, après ajustement sur les facteurs de confusion (sociodémographiques, profils alimentaires et mode de vie) a été associée à une diminution de la probabilité de syndrome métabolique de -31 % (IC95 % : -39 %- -22 %)
Kesse-Guyot E, Baudry J, Assmann KE, Galan P, Hercberg S, Lairon D,. 2017	BioNutrinet, France	Un risque plus faible de surpoids (-23 %) ou d'obésité (-31 %) chez les individus qui n'étaient pas en surpoids ou obèses au début de l'étude a été observé chez les personnes ayant un niveau d'alimentation bio élevé.
Baudry J, Assmann KE, Touvier M, Allès B, Seconda L, Latino-Martel P, *et al.*, 2018	BioNutrinet, France	Après la prise en compte de divers facteurs d'ajustement, une diminution de 25 % (HR=0,74, IC95 % : 0,63–0,87) du risque de cancer (tous types de cancers) a été observée chez les consommateurs « réguliers » d'aliments bio comparés aux consommateurs moins réguliers.

5.4. Défis de l'échelle des filières sous SIQO

Les filières d'aliments certifiés par un SIQO ont développé des stratégies hétérogènes allant d'une production de masse à une production de niche, y compris au sein d'un même signe.

La forte croissance de la consommation de produits issus de l'agriculture biologique interroge l'organisation du changement d'échelle de leur production et transformation. Cette expansion a fait l'objet de prospectives au cours des dernières années. Le développement s'accompagnant d'une « végétalisation » de l'alimentation, la place de l'élevage en agriculture biologique n'est pas facile à prédire. Néanmoins, certains acteurs s'inquiètent d'une « conventionnalisation » de l'AB qui tend à rapprocher certaines de ses pratiques de celles des secteurs agricole et agroalimentaire conventionnels (plus grande standardisation des produits, vente en GMS…). Ce rapprochement est perceptible au niveau de certains systèmes d'élevage biologiques. L'intensification des systèmes d'élevage biologiques (peu étudiée) aurait vraisemblablement les mêmes effets que l'intensification opérée dans les systèmes d'élevage conventionnels : les propriétés des produits AB seraient alors modifiées.

L'augmentation de la demande en produits biologiques pose, par ailleurs, la question de l'approvisionnement. En France, la viande AB fraîche et transformée provient à 97 % du territoire national, mais l'alimentation des animaux peut faire appel à des dérogations à la règle de production locale de fourrages. Par ailleurs, la variabilité de la matière première AB requiert une adaptation des procédés technologiques de transformation et de conservation, y compris d'emballage.

Pour les autres produits sous SIQO, la question du changement d'échelle se pose aussi. L'exemple du camembert de Normandie AOP illustre la tension entre les engagements du cahier des charges et la volonté d'expansion de certains acteurs. En l'occurrence, l'obligation d'utiliser du lait cru et de privilégier la race normande font l'objet d'âpres négociations entre opérateurs, la pasteurisation du lait symbolisant ce qui s'approcherait d'une « conventionnalisation » de l'AOP.

Les fromages italiens AOP Grana Padano et AOP Parmigiano Reggiano sont des productions de masse. Ils sont respectivement les 1er et 2e fromages AOP européens en quantité, avec 157 000 et 130 000 t/an. Ces deux fromages de vache sont similaires en termes de méthodes d'élaboration : fromage à pâte dure présentant des propriétés organoleptiques proches. Leurs cahiers des charges se distinguent par l'interdiction de tous les types d'ensilage et par une restriction sur la nature des concentrés (pas de soja notamment) pour le Parmigiano Reggiano. Le fourrage de base est le foin avec une large part de foin de luzerne. Les contraintes supplémentaires du cahier des charges du Parmigiano Reggiano sont compensées par un prix du lait payé au producteur plus élevé d'environ 60 % par rapport à celui du lait en AOP Grana Padano. Il faut noter

qu'il existe au sein de l'AOP parmesan une classification supplémentaire mettant en avant des produits encore plus différenciés, de type Premium ou Réserve.

Le jambon sec espagnol correspond également à un produit sous SIQO renommé et vendu en masse. Lui aussi dispose de nombreuses catégories de produits au sein d'une même appellation. On observe cependant une certaine confusion : il y a cinq AOP de jambons secs enregistrées en Espagne, la mention facultative « ibérique » (qui porte sur la race Iberico) pouvant y être ajoutée. Une classification supplémentaire met en avant le mode de finition des animaux ; les porcs de race 100 % ibérique finis aux glands (« bellota » en espagnol) sont ainsi les seuls pouvant être dénommés « pata negra ». Il existe aussi des porcs croisés Iberico *x* Duroc finis aux glands, soit en plein air (« *cebo de campo* »), soit en bâtiment (représentant 60 % des jambons ibériques). Cette segmentation complexe est rendue d'autant plus confuse qu'il existe par ailleurs une STG de jambon sec espagnol, le Serrano (montagne en espagnol) dont seule la recette est certifiée, et non l'approvisionnement en matière première. La production du Serrano est très industrialisée. Or les logos AOP, IGP et STG se ressemblent visuellement. Les volumes commercialisés de jambon Serrano STG (19 millions de pièces en 2017) sont très nettement supérieurs à ceux des jambons AOP ibériques (0,2 millions de pièces). Les contraintes de production étant nettement moindres pour le jambon Serrano STG, le prix est aussi bien moindre.

La STG « lait de foin » dédiée à l'élevage laitier à l'herbe est un exemple de SIQO envisagé comme outil pour encourager l'expansion d'une production favorable à l'environnement grâce à une reconnaissance de la qualité de ses produits. Historiquement implanté en Autriche (où le lait de foin ou « Heumilch », représente 15 % du volume de lait commercialisé) et en Allemagne, le lait de foin a été enregistré par l'UE en 2016 en tant que STG. La reconnaissance européenne a permis d'étendre le label à d'autres territoires, notamment en France et en Belgique wallonne. La communication autour de ce SIQO repose sur les propriétés sanitaires, organoleptiques, nutritionnelles incluses dans le cahier des charges et sur l'image : bénéfices pour l'environnement, bien-être animal et développement rural. Les propriétés technologiques du lait de foin sont également évoquées au travers du rendement fromager, résultant du rapport taux protéique / taux butyreux, annoncé meilleur pour le lait de foin. La reconnaissance de la STG inclut la valorisation des produits transformés, comme le fromage ou le beurre.

Ces exemples montrent la latitude offerte par des cahiers des charges des produits sous SIQO pour soutenir le développement de ces filières. Toutefois, on voit bien que la stratégie de sur-segmenter les produits au sein d'un SIQO entre les produits « non premium » et « premium » introduit un doute quant au positionnement des cahiers des charges « non premium ».

6. Méthodes pour le contrôle et la gestion des propriétés

La mesure et le contrôle des propriétés des aliments d'origine animale sont d'autant plus importants que la perception du risque par les consommateurs est aigüe. L'authentification des conditions d'élevage et de transformation ainsi que de l'origine apporte des garanties. Les approches multicritères qui cherchent à combiner les différents objectifs des acteurs et à optimiser ou négocier les compromis entre les propriétés des aliments, sont encore trop partielles.

6.1. Gestion du risque et de l'information

Les crises sanitaires de la fin du XXe siècle ont fait de l'analyse des risques sanitaires un des principes généraux du rapport à l'alimentation et ont placé ces risques au cœur de la législation alimentaire européenne. Le consommateur perçoit le risque du point de vue du rapport bénéfices/risques, tandis que le scientifique analyse des conséquences négatives de la prise de risque (exposition et danger).

6.1.1 Prévention des risques sanitaires et leur caractérisation

Le législateur garantit à la fois le respect des intérêts économiques et de libre circulation des aliments d'une part, et leur caractère sûr et sain d'autre part. « *La libre circulation de denrées alimentaires sûres et saines constitue un aspect essentiel du marché intérieur et contribue de façon notable à la santé et au bien-être des citoyens, ainsi qu'à leurs intérêts économiques et sociaux »*[87]. L'hygiène des denrées alimentaires est déclinée pour les produits animaux dans le règlement n°853/2004[62]. La prévention des risques passe par l'équilibre, le compromis, à instaurer entre les garanties sanitaires et marchandes.

L'analyse des risques englobe leur évaluation, gestion et communication. L'évaluation des risques se distingue de leur gestion. La première vise à caractériser les dangers et les risques liés à l'alimentation et fournit un avis scientifique argumenté, mais non contraignant. La seconde se traduit par une production législative et règlementaire au niveau de l'UE et des États membres. Elle*« consiste à mettre en balance les différentes politiques possibles, en consultation avec les parties intéressées, à prendre en compte l'évaluation des risques et d'autres facteurs légitimes, et, au besoin, à choisir les mesures de prévention et de contrôle appropriées »*[w]. Les risques peuvent être certains ou connus, par exemple, une contamination par *E. coli* STEC, imposant alors l'application du principe de prévention. Les risques peuvent aussi être incertains ou suspectés, et c'est alors le principe de précaution qui s'applique. Dans le cadre de l'expertise, ce pourrait être le cas des risques sanitaires liés au nitrite ajouté dans les charcuteries. La gestion du risque, qu'il soit certain ou incertain prend des formes graduelles : informer les consommateurs, fixer des doses d'emploi suspendre les usages.

6.1.2 Informations obligatoires et volontaires

L'information du consommateur est un outil de maîtrise des risques. La littérature montre cependant la limite de cet outil car le comportement des consommateurs résulte d'arbitrages complexes, qui vont bien au-delà d'une réception rationnelle des informations.

La précédente expertise INRAE sur les rôles, impacts et services issus des élevages en Europe[88] a, en 2016, détaillé les informations prescrites concernant les produits d'origine animale. Néanmoins, certains aspects peuvent être actualisés, comme les dénominations, l'origine et d'autres informations facultatives.

L'extension de l'obligation d'indication de l'origine des produits bruts d'origine animale aux aliments transformés à base de viandes et laits fait débat. En France, depuis 2016, un décret[89] impose d'indiquer dans les denrées préemballées, l'origine du lait à partir du moment où il représente 50 % des ingrédients, et l'origine des viandes à partir d'un seuil de 8 %. En 2018, le groupe laitier Lactalis a demandé l'annulation de ce décret applicable pour une période « test » jusqu'en 2021. La Cour de justice de l'Union européenne ne s'est pas encore prononcée. L'argument avancé tient à la difficulté de contrôler le respect de cette provenance dans les aliments composites.

La dénomination d'un produit est aussi sujette à contentieux. La Cour de justice européenne a, par le passé, dû trancher de nombreux cas d'usage de dénominations à consonance animale, tels que « lait » ou « produit carné » concernant des

[w] Art. 3, Règlement 178/2002.

produits non entièrement d'origine animale. Le règlement INCO[94] clarifie les règles pour les viandes ou poissons reconstitué(e)s ou pour l'ajout d'eau d'un poids supérieur à 5 % du produit fini. En 2020, le législateur est venu limiter formellement l'usage des termes comme « steak » ou « fromage » pour des substituts végétaux[x].

L'information sert divers intérêts du consommateur. L'article 3 du règlement de référence en la matière, dit règlement INCO précise ainsi que « *l'information sur les denrées alimentaires tend à un niveau élevé de protection de la santé et des intérêts des consommateurs, en fournissant au consommateur final les bases à partir desquelles il peut décider en toute connaissance de cause et utiliser les denrées alimentaires en toute sécurité, dans le respect, notamment, de considérations sanitaires, économiques, écologiques, sociales et éthiques* ». L'information procurée aux consommateurs va donc au-delà des aspects sécuritaires. Ces informations peuvent porter sur la qualité nutritionnelle (logo Nutri-Score, par exemple), sur l'éthique (pratique ou commerce équitable, bien-être animal), sur l'environnement (empreinte carbone, km parcourus par le produit…). On peut noter qu'une récente décision de la Cour de justice européenne n'a pas autorisé l'apposition du logo AB sur les produits issus d'animaux ayant fait l'objet d'un abattage rituel, sans étourdissement préalable.

6.2. Contrôles, traçabilité et aspects juridiques

Les dispositions législatives et règlementaires font l'objet de contrôles confiés à des autorités dont l'organisation en France est très complexe, comme le montre le tableau 6.1. Coordonnés par des différentes directions de l'administration centrale, les contrôle sont assurés sur tout le territoire par des administrations déconcentrées en plusieurs niveaux (national, régional, départemental).

Tableau 6-1 Répartition des types de contrôle selon l'acteur concerné, indiqué par une croix sur fond orangé

Objet des contrôles :	DGAL	DGCCRF	DGS	INAO
Importations	X	X		
Distribution des produits vétérinaires	X		X	
Alimentation animale	X	X		
Production primaire animale	X			
Sécurité sanitaire des denrées alimentaires	X	X		
Qualité des produits et loyauté des transactions		X		
Produits sous SIQO		X		X

Légende : DGAL (Direction générale de l'alimentation), DGCCRF (Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes), DGS (Direction générale de la santé), INAO (Institut national de l'origine et de la qualité).

La libéralisation du commerce en Europe et à l'international peut par ailleurs inciter à augmenter les contrôles aux frontières afin de vérifier que l'application d'une règle ne conduit pas à porter une atteinte disproportionnée à un droit garanti par ailleurs. Les traités de libre-échange avec des pays hors-Europe (CETA, Mercosur) accroissent, potentiellement, les risques de fraudes, du fait de cadres réglementaires différents. Par exemple l'utilisation en élevage d'hormones ou d'antibiotiques comme promoteurs de croissance, le rinçage des carcasses poulets avec des solutions chlorées, l'irradiation des produits alimentaires sont autorisés au Canada et aux États-Unis, mais pas en Europe.

L'INAO orchestre les contrôles des produits sous SIQO. L'objectif est avant tout de protéger le produit et son image de fraudes potentielles, et de garantir aux consommateurs le respect des engagements. Les plans de contrôle diffèrent entre l'AB et les autres SIQO. Le contrôle avant la mise sur le marché dans le cadre de l'AB correspond à une certification par une tierce partie (organisme certificateur). Les SIQO hors AB sont eux soumis à un système de contrôles externes par les organismes certificateurs (OCO), internes par les organismes de défense et de gestion (ODG) et des autocontrôles par les opérateurs eux-mêmes. Les filières AOP et Label Rouge incluent des tests sensoriels dans leurs plans de contrôle.

En cas de constatation de non-conformité, les agents disposent de pouvoirs leur permettant de réagir de manière proportionnée : avertissement envoyé à l'exploitant lui permettant d'identifier et de corriger les non-conformités ou de manière plus contraignante, des requêtes de mises en conformité (comme le nettoyage ou la rénovation d'un atelier) ou la destruction, le retrait, le rappel ou la consigne d'un produit. Dans les cas les plus graves, des sanctions pénales sont prévues sous forme d'amendes (jusqu'à 750 000 euros et portées de manière proportionnée à 10 % du chiffre d'affaires annuel pour les personnes morales) et des peines d'emprisonnement (jusqu'à 7 ans).

Les crises sanitaires, notamment celle dite de la vache folle (bovins atteints d'encéphalopathie spongiforme bovine) dans les années 1990-2000, ont conduit à élargir les intérêts de garantir la traçabilité des aliments. La traçabilité est définie dans la

[x] https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000041982762&dateTexte=&categorieLien=id

législation européenne 87 ; [90] comme « *la capacité de retracer, à travers toutes les étapes de la production, de la transformation et de la distribution, le cheminement d'une denrée alimentaire, d'un aliment pour animaux, d'un animal producteur de denrées alimentaires ou d'une substance destinée à être incorporée ou susceptible d'être incorporée dans une denrée alimentaire ou un aliment pour animaux* ». La traçabilité peut être descendante (du début de la production jusqu'à la commercialisation) ou remontante (retrouver tous les opérateurs jusqu'au premier). Elle est demandée par les consommateurs et par les producteurs de produits sous SIQO. Elle ne permet néanmoins pas de contrôler le respect de l'ensemble des engagements pris dans les cahiers des charges. Le recours à des méthodes analytiques d'authentification peut être nécessaire. Les nouvelles technologies du numérique offre par ailleurs de nouvelles possibilités de certifier les modes de production en temps réel. Des initiatives de « blockchains » alimentaires voient notamment le jour.

6.3. Authentification de l'origine et des conditions d'élevage et de transformation des produits

Le caractère mondialisé du commerce des produits animaux, la complexité de la chaîne alimentaire, les demandes des consommateurs pour plus d'informations et les risques de fraudes renforcent l'importance des questions d'authentification de l'origine des produits et des procédés de production et de transformation. La croissance exponentielle des publications sur ce sujet en atteste[91]. Un pan de cette littérature traite particulièrement des produits issus d'animaux alimentés à l'herbe[92] car ces produits constituent un créneau commercial dans différents pays européens (Allemagne, Espagne, Pays-Bas, Royaume-Uni et France) et aux États-Unis d'Amérique. Les analyses d'authentification permettent de contrôler et de garantir le respect des allégations des produits. Les techniques de contrôle de la non-adultération de l'espèce animale sont d'ores et déjà utilisées par les services de répression des fraudes pour vérifier, par exemple, l'incorporation frauduleuse de viande ou de lait d'une espèce animale dans un produit carné ou laitier.

La recherche teste actuellement la robustesse et la fiabilité de plusieurs approches : les méthodes spectrales, simples d'utilisation et peu coûteuses qui authentifient l'alimentation de l'animal par une empreinte globale du produit, reflétant sa composition ; et le développement de bases de données d'isotopes stables pour les produits alimentaires qui permettent de tester des échantillons inconnus. Le tableau 6.2 permet d'indiquer les principales méthodes développées selon l'objet de l'authentification (conditions d'élevage, mode de production, adultération, origine…) et selon le type de produit, avec un indice de couleur reflétant la fiabilité du résultat et les limites de chaque couple méthode/produit (voir légende).

La littérature montre qu'il est possible de discriminer certains types d'alimentation ou origines contrastés, en utilisant des méthodes analytiques quantifiant des composés spécifiques, ou des méthodes plus globales fondées notamment sur les propriétés optiques des produits. Ces méthodes sont de coût et de facilité d'utilisation variables. Les méthodes globales, en particulier celles basées sur les propriétés optiques des produits, présentent l'intérêt de ne pas nécessiter le recours à des produits chimiques et de ne pas produire de déchet. Certaines d'entre elles pourraient rapidement être utilisées en routine sur un nombre important d'échantillons (exploitation des spectres moyen infrarouge sur le lait par exemple) ou grâce au développement récent d'appareils de mesure portables (spectrométrie proche infra-rouge –SPIR-, par exemple). D'autres méthodes, telles que l'analyse des composés volatils ou phénoliques, sont beaucoup plus coûteuses et difficiles à mettre en œuvre, mais utilisées car leur efficacité peut dissuader les fraudeurs. Il est envisageable d'utiliser ces méthodes par « paliers » ou « étapes », les plus faciles d'utilisation en premier ressort (premier tri), les plus coûteuses en dernier recours (par exemple, pour parfaire la discrimination sur des échantillons encore incertains).

Il est clair que l'analyse d'un seul composé est très souvent insuffisante et que des analyses statistiques multivariées combinant plusieurs marqueurs sont nécessaires. En situation d'alternances dans la ration alimentaire des animaux (difficiles à caractériser, mais fréquentes notamment dans l'élevage d'animaux à viande), utiliser différents composés traceurs et différents tissus animaux apporte de la fiabilité. Les méthodes spectrales semblent prometteuses même en situation d'alternances alimentaire. Elles ne renseignent cependant pas précisément sur les causes sous-jacentes des différences, d'où l'intérêt de poursuivre en parallèle les travaux sur les approches analytiques « par composé ». La détermination des conditions d'alimentation et de l'origine géographique des animaux dont sont issus les produits se heurte par ailleurs à certaines difficultés inhérentes à l'activité d'élevage : possibles déplacements, possibles consommations d'aliments de différentes sources et origines géographiques au cours de la vie de l'animal. L'analyse de tissus qui ont une « croissance incrémentale » (poils, laine, sabots, par exemple), s'ils sont disponibles sur la carcasse, peut alors être mise à profit pour mieux caractériser l'historique des conditions d'alimentation et de l'origine géographique.

Les exemples cités dans cette section montrent comment différentes techniques analytiques peuvent être utilisées pour discriminer, sur le produit, les processus utilisés au cours de la chaîne de production et transformation alimentaire. Les travaux réalisés jusqu'à présent ont, cependant, pour beaucoup été de type « preuve de concept ». Autrement dit, les expériences se sont appuyées sur des situations initiales très contrastées afin de tester des méthodes et les améliorer. Sur le terrain, les systèmes agroalimentaires présentent souvent des caractéristiques moins contrastées. Il est donc désormais nécessaire de tester la fiabilité de ces méthodes en conditions de production, et de développer des bases de données plus importantes pour gagner en généricité et en robustesse.

6.4. Indicateurs et méthodes de mesure des propriétés

Le tableau 6.3 montre que les sept propriétés identifiées pour caractériser la qualité des produits alimentaires peuvent être évaluées à travers des critères, indicateurs et méthodes de mesure. L'éventail de méthodes est large. Elles ne sont pas toutes énumérées. Les méthodes analysant les propriétés technologiques et commerciales sont particulièrement variées car elles sont propres à chaque produit d'origine animale qui présente des critères spécifiques.

Les méthodes d'évaluation ou de prédiction des propriétés constitutives de la qualité des aliments d'origine animale sont en constante évolution, avec l'objectif d'affiner le résultat, de réduire le temps ou le coût d'analyse, d'utiliser des approches moins invasives, ou de qualifier des carcasses, pièces ou produits bruts rapidement après abattage ou collecte, d'optimiser leurs caractéristiques intrinsèques. Différentes démarches sont menées au sein des principales filières de production animales pour développer des outils prédictifs basés sur différents types de marqueurs biologiques (génomiques ou phénotypiques) ou physiques (spectroscopiques), ou sur des équations développées à partir de bases de données reliant, par exemple, les propriétés organoleptiques des viandes avec certaines caractéristiques des animaux, des carcasses et des viandes. Ces outils et travaux pourraient aussi permettre de mieux gérer la variabilité des produits bruts, en orientant le produit vers différents segments de marché ou la matière première vers différents procédés de transformation.

Tableau 6-2 Méthodes d'authentification par type de produit selon l'objet de l'analyse

Objet		Méthode	Produits laitiers	Viande bovine	Viande ovine	Viande porcine	Viande de poulets	Poisson	Œufs
Elaboration du produit	Conditions d'élevage contrastées	Acides gras	herbe *vs* maïs; herbe fraîche *vs* conservée; nature de la prairie; bio *vs* non bio	herbe (pâturée ou ensilée) vs aliment concentré vs alternance herbe/concentré; nature de la prairie	agneau d'herbe vs de bergerie	bio vs non bio	n'est plus discriminant depuis l'évolution de l'alimentation conventionnelle	sauvage vs élevage	bio vs non bio
		Vitamine E	herbe vs fourrages conservés	herbe vs concentrés					
		Caroténoïdes	herbe *vs* concentré ou ensilage de maïs; bio *vs* non bio	herbe *vs* concentré ou ensilage de maïs	agneau d'herbe *vs* de bergerie		peu informative car alimentation supplémentée en caroténoïdes	sauvage *vs* élevage	bio vs plein air *vs* cage
		Composés volatils	herbe fraîche *vs* conservée; nature prairie pâturée	herbe *vs* concentré, Veau: allaitement+ foin *vs* herbe fraiche vs herbe coupée	pâturage *vs* concentré	jambon sec ibérique vs français (et plus faiblement : herbe et glands *vs* aliment du commerce)	génotype, durée d'élevage		
		Composés phénoliques	herbe *vs* maïs; herbe fraiche *vs* conservée; nature des fourrages; foin vs ensilage (herbe *vs* maïs) vs herbe pâturée	herbe *vs* maïs; herbe fraiche vs conservée; nature des fourrages					
		Composés isotopiques	maïs *vs* herbe; proportion de maïs dans la ration; pâturage; bio *vs* non bio	plantes C4 *vs* plantes en C3; herbe *vs* maïs; proportion de maïs dans la ration; nature de la prairie (N+AG); bio vs non bio	pâturage, régime à base de maïs grain; légumineuses *vs* graminée; proportion de légumineuses dans ration; prairies montagne *vs* plaine	alimentation, bio *vs* non bio	proportion de maïs dans la ration	sauvage vs élevage; bio vs non bio	plein air vs bâtiment
		Eléments trace							bio vs non bio
		Biomarqueurs protéiques		alimentation en finition (pâturage vs enrubannage vs foin)					
		Spectrométrie	pâturage vs fourrages conservés ou vs foin et ensilage d'herbe; pâturage (> 70 % dans ration) vs zéro pâturage	finition (pâturage vs ensilage maïs), pâturage vs concentré	agneau : d'herbe vs de bergerie vs pâturage puis finition en bergerie; alimentation de la mère	jambon sec ibérique premium vs non premium		sauvage vs élevage	bio vs plein air vs au sol vs cage
		Génomique fonctionnelle		pâturage vs ensilage de maïs; pâturage vs concentré; pâturage vs finition au concentré après pâturage					
	Conditions d'élevage moins contrastées	Loi dose réponse	% plante C4 dans ration	augmentation de maïs dans la ration	ration non contrastée, prairie plaine vs montagne, proportion de légumineuse		augmentation de maïs dans ration		
		Spectrométrie	pâturage (herbe>70 %) vs non pâturage	reste à tester	herbe vs bergerie vs pâturage puis bergerie	classification de carcasse pour du jambon sec			
	Transformation	Spectrométrie				injection de solution salée, durée de maturation			
		Eau/protéines					addition d'eau, refroidissement des carcasses	addition d'eau	

		Méthode à définir		marqueur de cuisson peu étudié	marqueur de cuisson peu étudié	marqueur de cuisson peu étudié	marqueur de cuisson peu étudié	marqueur de cuisson peu étudié	
	Conservation	Enzymatique		congélation	congélation	congélation	congélation	frais vs décongelé	
		Physiologique et physique						frais vs décongelé	
		Spectrométrie, chromatographie					congélation; irradiation		irradiation
	Adultération par substitution d'espèce	Dosage phytostérols		substitution MG animale par végétale	substitution MG animale par végétale	substitution MG animale par végétale	substitution MG animale par végétale		
		Electrophorèse (protéines)	identification d'espèce	substitution de muscle par collagène, identification d'espèce		substitution de muscle par collagène, identification d'espèce	substitution de muscle par collagène, identification d'espèce	identification espèce animale	
		Immunochimie	mélange de lait d'espèces différentes	substitution de protéine animale par végétale, identification d'espèce	substitution de protéine animale par végétale, identification d'espèce	substitution de protéine animale par végétale, identification d'espèce	substitution de protéine animale par végétale, identification d'espèce	identification d'espèce	pollution chimique ou antibiotique
		Chromatographie	identification d'espèce	identification d'espèce		identification d'espèce	identification d'espèce	identification d'espèce	
		Méthodes spectroscopiques		substitution de muscle par des abats, identification d'espèce	substitution de muscle par des abats, identification d'espèce	substitution de muscle par des abats, identification d'espèce	substitution de muscle par des abats, identification d'espèce	substitution de muscle par des abats, identification d'espèce	
		ADN (PCR)	identification d'espèce	identification d'espèce	identification d'espèce	identification d'espèce	identification d'espèce	identification d'espèce	
Origine	Race/souche	ADN	Identification de races						
		Spectrométrie	race non identifiable et bruit de fond important			discrimination de différentes races	discrimination de souches à croissance lente vs rapide		
		Composés volatils				discrimination de différentes races			
	Origine géographique	Acides gras, caroténoïdes, composés volatiles	régions proches, montagne vs plaine (acides gras)						
		Composition isotopique	région d'origine	pays et région d'origine	région d'origine; plaine vs montagne	origine de l'ingrédient sel	pays d'origine		
		Eléments trace	région d'origine	région d'origine		pays d'origine	région d'origine		
		Méthodes globales	montagne vs plaine	pays d'origine	région d'origine			région d'origine	

Légende		Limite		
	Indice	Faible	Moyen	Forte
Discrimination	Faible	0	0	0
	Moyen	+/-	+/-	+/-
	Forte	++	+	+

Tableau 6-3 Bilan critique des points forts et faibles des différentes méthodes de mesure employées pour chaque propriété.

Propriétés	Méthodes	Points forts	Points faibles
Organoleptiques	Analyses sensorielles par un jury (naïf ou expert), ou analyses instrumentales (par exemple colorimètre, olfactomètre, texturomètre). La flaveur et la jutosité ne peuvent être mesurées que par analyse sensorielle. Débat entre jurys entraînés ou jurys de consommateurs dits 'naïfs' car résultats pas toujours concordants.	Analyse sensorielle : permet d'accéder à l'ensemble des critères organoleptiques et à leurs interactions. Analyses instrumentales : permet d'apprécier chaque critère individuellement selon des mesures objectives et répétables, peu onéreuses mis à part l'investissement de l'équipement. Variabilité des préférences liée aux habitudes alimentaires ou culturelles, qui questionne l'extrapolation des résultats.	Analyse sensorielle : nécessite un jury, complexité de l'organisation des analyses et coût élevé. Basée sur une appréciation subjective Analyses instrumentales : pas toujours représentatives du ressenti humain. Nécessite des compétences dans le traitement du signal. Méthodes invasives la plupart du temps. Manque de méthodes prédictives.
Nutritionnelles	Méthodes normalisées avec des références AFNOR disponibles. Évolution des critères pris en compte, du fait de l'évolution des connaissances par exemple, controverses sur le cholestérol, remise en cause du lien entre consommation d'acides gras saturés et maladies cardio-vasculaires, évolution des recommandations. Les systèmes d'information nutritionnelle, comme « Nutri-Score » permettent d'agréger les données liées à la nutrition.	Méthodes exhaustives de caractérisation de la composition des nutriments et de l'apport calorique. Compromis politique sur un score qui apporte un message nutritionnel global simple.	Pas de prise en compte de l'impact du mode de préparation avant consommation ; ni de la biodisponibilité des nutriments, ni de la complexité des repas/régimes alimentaires au sein desquels les aliments peuvent se compléter ou avoir des effets antagonistes Limites d'un étiquetage nutritionnel agrégé (Anses).
Technologiques	Méthodes variées adaptées pour chaque classe de produit et chaque type de transformation. Par exemple, la fraicheur du poisson peut être évaluée de façon sensorielle ou bien par des méthodes microbiologiques. Certains critères physico-chimiques permettent de prévoir le comportement de la matière première (pH ultime pour les viandes par exemple) .	Des critères physico-chimiques fiables et des valeurs associées ont été identifiés pour prédire l'aptitude à la transformation et à la conservation de certaines matières premières d'origine animale (viande, lait).	Pas ou peu de méthodes rapides, non invasives et fiables permettant de prédire précocement les propriétés technologiques de certaines matières premières (viande, poisson). Appréciation plus ou moins complexe selon la nature de l'aliment Difficulté d'avoir des échantillons représentatifs (variabilité dans la filière viande).
Sanitaires	Techniques microbiologiques, chimiques, biochimiques, génétiques, immunologiques et sérologiques pour caractériser et dénombrer des micro-organismes et leurs produits. Les contaminants sont recherchés et quantifiés par des méthodes chimiques, biochimiques ou physiques spécifiques. Épidémiologie nutritionnelle et méthodes de toxicologie.	Techniques de détection précoce des microbes présents dans les prélèvements alimentaires, industriels.	Les cas sporadiques ne sont enregistrés.
Image	Outils de traçabilité, certification ou encore étiquetage environnemental, éthique… Des enquêtes de consommation ou socio-économiques évaluent ces outils. Le classement relatif des produits est largement dépendant du type d'impact (global, local) et de l'unité fonctionnelle choisie.	Définition de contrôles dans les cahiers des charges. Laboratoires agréés. Traçabilité des systèmes de production Des études récentes prennent en compte la qualité nutritionnelle du produit dans l'évaluation d'impact climatique, en remplaçant l'émission de GES/100 g de produit par celle de GES/g de nutriments contenus dans 100 g de produit.	Les critères pris en compte sont difficiles à mesurer, actualiser et harmoniser (exemple : niveau de bien-être des animaux d'élevage pour un système de production donné, toutefois des systèmes d'évaluation sont proposés). Les impacts environnementaux occupent une place croissante, mais sont complexes à évaluer.
Commerciales	Méthodes variées adaptées pour chaque classe de produit. Lai : critères basés sur les qualités technologiques et sanitaires. Viandes : évaluation réalisée visuellement par des opérateurs agréés en abattoir (ruminants) ou par des méthodes objectives (porcs). Œufs : l'intégrité est inspectée manuellement (mirage) ou de façon automatisée (analyse des fréquences obtenues par martèlement en divers endroits de la coquille).	Réglementations mise en place pour faciliter les échanges commerciaux Technologies de vidéo-imagerie en cours de développement pourraient aider à l'objectivation des évaluations (bovins, ovins), déjà appliquées en porc En Australie, le système MSA (Meat standard Australia) propose un modèle de prédiction de la qualité de la viande bovine intégrant davantage de critères, notamment organoleptiques.	Viande : critères essentiellement basés sa productivité (rendement, poids) en négligeant les autres volets de la qualité. Méthodes d'appréciations souvent subjectives (opérateurs de classement des carcasses), sauf pour le porc. Lait : critères essentiellement basés sur les propriétés technologiques et sanitaires. Méthodes d'appréciations souvent subjectives (opérateurs).
Usage	Enquêtes permettant de prendre en compte la représentativité large d'une population. Méthodes d'évaluation encore peu formalisées dans la littérature scientifique.	Possibilité de prendre en compte de nombreux critères et différents moyens d'enquête (interrogation directe en vis-à-vis ou par téléphone, questionnaire distribué par la poste, par mail ou mis en ligne sur internet par les réseaux sociaux).	Temps de réalisation relativement long. Variabilité des réponses d'où la nécessité d'enquêter un nombre élevé de personnes (environ 1 000). Réponses dépendantes des habitudes de consommation de la population enquêtée. Peu d'études longitudinales pour évaluer l'évolution des pratiques des consommateurs et leurs attentes sur la qualité d'usage.

6.5. Approches multicritères et compromis

L'analyse multicritère a pour objectif d'aider un décideur à faire un choix dans un environnement multidimensionnel, en se fondant sur un processus de décision recherchant la meilleure solution ou le meilleur compromis selon ses préférences. De nombreuses méthodes ont été développées grâce à des algorithmes. Elles peuvent être regroupées en deux catégories : les méthodes *a priori* lorsque les préférences peuvent être anticipées, et les méthodes *a posteriori* pour les situations plus complexes. Les indicateurs de durabilité sont environnementaux, économiques et sociaux. Pour les aliments, ces indicateurs renvoient aussi aux propriétés nutritionnelles et sanitaires lesquelles sont généralement moins bien renseignées (Tableau 6.4).

Tableau 6.4 Définitions des différents types d'indicateurs et leur utilisation

Dimension	Composante	Indicateur et méthodologie	Utilisation
Environnementale	Réchauffement climatique, acidification, couche d'ozone, occupation des sols, pollution des eaux de surface, émission de gaz à effets de serre	Méthodologie la plus connue est l'ACV (analyse du cycle de vie)	Très développé et bien appliqué, y compris en lien avec la production et la transformation alimentaire
Economique	Calcul de coûts/bénéfice et valeur monétaire Valorisation de territoires	Ex : taux de rentabilité interne, temps de retour sur investissement …	Développé, mais les méthodes intégrales sont peu utilisées (besoin de bases de données trop complètes)
Sociale	Création d'emplois, savoir-faire, préservation de patrimoine (races, recettes …) Sécurité alimentaire Génération de nuisances Qualité au travail	Concept d'ACV sociale	Très peu développé
Nutritionnelle	Composition et intérêt nutritionnel du produit alimentaire	Indicateur SAIN-LIM (effet favorable ou non de la composition d'un aliment sur la santé humaine)	Évalue les effets des aliments considérés souvent individuellement
Sanitaire	Sécurité microbiologique et chimique du produit alimentaire	Direct (nombre de cas de maladie), indirect (teneur en micro-organismes et contaminants) DALY	Rarement pris en compte car quantification difficile, mais quelques publications récentes existent

Quelques études proposent des approches multicritères appliquées aux produits d'origine animale. Ci-dessous sont présentés quatre exemples de travaux qui combinent des critères environnementaux avec les propriétés constitutives de la qualité des produits (nutritionnelles, sanitaires, organoleptiques…).

6.5.1 Recherches pour une alimentation « saine et durable »

À l'échelle de la planète, les travaux scientifiques concluent généralement que pour les animaux, ce sont les bovins viande et lait qui contribuent le plus aux émissions de GES, avec 41 % des émissions liées à l'élevage, alors que les animaux granivores, comme les porcs et les volailles (chair et œufs), contribuent, respectivement, pour 9 % et 8 %. Néanmoins, ces résultats dépendent beaucoup des critères et de l'unité fonctionnelle choisie qui est généralement le kilo produit ou l'hectare dans les travaux portant sur l'impact environnemental. L'unité fonctionnelle nutritionnelle (UFN) correspond, elle, à la contribution de 100 g d'aliment à la couverture, sans excès, des besoins quotidiens en énergie et en nutriments pour l'être humain. De manière plus générale, il a été montré que plus l'aliment présente une fonction nutritionnelle élevée, plus son impact environnemental est réduit. Ainsi, lorsque l'impact GES est exprimé par rapport au service nutritionnel rendu par l'aliment (en UFN), le lait et les produits laitiers affichent un impact fort en raison de leur densité nutritionnelle et de leur taux d'acides gras saturés élevés, suivis des viandes et œufs et non plus dans l'ordre viande>œuf>produit laitier, généralement admis dans les travaux sur l'impact climatique. Une autre étude propose de prendre en compte la qualité nutritionnelle du produit en remplaçant l'indicateur d'émissions de GES pour 100 g de produit par celui d'émissions de GES par gramme de nutriments contenus dans 100 g de produit ; ce changement d'unité fonctionnelle modifie le classement des systèmes d'élevage bovins allaitant, les systèmes herbagers étant moins bien classés avec le premier indicateur, mais mieux classés avec le second.

Ce constat a été confirmé et poussé plus loin par une étude récente de Clark *et al*. (2019)[93] sur les émissions de GES, l'utilisation des terres et de l'eau, l'acidification et l'eutrophisation. Elle conclut, d'une part, que les aliments associés aux impacts environnementaux les plus négatifs sont systématiquement associés aux augmentations les plus importantes du risque de maladie chez l'être humain adulte, et d'autre part, que les aliments associés à une amélioration nette de la santé présentent les impacts environnementaux les plus faibles (à l'exception du poisson, qui présente, néanmoins, des impacts environnementaux plus faibles que les viandes rouges). Autrement dit, les transitions alimentaires conduisant à une consommation accrue d'aliments plus sains améliorent la durabilité environnementale.

6.5.2 Qualité du lait et performance environnementale

Toutes les études scientifiques s'accordent sur le fait que l'impact environnemental le plus élevé est généré par l'étape de production du lait à la ferme, notamment à cause des émissions de GES. Une étude originale conduite sur un échantillon d'exploitations laitières françaises a cherché intégrer la performance environnementale et la qualité du lait[94], afin d'identifier les itinéraires techniques ou les exploitations présentant les meilleurs compromis environnement/qualité. La notation finale comprend une note environnementale basée sur une Analyse de cycle de vie (ACV) et une note sur la qualité du lait intégrant les propriétés organoleptiques, technologiques et nutritionnelles. Si les ACV ont permis de discriminer les exploitations selon leur performance environnementale, ce ne fut pas le cas pour la qualité de leur lait, les notes correspondantes étant trop resserrées. La méthode de notation a été jugée finalement trop sévère et variant selon que le lait était transformé en lait UHT ou en fromage. Aucune corrélation n'a été mise en évidence entre la performance environnementale et la qualité du lait.

L'impact environnemental de la transformation du lait est loin d'être neutre surtout quand l'on considère les consommations d'énergie et d'eau. Les différences d'impact selon le type de produit fini s'expliquent, en grande partie, par les quantités de lait différentes pour chaque fabrication et par les choix d'allocation (notamment, économiques) effectués. Des travaux méthodologiques encore pionniers explorent des itinéraires d'écoconception visant un compromis entre impacts environnementaux et rentabilité économique, notamment sur les procédés d'évaporation du lait écrémé, un procédé particulièrement énergivore[95]. Ces travaux pointent un manque de connaissances des impacts des procédés (y compris ceux liés aux effluents et aux emballages) sur les caractéristiques du produit alimentaire (et vice-versa), et un manque de modèles pour simuler les différentes étapes du procédé (évaporation, nettoyage).

6.5.3 Couple procédé/produits pour les produits carnés et chair de poissons

De nombreuses études récentes analysent, avec une approche multicritère, l'évolution des propriétés technologiques, organoleptiques, sanitaires (sécurité chimique) ou nutritionnelles des produits selon différents procédés de chauffage/cuisson. Quelques travaux s'intéressent à l'optimisation multicritère de la durabilité des procédés en lien avec la qualité des produits. Cette démarche a par exemple permis de concevoir un procédé innovant de fumage à chaud de poissons (par plaque radiante) optimisant conjointement la qualité des produits, les performances énergétiques et les performances de production[96 ; 97].

L'emballage fait aussi l'objet de recherches sur le compromis entre conservation du produit (propriétés sanitaires et d'usage) et impact environnemental. Concernant la conservation, une étude récente sur le jambon cuit[98] a exploré les compromis entre la réduction de consommation énergétique liée à la chaîne du froid (transport, chambre froide et vitrine réfrigérée dans les supermarchés, transport par le consommateur et conservation au réfrigérateur domestique), l'augmentation du risque sanitaire et le gaspillage alimentaire. Par différentes méthodes, le meilleur compromis entre ces trois composantes était de régler la température du réfrigérateur domestique à 4°C. Les approches proposées par cette étude ont ainsi démontré leur utilité dans l'aide à la décision pour évaluer l'impact global d'interventions aux objectifs antagonistes.

6.5.4 Optimisation de la formulation d'un produit composite : la pizza

Qu'il s'agisse d'optimiser le coût d'une recette, le profil nutritionnel ou la durée de vie d'un aliment, ou de remplacer un additif, la reformulation d'aliments est au cœur des préoccupations des industriels. Le profilage nutritionnel est une méthode permettant d'optimiser les recettes sur la base des besoins nutritionnels des individus. Elle trouve ses limites lorsqu'il s'agit de prendre en compte d'autres dimensions, telles que l'impact environnemental ou les propriétés organoleptiques des produits.

Un travail original de cartographie multicritère a caractérisé la diversité de l'offre en pizza dans le but d'identifier des leviers de reformulation prenant en compte à la fois des critères nutritionnels (composition…), environnementaux (ACV, rendement énergétique), technologiques (indice de *processing*), économiques (prix, volume de vente) et organoleptiques (analyse sensorielle par des panels)[699] Les résultats de l'étude ont montré qu'en moyenne, les pizzas qui contiennent plus de produits d'origine animale sont plus chères, présentent de moins bonnes propriétés nutritionnelles et un plus fort impact environnemental que les pizzas proportionnellement plus riches en produits végétaux. Ce travail a montré que le degré de transformation des pizzas (indice de *processing*) était peu corrélé aux autres indicateurs. Il l'était négativement à la qualité nutritionnelle, notamment à la teneur en sel et à la densité calorique et au Nutri-Score. Sur la base des perceptions des consommateurs, les chercheurs ont par ailleurs cartographié les caractéristiques des pizzas les plus appréciées. La confrontation des deux résultats a permis de pointer les reformulations possibles des recettes pour améliorer, à la fois, les caractéristiques nutritionnelles et environnementales des produits, tout en conservant une bonne appréciation

organoleptique. Cet exemple montre l'intérêt de développer des méthodes et des indicateurs lorsqu'il s'agit de concilier les différentes propriétés des produits alimentaires.

6.6. Instruments pour agir sur les comportements alimentaires

Les politiques alimentaires s'inscrivent dans un principe général d'orienter les choix des consommateurs, sans contraindre. Les analystes des comportements alimentaires distinguent deux registres : soit les interventions en appellent à notre réflexion (système dit réfléchi), soit elles agissent sur l'environnement d'achat et de consommation, en jouant sur nos automatismes (système dit automatique). Certains outils peuvent miser sur les deux effets, comme les *nudges* qui cherchent à modifier les comportements des individus par des « coups de pouce », plus ou moins explicites[100]. Sont ici résumés les principaux instruments mobilisables pour agir sur les comportements.

6.6.1 Éducation et campagnes d'information

L'éducation et l'information sont deux piliers des politiques alimentaires, mais les évaluations constatent qu'elles sont insuffisantes pour changer les comportements les moins vertueux[101]. L'observation montre que ce sont les consommateurs déjà les mieux informés qui sont le plus à l'écoute des conseils. L'impact d'un message nutritionnel dépend, en effet, de la connaissance préalable du sujet. Cette inadéquation des messages de santé publique envers les populations éloignées de l'éducation alimentaire, souvent également pauvres, est régulièrement dénoncée. Plusieurs analyses sociologiques mettent en avant l'importance de la durée de sensibilisation pour que des changements alimentaires s'opèrent durablement. Une revue de littérature[102] souligne par exemple que les programmes éducatifs nutritionnels longs (plus de cinq mois) sont plus efficaces. Les bifurcations dans les trajectoires de vie constituent par ailleurs des moments favorables pour le passage d'un style d'alimentation à un autre.

Plusieurs travaux analysent les leviers visant à réduire la consommation de viande. Les campagnes en faveur de jours sans viande, comme les « lundis sans viande »[103] sont des initiatives qui existent à l'internationale. Une étude hollandaise[104] classe ainsi les types de consommateurs selon le nombre de jours où le repas est « avec viande » et conclut que les messages « moins mais mieux » ou « moins mais varié » semblent agir plus efficacement que les « jours sans » qui peuvent être suivis de jours où er la quantité mangée augmente. Une enquête australienne préconise de mettre en avant la santé et l'hédonisme (goût et plaisir à manger) plutôt que l'environnement, dont l'analyse des impacts est complexe et source de confusion.

6.6.2 Étiquetage et applications numériques

Le dynamisme des initiatives sur l'étiquetage confirme la forte demande d'information et de transparence des consommateurs. Des travaux récents, comme ceux de Janssen *et al*. (2016)[105], étudient les conditions de mise en œuvre d'un étiquetage sur le modèle de l'œuf pour d'autres produits animaux tels que le lait ou la viande. Ils montrent qu'en moyenne les consommateurs ont non seulement une attitude positive à l'égard de systèmes d'élevage plus respectueux du bien-être des animaux en leur offrant un accès extérieur et un espace suffisant, mais qu'ils sont également disposés à payer un prix plus élevé pour les produits issus de tels systèmes.

Des concertations sont lancées sur l'affichage des modes d'élevage. Le Conseil national de l'alimentation a ainsi mobilisé un groupe de travail sur l'étiquetage du mode de production pour les filières animales. Ses résultats sont attendus mi-2020. Des réflexions sont en cours au niveau de l'Union européenne pour un système européen d'étiquetage sur le bien-être animal. Des initiatives ont déjà été proposées et appliquées pour la viande de volailles par l'association Étiquette bien-être animal (AEBEA) qui regroupe des ONG de protection animale, des distributeurs et des producteurs de volailles : cinq niveaux de bien-être animal renseignés par une lettre de A à E, A étant le plus élevé, E correspondant au niveau minimal réglementaire, et accompagnés d'informations sur le mode d'élevage des volailles (parcours arboré, accès à l'extérieur, bâtiment amélioré, bâtiment en progrès, en bâtiment). Cette association annonce un autre référentiel en 2020 pour la viande de porc, puis pour d'autres filières animales. Cette initiative est en phase avec le souhait des consommateurs de plus de transparence sur les modes d'élevage des animaux. L'étiquetage devrait également permettre de mieux identifier les produits issus des modes d'élevage les plus favorables (qualité des produits, bien-être animal, environnement).

La saturation d'information et les possibles confusions sont des problèmes étudiés de longue date en sociologie de l'alimentation, et qui soulignent la difficulté pour le consommateur de trier l'ensemble des informations disponibles, parfois contradictoires et issues de différentes sources. Cette confusion est surtout documentée pour les produits issus de l'agriculture biologique, avec des travaux sur la double labellisation AB et autre signalisation écologique[106].

Le lancement du Nutri-Score semble initier une nouvelle étape avec des indicateurs nutritionnels synthétiques. Parallèlement à Nutri-Score qui est le logo de référence, la création de bases de données participatives, telles que Open food facts, offre des grilles de lecture des étiquettes. Au travers d'une application en ligne (type Yuka, Kwalito, Siga...), l'acheteur, en scannant le code-barres du produit accède à différentes informations dont la liste des additifs. Ces applications orientent vers des produits généralement plus sains, mais avec des critères potentiellement plus marketing et pour certains non validés scientifiquement. Outre une vigilance quant à la fiabilité des conseils apportés aux consommateurs, ces applications posent la question du traitement des données personnelles et des comportements des consommateurs.

Des initiatives de différentes natures commerciales, comme « C'est qui le patron ? **»,** cherchent à impliquer les consommateurs dans l'élaboration de la qualité d'un produit. Le principe est le suivant : les consommateurs votent en ligne pour les engagements qu'ils souhaitent voir pris par les acteurs de la chaîne agroalimentaire. À chaque engagement correspond un coût ; les coûts s'additionnent pour former le prix final. Par exemple, l'engagement « pâturage 3 à 6 mois dans l'année » implique un surcoût du lait fixé à 0,06 €/l. Une fois le cahier des charges validé, le produit est commercialisé. Après avoir été adopté sur le lait, cette démarche a essaimé pour des pizzas, des œufs, des fromages, du beurre... in fine, les consommateurs s'engageant dans la rémunération des producteurs, acquièrent ainsi une place dans les négociations commerciales entre producteurs et opérateurs de l'aval.

6.6.3 Taxes et subventions

Outre l'information, les incitations économiques sont l'autre moyen d'influencer les comportements de consommation, en renchérissant le coût d'acquisition des aliments ou ingrédients dont on souhaite réduire la consommation, ou en soutenant l'achat de ceux que l'on veut promouvoir. En donnant une valeur monétaire aux émissions de GES et autres impacts environnementaux, des travaux ont déterminé des niveaux de taxation sur la viande et mesuré leurs effets sur le déplacement des choix des consommateurs. Pour que l'effet soit important, il faut un niveau de taxe élevé. Cette stratégie comporte alors un risque de pénalisation des populations pauvres. Des études récentes tâchent d'y remédier, en s'intéressant aux effets redistributifs de ces taxes entre les différentes classes de ménages. Une abondante littérature étudie, par ailleurs, l'effet de taxations ou de subventions d'aliments sur la santé, mais peu de travaux portent spécifiquement sur les produits d'origine animale. L'étude de Springmann *et al*. (2018)[107] teste les effets d'une taxe sur la viande de boucherie et sur les produits élaborés à base de viande sur la santé. Selon ce travail, les coûts liés à la santé, attribuables à la consommation de viande de boucherie et de charcuterie en 2020 s'élevaient à 285 milliards de dollars US à l'échelle mondiale, dont les trois-quarts dus à la consommation de charcuterie. Les auteurs préconisent une taxation qui augmente en moyenne de 25 % le prix de la charcuterie (allant de 1 % dans les pays à faible revenu à plus de 100 % dans les pays à revenu élevé) et de 4 % les prix de la viande de boucherie (allant de 0,2 % à plus de 20 %). La modélisation de l'effet de ces taxes aboutit sur une baisse de la consommation de charcuterie de 16 % en moyenne (de 1 % à 25 %) tandis que la consommation de viande de boucherie augmenterait modérément de 4 % (0,2 % à plus de 20 % selon les régions du monde en fonction des tendances à l'œuvre).

6.6.4 Influence du contexte d'achat et de consommation

D'autres actions cherchent à modifier l'environnement d'achat ou le contexte de consommation afin d'orienter les consommateurs vers des options préférables. Il peut s'agit des conditions d'accès à un produit : en raréfiant ses points de vente, on présume que l'effort supplémentaire pour se le procurer va modifier l'architecture des choix et détourner une partie des consommateurs ou réduire la fréquence de leurs achats. Le positionnement et l'exposition des produits dans les rayons d'un magasin, les étiquettes, l'emballage, le format…, influencent également l'acte d'achat. Ces études montrent ainsi le rôle des distributeurs dans les comportements de consommateurs. On peut également jouer sur la taille des portions, les réduire notamment, et sur la diversité de l'offre.

Conclusions : enseignements pour la recherche et l'action publique

Cette expertise se situe à une période charnière de questionnements concernant l'alimentation et l'élevage[108]. Elle a démarré après les États généraux de l'alimentation (EGA) conclus en 2018 et a vu l'actualisation des recommandations alimentaires baissant la contribution préconisée de certains produits animaux au régime alimentaire.

Un cadre d'analyse qui a permis de pointer les enjeux des différentes propriétés constitutives de la qualité des aliments d'origine animale

Les propriétés sanitaires sont des prérequis, du fait du caractère périssable des produits d'origine animale. Les dangers biologiques sont bien encadrés. Si la composition des produits bruts est assez bien documentée, la présence et les effets des composés néoformés issus des transformations, des additifs ajoutés, des résidus et contaminations chimiques, et les effets 'cocktails' sont encore peu étayés. L'évaluation des risques associés (toxicité, interactions entre composés) est peu accessible ou de façon parcellaire dans la littérature scientifique.

Les propriétés commerciales sont à la base du paiement aux éleveurs, ce qui a conduit à les favoriser au détriment des autres propriétés constitutives de la qualité. Or elles ne préjugent pas des propriétés organoleptiques et/ou nutritionnelles, importantes pour les consommateurs. Des études ont ainsi montré l'absence de pertinence du classement européen EUROP quant aux propriétés organoleptiques de la viande bovine. Un système de classement de la viande de ruminants développé en Australie a fait évoluer la hiérarchie des critères en introduisant des critères organoleptiques dans le prix payé à l'éleveur et dans l'information aux consommateurs. C'est un exemple de rééquilibrage entre les différentes propriétés constitutives de la qualité. Le développement des méthodes d'analyse spectrales pourrait aussi permettre d'élargir la gamme des propriétés évaluées. Cependant, le sujet fait débat en France et en Europe, certains acteurs craignent une concurrence avec les signes de qualité supérieure (Label Rouge) ou ne veulent pas changer.

Les propriétés organoleptiques affectent l'achat et la consommation. Leur évaluation évolue avec les changements dans les modes de consommation et les préférences des mangeurs. Elle se heurte à plusieurs difficultés : la complexité des déterminants de l'odeur et de la flaveur qui fragilise la fiabilité des indicateurs ; le manque de méthodes prédictives ; la variabilité des préférences selon les habitudes alimentaires ou culturelles qui questionne l'extrapolation des résultats expérimentaux ; et enfin les possibles discordances entre les résultats de jurys entraînés et de jurys de consommateurs dits naïfs.

Les propriétés nutritionnelles reflètent la capacité d'un aliment à répondre aux besoins alimentaires en ce qui concerne les nutriments. Les critères d'appréciation sont en constante évolution (avec l'évolution des connaissances). Les aliments d'origine animale renferment des composés d'intérêt nutritionnels et spécifiques. Ils présentent une teneur élevée en protéines de bonne qualité nutritionnelle et ils permettent de couvrir plus facilement que les produits d'origine végétale les besoins en minéraux tels que le fer, zinc et calcium. De plus, il faut souligner les apports en acides gras polyinsaturés oméga-3 à longues chaînes et la vitamine B12 spécifique des ruminants. Des indicateurs nutritionnels comme le Nutri-Score permettent d'informer le consommateur sur la qualité nutritionnelle et ainsi de l'aider à choisir entre plusieurs produits d'un même type.

Les propriétés technologiques relèvent de l'aptitude de la matière première à la transformation (rendements après salage, fumage, affinage, cuisson, par exemple), à la conservation (sensibilité à l'oxydation, au développement de microorganismes). Elles intéressent essentiellement les industriels de l'agroalimentaire. Les critères et indicateurs d'évaluation varient selon les produits et les procédés. Certains critères physico-chimiques permettent de prévoir le comportement de la matière première (pH des viandes, par exemple), mais on relève une difficulté de prédiction de ces propriétés en amont, sur l'animal ou en début de chaîne à l'abattage.

Les propriétés d'usage renvoient à la praticité du produit. Bien que ces propriétés prennent de l'importance avec le développement des produits « prêts à manger », les méthodes d'évaluation sont encore peu formalisées dans la littérature scientifique.

Les propriétés d'image couvrent les dimensions éthiques, culturelles et environnementales associées aux conditions de production, de transformation, de distribution et l'origine d'un aliment. Les connaissances tangibles sur ces dimensions

participent de manière importante à la perception de l'aliment par les consommateurs et peuvent interagir fortement avec leur perception des autres propriétés. Elles sont souvent valorisées dans les produits sous signe de qualité. Les méthodes, critères et indicateurs évaluant le bien-être animal, la naturalité, la proximité, les impacts environnementaux, la traçabilité, les contrôles… sont nombreux et complexes à appréhender et à harmoniser. L'étiquetage est le principal moyen d'informer le consommateur. La multiplication des enjeux interroge les arbitrages des consommateurs confrontés à une potentielle profusion d'informations.

La construction de la qualité : des facteurs impliqués tout au long de la chaîne d'élaboration, des étapes majeures et des antagonismes à gérer

La qualité des aliments peut s'améliorer ou se dégrader tout au long de leur chaîne d'élaboration. La littérature est abondante sur les effets des facteurs d'élevage, moins sur les trajectoires de transformation et de formulation des produits. Il existe peu de méta-analyses qui permettraient de gagner en robustesse dans l'évaluation quantitative des effets des différents facteurs déterminants de la qualité.

Des antagonismes entre propriétés ont été relevés. Par exemple, une pratique d'élevage peut avoir des effets positifs sur certaines propriétés et des effets négatifs sur d'autres. Ne pas castrer les porcs mâles est favorable aux propriétés d'image (bien-être animal) et commerciales (teneur plus élevée des carcasses en viande maigre), mais défavorable aux propriétés organoleptiques (risques d'odeurs indésirables à la cuisson). Pour la viande ovine, l'élevage à l'herbe est favorable aux propriétés nutritionnelles et d'image du produit, mais défavorable à ses propriétés organoleptiques (risques d'odeurs indésirables) et commerciales (risque d'état d'engraissement insuffisant). La spécialisation de la fonction productive des cheptels vers la ponte ou le lait est aussi antagonique avec certaines propriétés d'images et l'éthique faute de débouchés pour les jeunes mâles (poussins, chevreaux, veaux). Des recherches sont en cours dans la filière œufs sur la détection du sexe *in ovo* et sur l'utilisation de lignées de poules à double finalité (production d'œufs et de viande). Pour certaines filières laitières aussi, ce constat relance le débat sur l'intérêt du retour d'une certaine mixité dans les fonctions productives. Des effets antagonistes entre les propriétés commerciales et les autres propriétés constitutives de la qualité sont aussi marqués pour la viande de porc et de poulet standard, conduisant à des anomalies du tissu musculaire, qui altèrent sa fonction physiologique et son intégrité. La viande est déstructurée. En conséquence les filets de poulet standard sont majoritairement valorisés dans des plats préparés. Pour le jambon cuit de porc, ces problèmes de déstructuration entraînent des pertes au tranchage, donc des pertes économiques, du gaspillage. A cela s'ajoute une interrogation quant au bien être de ces animaux en élevage. Si l'étiologie n'est pas totalement connue, la sélection génétique est fortement questionnée.
Enfin, la priorité donnée à la productivité et aux propriétés commerciales rend également difficile l'adoption de pratiques plus agroécologiques. Ainsi, la sélection pour le développement musculaire et la réduction du tissu adipeux chez les bovins allaitants (et à un degré moindre chez les ovins allaitants) rend hasardeuse la finition des jeunes animaux à l'herbe, pourtant favorable aux propriétés nutritionnelles et d'image de la viande

Au niveau de la transformation, les procédés utilisés (salage, fermentation, fumage, affinage…) s'inspirent de recettes souvent traditionnelles. Pourtant les produits d'origine animale sont aussi à la base de nombreux produits ou ingrédients entrant dans des recettes diverses, avec des formulations et des procédés de transformation aussi très variés. Les aliments peuvent alors résulter d'un assemblage complexe de différentes matières premières, dont des additifs alimentaires (conservateurs, exhausteurs de goût, antioxydants, épaississants, colorants…) et subir des opérations de cuisson, de mélange, de fractionnement, de réassemblage, de formulation… Les aliments d'origine animale sont donc concernés par le débat cherchant à qualifier la qualité des produits alimentaires selon leur degré de formulation (composition) et de transformation (traitement thermique, séchage…). Certaines formulations et procédés de transformation peuvent être délétères pour certaines propriétés. Par exemple, pour les volailles, la formulation des nuggets conduit à passer d'un produit riche en protéines et à faible teneur en lipides (filet) à un produit élaboré riche en lipides, sucres et sel. Concernant les additifs, l'usage des sels nitrités, très fréquent en charcuterie, est débattu. Des recherches sont en cours sur des alternatives au nitrite, pour garantir une innocuité sanitaire et un rendu organoleptique acceptable pour les consommateurs.

Les étapes majeures où s'élabore, s'altère, et peut se restaurer la qualité

Certaines propriétés varient peu avec les conditions d'élevage. C'est le cas, par exemple, des teneurs en protéines et minéraux et du profil en acides aminés de la viande et de la chair de poisson, qui sont stables pour une espèce et un type de muscle, et

très peu affectés par le génotype, l'âge de l'animal et ses conditions d'élevage. De même, pour le lait, si sa teneur en protéines totales est variable, en revanche, la composition de celles-ci varie nettement moins. Le constat est le même pour les œufs. Il existe donc peu de leviers pour modifier cette composition, qui est d'ailleurs adéquate en regard des besoins nutritionnels humains.

D'autres propriétés sont au contraire variables selon les conditions d'élaboration du produit. C'est le cas, par exemple de la teneur en lipides, ainsi que de la composition en acides gras de ces lipides. Toutes les filières animales cherchent à augmenter la teneur en acides gras polyinsaturés oméga-3 (AGPI n-3) en jouant sur l'alimentation de l'animal. Chez les herbivores, l'alimentation à l'herbe permet d'obtenir de manière naturelle des produits laitiers et carnés plus riches à la fois en AGPI n-3 et en antioxydants. Ces intérêts nutritionnels se doublent d'intérêts organoleptiques (flaveur plus intense, produits plus typés) et d'image (élevage à l'herbe), souvent valorisés à travers des signes de qualité.

Certaines étapes de l'élaboration des produits animaux présentent des risques majeurs de dégradation de la qualité du produit. Le stress de pré-abattage et une mauvaise maîtrise de la technologie d'abattage (système d'étourdissement, saignée et éviscération, refroidissement et stockage des carcasses) affectent l'ensemble des propriétés. La cuisson des viandes est essentielle pour la maîtrise des dangers microbiologiques et le développement de la flaveur. Toutefois, des températures trop élevées ou des cuissons à la flamme peuvent compromettre les propriétés organoleptiques et nutritionnelles, voire sanitaires à travers la formation de composés néoformés. Les effets de l'étape de cuisson à l'échelle domestique restent cependant très peu renseignés dans la littérature scientifique.

À l'inverse, certaines étapes permettent de restaurer de la qualité ou de compenser une qualité médiocre à l'issue des étapes précédentes, ou encore d'anticiper des défauts de qualité. C'est le cas, par exemple, des stratégies d'alimentation qui permettent de restaurer les teneurs en AGPI n-3 à longue chaîne chez poissons nourris à base de végétaux. Le hachage de la viande bovine résout, lui, les défauts de tendreté des morceaux de l'avant de la carcasse riches en collagène. L'ajout d'antioxydants dans l'alimentation animale ou lors de la formulation des aliments, permet de limiter les effets délétères de la peroxydation lipidique dans le tractus digestif du mangeur. Les consommateurs de viande rouge et de charcuteries peuvent aussi diminuer ces impacts au cours du repas, en mangeant un produit laitier riche en calcium ou un produit riche en antioxydants, ce qui montre l'intérêt de raisonner à l'échelle d'un repas.

Authentification des conditions d'élaboration des produits et de leur origine

Les demandes des consommateurs pour plus de transparence quant aux conditions d'élevage et de transformation, l'engagement de certaines filières à cet égard à travers des cahiers des charges, la complexité de la chaîne d'élaboration des produits et les risques de fraudes renforcent l'importance de l'authentification, comme l'atteste la croissance des études sur ce sujet. La majorité d'entre elles portent sur l'authentification des conditions d'élevage de l'animal et son origine, mais peu sur les conditions de transformation et de conservation du produit. Si les méthodes de contrôle de l'adultération d'espèce (mélanges frauduleux de viandes ou de laits de différentes espèces animales) sont opérationnelles, les travaux conduits jusqu'à présent sur les autres enjeux d'authentification (élevage à l'herbe de l'animal, par exemple) sont encore, pour beaucoup, au stade de la « preuve de concept ».

Une récente prise en compte de la qualité des produits dans les unités fonctionnelles relatives à l'impact environnemental de leur production

Un des moyens pour gérer les antagonismes à l'échelle du produit, et prendre en compte la durabilité des modes de production et de transformation, passe par l'analyse multicritère. Les méthodes d'optimisation multicritères existent et sont des outils d'accompagnement de la performance en entreprise. Dans les ACV portant sur les produits alimentaires, l'unité fonctionnelle dominante est la masse de produit. Cependant des études récentes montrent qu'une unité fonctionnelle en lien avec la composition du produit (par exemple, émissions de GES (kg éqCO_2) par g d'acides gras polyinsaturés n-3 contenus dans le produit, ou surface en terres arables nécessaires à la production d'une tonne de protéines) améliore la compréhension de l'impact environnemental lié à la fonction essentielle de l'alimentation, se nourrir, et peut changer le classement des produits quant à leur impact environnemental.

Enjeux spécifiques aux produits sous signe de qualité

Les produits sous SIQO constituent un autre modèle pour lequel des attributs autres que le prix sont privilégiés. L'analyse des cahiers des charges des produits sous SIQO montre l'importance accordée aux propriétés d'image. Le Label Rouge se distingue des autres par son engagement sur une qualité organoleptique supérieure. Concernant le label AB, la variabilité des propriétés constitutives de la qualité des produits est soulignée dans toutes les filières animales ; elle est liée à une

moindre sélection des animaux (volailles), à une moindre utilisation d'intrants (ruminants, monogastriques), et à une plus grande diversité des conditions d'élevage (habitat et ressources alimentaires) pour le porc. Les conséquences de cette variabilité pour la transformation ne sont pas abordées dans la littérature scientifique. Deux méta-analyses portant sur les propriétés nutritionnelles du lait de vache et de la viande produits en AB ont été récemment publiées. Celle sur le lait montre des propriétés nutritionnelles plus favorables pour le lait produit en AB (augmentation des teneurs en AGPI n-3 et en vitamine E, rapport LA/ALA plus faible). Celle sur la viande est moins robuste, car fondée sur beaucoup moins d'études et possiblement biaisée par la moindre teneur en lipides des viandes produites en AB.

Les produits d'origine animale et la santé humaine

Les produits animaux sont encore au centre de la fourniture des protéines des régimes occidentaux. Ils permettent de couvrir les besoins en minéraux chez les personnes ayant des risques de déficit (personnes âgées, femmes en âge de procréer, enfants). Les risques microbiologiques et chimiques liés à la consommation d'aliments d'origine animale restent une préoccupation majeure. Parmi les résidus chimiques, les antibiotiques posent des questions particulières à cause du développement de l'antibiorésistance.

La contribution des produits animaux aux maladies chroniques

Les travaux d'épidémiologie et les études mécanistiques attachés aux pathologies chroniques d'origine alimentaire montrent que la consommation de produits animaux peut avoir des effets positifs sur la santé ou des effets négatifs s'ils sont consommés en excès. Avec des niveaux de preuve convaincants, la consommation de poisson est associée à une diminution du risque de mortalité prématurée (-65 ans), celle des produits laitiers à une diminution du risque de cancer colorectal. A l'inverse, des risques accrus sont liés à des consommations excessives de charcuteries et de viandes de boucherie hors volailles, ce qui conduit à recommander des plafonds de consommation (150 g et 500 g par semaine, respectivement). Le message de réduction de consommation s'adresse aux deux tiers des Français dépassant le niveau de consommation recommandé pour la charcuterie et au tiers qui dépasse celui recommandé pour la viande de boucherie. Comme une part de la viande rouge provient du troupeau laitier et pour garder une cohérence globale, le nouveau PNNS recommande d'aller vers une consommation de 2 produits laitiers par jour au lieu de 3 auparavant.

Les études épidémiologiques et recommandations nutritionnelles concernent l'échelle de groupes de produits. Elles ne prennent pas en compte la grande variabilité de composition des produits liée à leur élaboration. Au sein des catégories charcuterie et viande de boucherie, on trouve ainsi une grande diversité de produits ayant des compositions variées (teneurs en fer, sel, nitrite, antioxydants, profil en acides gras) et ayant subi des procédés de transformation divers (cuisson, séchage, fermentation…). Pour préciser les recommandations, il manque notamment un indicateur composite reflétant le degré de changements de composition et de structure opéré par la(es) transformation(s) des aliments. Les experts soulignent le besoin de mieux connecter les communautés scientifiques à l'échelle de l'élevage, de la transformation, de la nutrition humaine et de l'épidémiologie pour mieux qualifier les liens entre les pratiques d'élevage et de transformation et les effets sur la santé.

Enfin, sur ces produits associés à la fois à des risques et à des bénéfices nutritionnels, des approches bénéfices/risques (approche de l'espérance de vie corrigée de l'incapacité ou DALY) pourraient aider à apporter une image globale de l'effet sur la santé des produits animaux. Les données sont pour beaucoup disponibles et d'un point de vue méthodologique, cet objectif est atteignable.

Quelles transitions vers des régimes moins riches en produits animaux ?

Le message de réduction de la consommation des aliments d'origine animale cible, en premier lieu, les gros consommateurs de produits carnés. Même dans les pays où la population consomme, en moyenne, des protéines d'origine animale plus que de besoin, certaines populations peuvent avoir une consommation faible, notamment certaines personnes âgées et celles en situation de précarité. Les effets à long terme d'une absence complète de consommation de produits animaux sur la santé ne sont pas encore bien connus. Des recherches sont par ailleurs nécessaires pour comprendre les leviers et les freins aux pratiques de substitution entre aliments, selon les populations, ainsi que les modalités de la transition d'un régime alimentaire vers un autre.

Des pistes d'action publique et des besoins de recherche

À l'issue du travail, l'expertise a identifié des pistes pour l'action publique et des besoins de recherche qui sont synthétisés dans le tableau ci-dessous.

	Enseignements de l'Esco	Pistes pour l'action publique	Besoins de recherche
Consommateurs	Exigence accrue des consommateurs sur les conditions de production et de transformation et besoin de réassurance Évolution rapide des comportements et des attentes des consommateurs	Campagnes d'information, étiquetage Observatoire de signaux faibles et prospectives sur l'évolution de la consommation des aliments d'origine animale	Anticiper les évolutions dans les attentes et les comportements des consommateurs Construire des solutions en rupture Développer des outils d'étiquetage Étudier les nouvelles pratiques et leurs enjeux
	Perte de savoir-faire culinaires au profit d'aliments « prêts à consommer »	Renforcement de l'éducation (qualité nutritionnelle, saisonnalité…)	Identifier les pratiques à domicile et analyser leur impact
Santé	Les connaissances ne permettent pas actuellement de prendre en compte la variabilité des conditions de production et de transformation des aliments		Mieux comprendre les liens entre santé et conditions de production et de transformation des aliments, y compris l'ultra-transformation
	Certains classements des aliments utilisés dans les recommandations nutritionnelles sont apposés sur les étiquètes ou indiqués dans des applications numériques. Ils sont débattus dans la communauté scientifique.	Contrôler/accompagner le développement des applications numériques pour les choix alimentaires	Affiner les méthodes de classements des aliments en tenant compte des procédés d'élaboration des produits
Production et transformation	Constat de la primauté des propriétés commerciales sur les autres propriétés constitutives de la qualité; primauté à la quantité produite et faible prise en compte des autres dimensions, en particulier pour les produits standards	Encourager les actions collectives incitant l'ensemble des acteurs à mieux prendre en compte les différentes dimensions de la qualité Accompagner le développement des SIQO et le respect du bien-être animal Soutenir la transition des systèmes d'élevage vers la production d'aliments d'origine animale de qualité	Mieux prendre en compte les différentes dimensions de la qualité, par exemple pour l'information aux consommateurs, le paiement aux éleveurs, et la sélection génétique Instruire/construire les transitions vers des pratiques/systèmes d'élevage favorables à la qualité des aliments d'origine animale
	Manque d'information et de travaux sur le devenir des animaux ne rentrant pas dans les canons des propriétés commerciales actuellement requises	Accompagner les acteurs dans les évolutions des systèmes de production visant à valoriser les animaux ne rentrant pas dans les canons des propriétés commerciales et maintenir le plus d'animaux dans la chaîne alimentaire (circuits courts, développement de signes de qualité…)	Instruire des solutions innovantes permettant de mieux valoriser les animaux des deux sexes, de réforme et d'allonger les carrières de production des femelles
	Manque de méta-analyses sur la quantification des effets des conditions de production et de transformation des aliments sur leur qualité.		Réaliser des méta-analyses pour gagner en robustesse dans l'évaluation quantitative de l'effet des différents facteurs déterminants de la qualité
	Importance de l'étape de pré-abattage sur la qualité des viandes	Limiter le stress en facilitant le maillage des abattoirs sur le territoire	Évaluer les risques associés (sanitaires, bien-être animal) aux dispositifs d'abattoirs mobiles. Développer des procédures pour maitriser ces risques et mieux gérer les coproduits et déchets produits par l'abattage
Gestion de la qualité	Travaux émergents sur les unités fonctionnelles qui prennent en compte la qualité des produits. Développement des approches multicritères sans qu'aucune ne couvre toutes les propriétés constitutives de la qualité		Développer des approches et outils multicritères pour gérer les antagonismes. Développer des outils peu invasifs pour évaluer et gérer la variabilité
	Demande de garanties sur les conditions de production et de transformation des aliments	Adapter les contrôles en cohérence avec l'intensification des échanges internationaux	Développer et tester des méthodes d'authentification transférables aux opérateurs

Abréviations et glossaire

Abréviations et sigles

AB : Agriculture biologique. Les aliments issus d'élevages certifiés en AB sont des produits AB ou bio.
ACV : Analyse du cycle de vie
AFSSA : Agence française de sécurité sanitaire des aliments (jusque 2008)
AVC : Accidents vasculaires cérébraux
ADEME : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
ADN : Acide désoxyribonucléique
AGMI : Acide gras mono-insaturé
AGPI : Acide gras poly-insaturé
AGPI n-3 et n-6 : (acides gras polyinsaturés) oméga-3 et oméga-6
AGS : Acide gras saturé
AHA : Amines aromatiques (produit néoformé lors de la cuisson d'aliments riches en protéines)
AHC : Amines hétérocycliques (produit néoformé lors de la cuisson d'aliments riches en protéines)
ALA : Acide alpha-linolénique : oméga-3, précurseur des omégas-3 à longue chaîne
ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
AOP : Appellation d'origine protégée
CCAF : Comportements et consommations alimentaires en France
CIRC : Centre international de recherche sur le cancer
CJCE : Cour de justice de l'Union européenne
CLA : Ou ALC, acides linoléiques conjugués
CNA : Comité national de l'alimentation
CNRS : Centre national de la recherche scientifique
COP21 : Conférence de Paris de 2015 sur le changement climatique
CREDOC : Centre de recherche pour l'étude et l'observation des conditions de vie
DALY : *Disability adjusted life years*, ou espérance de vie corrigée de l'incapacité (EVCI)
DFD : *Dark Firm Dry* : viandes à coupes sombres, fermes et sèches
DGAL : Direction générale de l'alimentation (au ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation)
DGCCRF : Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes
DGS : Direction générale de la santé
DHA : AGPI docosahexaénoïque (oméga-3 à longue chaîne)
DJA : dose journalière admissible
EFSA : Agence européenne de sécurité alimentaire, *European Food Safety Authority*
EGA : États généraux de l'alimentation
EHEC : *Escherichia coli* entéro-hémorragique
ENSAIA : École nationale supérieure d'agronomie et des industries alimentaires
EPA : acide eicosapentaénoïque (AGPI oméga-3 à longue chaîne)
ETM : élément trace métallique
ESCo : Expertise scientifique collective
EUROP Classement des carcasses bovines et ovines en Europe selon leur conformation. E étant la meilleure conformation.
FAO : Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
GES : Gaz à effet de serre
GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GMS : Grandes et moyennes surfaces
HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques (produit néoformé lors de la cuisson d'aliments au contact du gras avec une flamme)
HPP : High pressure processing, traitement par hautes pressions
HR : Impact sur le risque ou « hasard ratio »
HVE : Haute valeur environnementale
IC : Intervalle de confiance
IGP : Indication géographique protégée
INAO : Institut national de la qualité et de l'origine

INRAE : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement
Kg cal : Kilocalorie
Kg ec (ou tec) : Kilogramme équivalent carcasse (ou tonne équivalent carcasse)
LA : Acide linoléique (oméga-6, précurseur de l'acide arachidonique (ARA), AGPI oméga-6 à longue chaîne)
LMR : Limite maximum de résidu
LR : Label Rouge
MAMA : Maladie d'Alzheimer et maladies apparentées
MCV : Maladies cardio-vasculaires
MSA : *Meat standard Australia* (Système de classement des carcasses bovines en Australie)
OCDE : Organisation de coopération et de développement économiques
OCO : Organismes certificateurs
ODG : Organisme de défense et de gestion
OGM : Organisme génétiquement modifié
OMS : Organisation mondiale de la santé (*World Health Organization* ()
OQALI : Observatoire de la qualité des aliments
PAC : Politique agricole commune
PAI : Produits alimentaires intermédiaires
PCB : Polychlorobiphényles (Contaminants chimiques, bioaccumulables et persistants dans l'environnement)
PCR : Amplification en chaîne par polymérase *(Polymerase Chain Reaction*)
PME : Petites et moyennes entreprises
PNAN : Programme national de l'alimentation et de la nutrition
PNNS : Programme national nutrition santé
POP : *Persistent organic polluant*
PSE : *Pale, soft, exsudative*, viande pâle, molle, exsudative ou viande pisseuse
R&D : Recherche et développement
RR : Risque relatif
SHS : Sciences humaines et sociales
SIQO : Signes officiels d'identification de la qualité et de l'origine
SPIR : Spectroscopie dans le proche infrarouge
STG : Spécialité traditionnelle garantie
TB : Taux butyreux du lait (matière grasse)
TIAC : Toxi-infection alimentaire
TP : Taux protéique du lait
UE : Union européenne
UFN : Unité fonctionnelle nutritionnelle (contribution de 100 g d'aliment à la couverture, sans excès, des besoins quotidiens en énergie et en nutriments pour l'être humain)
UHT : Ultra haute température (traitement thermique permettant de stériliser, le plus souvent appliqué au lait de consommation)
WCRF : *World Cancer Research Fund International* ou Fonds mondial de recherche contre le cancer (

Glossaire

Terme	Définition
Antibiorésistance	Résistance aux traitements antibiotiques des micro-organismes se développant suite à l'utilisation d'antibiotiques
Antioxydant	Molécule permettant d'éviter l'oxydation et donc d'éviter les effets délétères de celle-ci.
Biodisponibilité	Facilité d'absorption du nutriment fourni par un aliment au cours de la digestion
Bioefficacité	Efficacité des nutriments contenus dans un aliment à couvrir en quantité les besoins nutritionnels de l'être humain
Blockchain	Système de traçabilité basé sur les nouvelles technologies du numérique permettant la transparence sur les modes de production.
Caillebotis	Sol perforé permettant l'écoulement des déjections animales, utilisé en bâtiment d'élevage.
Circuit court	Mode de distribution impliquant au maximum un intermédiaire entre le producteur et le consommateur. Ne correspond pas forcément à approvisionnement local, dont l'aire géographique de référence n'est pas officiellement définie.
Conformation	État de développement musculaire d'une carcasse, permet leur classement dans le référentiel EUROP.
Consommation	Peut être calculée selon la méthode des bilans (production -export + import + variation de stock), la méthode des panels de consommateurs (relevé des achats d'un panel représentatif de consommateurs) ou une évaluation par enquête nutritionnelle.
Cracking	Fractionnement des matières premières alimentaires en différents nutriments et molécules aux fonctionnalités spécifiques.
Écoconception	Conception d'un produit cherchant à respecter les principes du développement durable.
Effet cocktail	Effet résultant de l'interaction d'un contaminant avec un autre contaminant ou avec l'aliment
Egalim	Nom de la loi pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et une alimentation saine et durable promulguée le 30 octobre 2018 publiée à la suite des États généraux de l'alimentation
Essentiel	Macro ou micronutriment ne pouvant être synthétisé par l'être humain et devant être apporté par l'alimentation.
Expertise scientifique collective	État des lieux critique des connaissances scientifiques disponibles et publiées par un collectif d'experts interdisciplinaire.
Fardeau sanitaire	Impact des dangers microbiologiques sur la santé humaine.
Fer héminique	Forme de fer présente dans la viande et les poissons, plus disponible lors de la digestion que le fer non héminique, efficace contre l'anémie.
Flexitarien	Consommateur réduisant sa consommation de viande, dans des proportions pouvant être variables.
Gaping	Défaut de déstructuration de la chair de poisson, correspondant à un détachement des feuillets musculaires, faisant apparaître des trous dans le filet
Gaz à effet de serre	Gaz dont l'augmentation de la concentration dans l'atmosphère participe au réchauffement climatique
Légumineuse	Plante riche en protéine et fixant l'azote de l'air.
Locavore	Consommateur se fournissant de manière locale.
Maladies chroniques d'origine alimentaire	Maladies comme le cancer, l'obésité, le diabète de type 2, les maladies cardio-vasculaires…, non infectieuses et associées à des comportements alimentaires déséquilibrés.
Méta-analyse	Analyse scientifique reprenant et synthétisant l'ensemble des résultats d'études scientifiques sur un sujet spécifique
Néoformé	Produit se formant au cours de fabrication, transformation ou préparation culinaire ayant des effets potentiellement délétères sur la santé humaine.
Nitrosamine	Composé N-nitrosé formé à partir de nitrite de potassium et de nitrate de sodium, qui est associée au cancer colorectal.

Oméga-3	Acides gras de la famille des acides gras polyinsaturés, favorable à la santé humaine. Teneurs élevée dans les poissons gras et dans les aliments issus d'animaux nourris à l'herbe ou avec des aliments riches en oméga 3.
Oméga-6	Acides gras de la famille des acides gras polyinsaturés. Teneurs élevées dans les œufs et la viande. Nutriment essentiel donc à apporter à travers l'alimentation, mais sans excès
Ovoproduits	Produits issus de la séparation du blanc et du jaune d'œuf et/ou de leur préparation, peut-être de première transformation (destinée aux agro-industriels) ou de seconde transformation (destinée aux consommateurs).
pH ultime (pHu)	Mesuré sur la carcasse après abattage, le pH ultime est un indicateur de qualité de la viande.
Propriétés	Correspondent aux dimensions constitutives de la qualité d'un aliment, au nombre de sept dans l'expertise : propriétés organoleptiques, nutritionnelles, sanitaires, commerciales, technologiques, d'usage et d'image.
Propriétés commerciales	À la base du paiement aux éleveurs
Propriétés d'image	Renvoient aux caractéristiques et évaluations environnementales, culturelles, éthiques et à la provenance des produits.
Propriétés nutritionnelles	Capacité d'un produit à répondre aux besoins nutritionnels des consommateurs
Propriétés organoleptiques	Caractéristiques perçues par les organes des sens (couleur, texture, jutosité, odeur, flaveur).
Propriétés sanitaires	Relatives aux dangers ou aux bénéfices associés à la consommation d'un aliment
Propriétés technologiques	Aptitudes de la matière première à la transformation et à la conservation
Propriétés d'usage	Renvoient à la praticité de l'aliment, c'est-à-dire à la facilité d'utilisation et de consommation.
Qualité	Se définit par l'ensemble des propriétés conférant à un aliment l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés ou implicites d'un utilisateur
Race (ou souche) mixte	Race sélectionnée à la fois pour la production de viande et pour la production de lait ou d'œuf. Dans l'aviculture ces souches sont aussi appelées « lignées à double finalité ».
Régime alimentaire occidental	Régime alimentaire riche en protéines, matière grasse, sucres et en aliments d'origine animale. Concerne principalement l'Amérique du Nord, l'Europe et l'Australie.
Séquençage	Identification des caractéristiques génétiques (ADN)
Transformation	Procédé ou suite de procédés technologiques modifiant les propriétés des aliments en vue de leur consommation.
Triploïdie	Présence de trois chromosomes (au lieu de deux chromosomes généralement). La triploïdie est induite sur les poissons de façon à améliorer leurs performances.
Typicité	Caractéristique d'un aliment permettant de le relier à un terroir particulier.
Ultra-transformation	Plus haut degré de transformation d'un produit alimentaire. Au qualificatif « ultra-transformation », les technologues préfèreraient celui d'« ultra formulation » du produit
Végétalien	Consommateur ayant exclu tout aliment d'origine animale, y compris par exemple le miel
Végétarien	Consommateur ayant exclu la viande de son alimentation, et potentiellement les œufs, les produits de la mer et/ou les produits laitiers.
Viande de boucherie	Viande non transformée vendue à la coupe, sous forme brute ou hachée d'espèces bovine, ovine, caprine, chevaline ou porcine. La volaille est exclue de cette catégorie.
Viande transformée	Viandes qui ont été transformées par des procédés de salage, séchage, fermentation ou fumage pour améliorer le goût ou la conservation. Au niveau international les viandes transformées incluent les viandes appertisées alors qu'au niveau français, elles correspondent quasi exclusivement aux charcuteries.
White striping	Défaut de déstructuration du filet de volaille (stries blanches)
Wooden breast	Défaut de déstructuration du filet de volaille (zone dure)

Sélection bibliographique

[1]Oudin, B.; Gassie, J., 2018. Anticiper les comportements alimentaires de demain: un outil de sensibilisation destiné aux acteurs de la filière alimentaire. *Notes et études socio-économiques*, 43 (mars): 7-42. http://www.epsilon.insee.fr/jspui/bitstream/1/74313/1/nese43-1_2018.pdf

[2]Clark, B.; Stewart, G.B.; Panzone, L.A.; Kyriazakis, I.; Frewer, L.J., 2017. Citizens, consumers and farm animal welfare: A meta-analysis of willingness-to-pay studies. *Food Policy*, 68: 112-127. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodpol.2017.01.006

[3]FranceAgriMer, 2018a. *Les marchés des produits laitiers, carnés et avicoles. Bilan 2017, perspectives 2018*. Paris: FranceAgriMer, 144 p. https://www.franceagrimer.fr/content/download/55817/document/BIL-VIA-LAI-Bilan2017-Perspectives2018.pdf

[4]Tavoularis, G.; Sauvage, E., 2018. *Les nouvelles générations transforment la consommation de viande*. Credoc : consommation et modes et de vie, n°300: 4 p. https://www.credoc.fr/download/pdf/4p/CMV300.pdf

[5]Duchène, C.; Lambert, J.L.; Tavoularis, G., 2017. La consommation de viande en France. *Les Cahiers du CIV*: 68 p.

[6]Fourat, E.; Lepiller, O., 2017. Forms of Food Transition: Sociocultural Factors Limiting the Diets' Animalisation in France and India. *Sociologia Ruralis*, 57 (1): 41-63. http://dx.doi.org/10.1111/soru.12114

[7]Anses, 2017. Étude individuelle nationale des consommations alimentaires 3 (INCA 3). Rapport d'expertise. Paris: Anses, (Saisine n° 2014-SA-0234), 535 p. https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2014SA0234Ra.pdf

[8]FranceAgriMer, 2018b. Consommation de produits de la pêche et de l'aquaculture 2017 Paris : FranceAgriMer (Données et bilan FranceAgriMer), 128 p. https://www.franceagrimer.fr/Mediatheque/INFORMATIONS-ECONOMIQUES/PECHE-ET-AQUACULTURE/CHIFFRES-ET-BILANS/2019/Consommation-des-produits-de-la-peche-et-de-l-aquaculture-Donnees-2017

[9]Nys, Y.; Jondreville, C.; Chemaly, M.; Roudaut, B., 2018. *Qualités des œufs de consommation*. In: Berthelot Valérie (coord.), ed. Alimentation des animaux et qualité de leurs produits. Paris: Tec & Doc Lavoisier (Coll. Agriculture d'Aujourd'hui) Partie 2 - Déterminants alimentaires et non alimentaires en élevage de la qualité des produits (Chapitre 9), 316-333.

[10]Nozieres-Petit, M.O.; Baritaux, V.; Couzy, C.; Derville, M.; Perrot, C.; Sans, P.; You, G., 2018. Transformations of the French meat and dairy product sectors: the role of breeders. *Inra Productions Animales*, 31 (1): 69-82. http://dx.doi.org/10.20870/productions-animales.2018.31.1.2221

[11]Idele, 2018. *Production laitière dans les montagnes de l'UE : quelles stratégies après les quotas laitiers ?* Économie de l'élevage, n° 494: 48 p.

[12]Jauneau, P.; Daudey, E.; Hoibian, S., 2016. *Baromètre de la perception des risques sanitaires 2015 : les risques sanitaires préoccupent moins*. Paris: CREDOC, Collection des rapports, n°R323, 45 p. https://www.credoc.fr/download/pdf/Rapp/R323.pdf

[13]Adamiec, C., 2015. When Healthful Eating Becomes an Obsession. In: Fischler, C., ed. *Personal Dietary Requirements*. Paris: Odile Jacob, 151-161.

[14]Lepiller, O., 2016. Valoriser le naturel dans l'alimentation. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 51 (2): 73-80. http://dx.doi.org/10.1016/j.cnd.2016.02.006

[15]Burdge, G.C.; Tan, S.Y.; Henry, C.J., 2017. Long-chain n-3 PUFA in vegetarian women: a metabolic perspective. *Journal of Nutritional Science*, 6. http://dx.doi.org/10.1017/jns.2017.62

[16]Anses, 2011. *Actualisation des apports nutritionnels conseillés pour les acides gras*. Rapport d'expertise collective. Paris: Anses, (Saisine n°2006-SA-0359), 323 p.

[17]Soliman, G.A., 2018. Dietary Cholesterol and the Lack of Evidence in Cardiovascular Disease. *Nutrients*, 10 (6). http://dx.doi.org/10.3390/nu10060780

[18]Bechthold, A.; Boeing, H.; Schwedhelm, C.; Hoffmann, G.; Knuppel, S.; Iqbal, K.; De Henauw, S.; Michels, N.; Devleesschauwer, B.; Schlesinger, S.; Schwingshackl, L., 2019. Food groups and risk of coronary heart disease, stroke and heart failure: A systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59 (7): 1071-1090. http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2017.1392288

[19]Black, M.M., 2008. Effects of B-12 and folate deficiency on brain development in children. *Food and Nutrition Bulletin*, 29 (2): S126-S131. http://dx.doi.org/10.1177/15648265080292s117

[20]Hibbeln, J.R.; Northstone, K.; Evans, J.; Golding, J., 2018. Vegetarian diets and depressive symptoms among men. *Journal of Affective Disorders*, 225: 13-17. http://dx.doi.org/10.1016/j.jad.2017.07.051

[21]Soppi, E.T., 2018. Iron deficiency without anemia - a clinical challenge. *Clinical Case Reports*, 6 (6): 1082-1086. http://dx.doi.org/10.1002/ccr3.1529

[22]Abel, M.H.; Caspersen, I.H.; Meltzer, H.M.; Haugen, M.; Brandlistuen, R.E.; Aase, H.; Alexander, J.; Torheim, L.E.; Brantsaeter, A.L., 2017. Suboptimal Maternal Iodine Intake Is Associated with Impaired Child Neurodevelopment at 3 Years of Age in the Norwegian Mother and Child Cohort Study. *Journal of Nutrition*, 147 (7): 1314-1324. http://dx.doi.org/10.3945/jn.117.250456

[23]Van Cauteren, D.; Le Strat, Y.; Sommen, C.; Bruyand, M.; Tourdjman, M.; Jourdan-Da Silva, N.; Couturier, E.; Fournet, N.; De Valk, H.; Desenclos, J.C., 2018. Estimation de la morbidité et de la mortalité liées aux infections d'origine alimentaire en France métropolitaine, 2008–2013. *Bulletin épidémiologique hebdomadaire*, 1: 2-10. http://beh.santepubliquefrance.fr/beh/2018/1/pdf/2018_1_1.pdf

[24]World Health Organization, 2009. *Principles and methods for the risk assessment of chemicals in food*. Geneva: WHO (Environmental Health Criteria 240), 752 p. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/ 10665/44065/WHO_EHC_240_eng.pdf

[25]InVS, 2015. Données épidémiologiques des infections à Campylobacter en France. Paris : InVS.

[26]Van Cauteren, D.; De Valk, H.; Sommen, C.; King, L.A.; Silva, N.J.D.; Weill, F.X.; Le Hello, S.; Megraud, F.; Vaillant, V.; Desenclos, J.C., 2015. Community Incidence of Campylobacteriosis and Nontyphoidal Salmonellosis, France, 2008-2013. *Foodborne Pathogens and Disease*, 12 (8): 664-669. http://dx.doi.org/10.1089/fpd.2015.1964

[27]Tressou, J.; Ben Abdallah, N.; Planche, C.; Dervilly-Pinel, G.; Sans, P.; Engel, E.; Albert, I., 2017. Exposure assessment for dioxin-like PCBs intake from organic and conventional meat integrating cooking and digestion effects. *Food and Chemical Toxicology*, 110: 251-261. http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2017.10.032

[28]Cross, A.J.; Ferrucci, L.M.; Risch, A.; Graubard, B.I.; Ward, M.H.; Park, Y.; Hollenbeck, A.R.; Schatzkin, A.; Sinha, R., 2010. A Large Prospective Study of Meat Consumption and Colorectal Cancer Risk: An Investigation of Potential Mechanisms Underlying this Association. *Cancer Research*, 70 (6): 2406-2414. http://dx.doi.org/10.1158/0008-5472.can-09-3929

[29]Ollberding, N.J.; Wilkens, L.R.; Henderson, B.E.; Kolonel, L.N.; Le Marchand, L., 2012. Meat consumption, heterocyclic amines and colorectal cancer risk: The Multiethnic Cohort Study. *International Journal of Cancer*, 131 (7): E1125-E1133. http://dx.doi.org/10.1002/ijc.27546

[30]Soncu, E.D.; Kolsarici, N., 2017. Microwave thawing and green tea extract efficiency for the formation of acrylamide throughout the production process of chicken burgers and chicken nuggets. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97 (6): 1790-1797. http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.7976

[31]Union Européenne, 2011. Règlement (UE) n 1129/2011 de la Commission du 11 novembre 2011 modifiant l'annexe II du règlement (CE) no 1333/2008 du Parlement européen et du Conseil en vue d'y inclure une liste de l'Union des additifs alimentaires Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE [Internet]. *JOUE* L, 32011R1129 Nov 12, 2011. http://data.europa.eu/eli/reg/2011/1129/oj/eng

[32]Union Européenne, 2017. Règlement d'exécution (UE) 2017/962 de la Commission du 7 juin 2017 suspendant l'autorisation de l'éthoxyquine en tant qu'additif destiné à l'alimentation de toutes les espèces et catégories d'animaux (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE). *JOUE* L 145 du 08.06.2017, p.13-17.

[33]WCRF; AICR; CUP Expert Report, 2018a. *Meat, fish and dairy products and the risk of cancer. Diet, Nutrition, Physical Activity and Cancer: a Global Perspective*. London: WCRF International, 78 p. https://www.wcrf.org/sites/default/files/Meat-Fish-and-Dairy-products.pdf

[34]WCRF; AICR; CUP Expert Report, 2018b. *Diet, Nutrition, Physical Activity: Energy balance and body fatness. The determinants of weight gain, overweight and obesity. Diet, Nutrition and Cancer: a Global Perspective*. London: WCRF International, 123 p. https://www.wcrf.org/

[35]Haut conseil de la santé publique, 2017. *Prévention de la maladie d'Alzheimer et des maladies apparentées*. Paris: HCSP, 124 p. https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/184000561.pdf

[36]Schwingshackl, L.; Schwedhelm, C.; Hoffmann, G.; Lampousi, A.M.; Knuppel, S.; Iqbal, K.; Bechthold, A.; Schlesinger, S.; Boeing, H., 2017c. Food groups and risk of all-cause mortality: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *American Journal of Clinical Nutrition*, 105 (6): 1462-1473. http://dx.doi.org/10.3945/ajcn.117.153148

[37]Thomsen, S.T.; Pires, S.M.; Devleesschauwer, B.; Poulsen, M.; Fagt, S.; Ygil, K.H.; Andersen, R., 2018. Investigating the risk-benefit balance of substituting red and processed meat with fish in a Danish diet. *Food and Chemical Toxicology*, 120: 50-63. http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2018.06.063

[38]Gamage, S.M.K.; Dissabandara, L.; Lam, A.K.Y.; Gopalan, V., 2018. The role of heme iron molecules derived from red and processed meat in the pathogenesis of colorectal carcinoma. *Critical Reviews in Oncology Hematology*, 126: 121-128. http://dx.doi.org/10.1016/j.critrevonc.2018.03.025

[39]Bastide, N.M.; Chenni, F.; Audebert, M.; Santarelli, R.L.; Tache, S.; Naud, N.; Baradat, M.; Jouanin, I.; Surya, R.; Hobbs, D.A.; Kuhnle, G.G.; Raymond-Letron, I.; Gueraud, F.; Corpet, D.E.; Pierre, F.H.F., 2015. A Central Role for Heme Iron in Colon Carcinogenesis Associated with Red Meat Intake. *Cancer Research*, 75 (5): 870-879. http://dx.doi.org/10.1158/0008-5472.can-14-2554

[40]Pufulete, M., 2008. Intake of dairy products and risk of colorectal neoplasia. *Nutrition Research Reviews*, 21 (1): 56-67. http://dx.doi.org/10.1017/s0954422408035920

[51]Soedamah-Muthu, S.S.; Verberne, L.D.; Ding, E.L.; Engberink, M.F.; Geleijnse, J.M., 2012. Dairy consumption and incidence of hypertension: a dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Hypertension* (Dallas, Tex. : 1979), 60 (5): 1131-1137. http://dx.doi.org/10.1161/hypertensionaha.112.195206

[42]Ralston, R.A.; Lee, J.H.; Truby, H.; Palermo, C.E.; Walker, K.Z., 2012. A systematic review and meta-analysis of elevated blood pressure and consumption of dairy foods. *Journal of human hypertension*, 26 (1): 3-13. http://dx.doi.org/10.1038/jhh.2011.3

[43]Hamley, S., 2017. The effect of replacing saturated fat with mostly n-6 polyunsaturated fat on coronary heart disease: a meta-analysis of randomised controlled trials. *Nutrition Journal*, 16. http://dx.doi.org/10.1186/s12937-017-0254-5

[44]Schwingshackl, L.; Hoffmann, G.; Lampousi, A.M.; Knuppel, S.; Iqbal, K.; Schwedhelm, C.; Bechthold, A.; Schlesinger, S.; Boeing, H., 2017. Food groups and risk of type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *European Journal of Epidemiology*, 32 (5): 363-375. http://dx.doi.org/10.1007/s10654-017-0246-y

[45]Beaudart, C.; Zaaria, M.; Pasleau, F.E.O.; Reginster, J.Y.; Bruyere, O., 2017. Health Outcomes of Sarcopenia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Plos One*, 12 (1). http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0169548

[46]CREDOC, 2013. *Comportements et consommations alimentaires en France*. Paris: CREDOC.

[47]Mariotti, F.; Gardner, C.D., 2020. Adéquation de l'apport en protéines et acides aminés dans les régimes végétariens. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*. http://dx.doi.org/10.1016/j.cnd.2019.12.002

[48]Alles, B.; Baudry, J.; Mejean, C.; Touvier, M.; Peneau, S.; Hercberg, S.; Kesse-Guyot, E., 2017. Comparison of Sociodemographic and Nutritional Characteristics between Self-Reported Vegetarians, Vegans, and Meat-Eaters from the NutriNet-Sante Study. Nutrients, 9 (9). http://dx.doi.org/10.3390/nu9091023

[49]De Smet, S.; Vossen, E., 2016. Meat: The balance between nutrition and health. A review. *Meat Science*, 120: 145-156. http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.008

[50]Haider, L.M.; Schwingshackl, L.; Hoffmann, G.; Ekmekcioglu, C., 2018. The effect of vegetarian diets on iron status in adults: A systematic review and meta-analysis. *Critical reviews in food science and nutrition, 58 (8): 1359-1374. http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2016.1259210*

[51]FranceAgriMer, 2017. *Les filières pêche et aquaculture en France : production, entreprises, échanges, consommation*. Paris: FranceAgriMar (Chiffres clés de FranceAgriMer), 36 p.

[52]Medale, F.; Le Boucher, R.; Dupont-Nivet, M.; Quillet, E.; Aubin, J.; Panserat, S., 2013. Plant based diets for farmed fish. *Inra Productions Animales*, 26 (4): 303-315.

[53]Berthelot, V.; Gruffat, D., 2018. 12. Fatty acid composition of muscles in cattle and lamb. In: Noziere, P.; Sauvant, D.; Delaby, L., eds. *Feeding system for ruminants*. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 193-202.

[54] Mourot, J.; de Tonnac, A., 2015. The Bleu Blanc Coeur path: impacts on animal products and human health. Ocl-Oilseeds and Fats Crops and Lipids, 22 (6). http://dx.doi.org/10.1051/ocl/2015051

[55]République Française, 1964. Décret n°64-334 du 16 avril 1964 relatif à la protection de certains animaux domestiques et aux conditions d'abattage. *JORF* du 18 avril 1964 page 3485. https://www.lhttps://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000691637&dateTexte

[56]République Française, 1997. Arrêté du 12 décembre 1997 relatif aux procédés d'immobilisation, d'étourdissement et de mise à mort des animaux et aux conditions de protection animale dans les abattoirs. *JORF* n°296 du 21 décembre 1997 page 18574. https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000204001&categorieLien=id (EN_39129)

[57]République Française, 2018. Loi n°2018-938 du 30 octobre 2018 pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et une alimentation saine, durable et accessible à tous. *JORF* n°0253 du 1 novembre 2018.

[58]Nacher-Mestre, J.; Ballester-Lozano, G.F.; Garlito, B.; Portoles, T.; Calduch-Giner, J.; Serrano, R.; Hernandez, F.; Berntssen, M.H.G.; Perez-Sanchez, J., 2018. Comprehensive overview of feed-to-fillet transfer of new and traditional contaminants in Atlantic salmon and gilthead sea bream fed plant-based diets. *Aquaculture Nutrition*, 24 (6): 1782-1795. http://dx.doi.org/10.1111/anu.12817

[59]Julia, C. , Hercberg, S., & World Health Organization. (2017). Development of a new front-of-pack nutrition label in France: the five-colour Nutri-Score. *Public Health Panorama*, 3(04), 712-725. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/325207/php-3-4-712-725-eng.pdf

[60]Monteiro, C.A.; Cannon, G.; Moubarac, J.C.; Levy, R.B.; Louzada, M.L.C.; Jaime, P.C., 2018. The UN Decade of Nutrition, the NOVA food classification and the trouble with ultra-processing. *Public Health Nutrition*, 21 (1): 5-17. http://dx.doi.org/10.1017/s1368980017000234

[61]Adjibade, M.; Julia, C.; Alles, B.; Touvier, M.; Lemogne, C.; Srour, B.; Hercberg, S.; Galan, P.; Assmann, K.E.; Kesse-Guyot, E., 2019. Prospective association between ultra-processed food consumption and incident depressive symptoms in the French NutriNet-Sante cohort. *BMC medicine*, 17: article numbre 78, 1-13. http://dx.doi.org/10.1186/s12916-019-1312-y

[62]Commission européenne, 2004. Règlement (CE) n°853/2004 du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2004 fixant des règles spécifiques d'hygiène applicables aux denrées alimentaires d'origine animale. *JOUE* L 139 du 30/04/2004, p.55 -205. http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex:32004R0853

[63]Esnouf, C.; Russel, M.; Bricas, N., 2011. duALIne-durabilité de l'alimentation face à de nouveaux enjeux. Questions à la recherche. In: Esnouf, C.; Russel, M.; Bricas, N., eds. *duALIne-Durabilité de L'alimentation Face À de Nouveaux Enjeux*. Paris: Editions Quae, 185-195. https://www.cirad.fr/content/download/5886/56801/version/2/file/duALIne_Conclusion_nov2011.pdf

[64]Bax, M.L.; Aubry, L.; Ferreira, C.; Daudin, J.D.; Gatellier, P.; Remond, D.; Sante-Lhoutellier, V., 2012. Cooking Temperature Is a Key Determinant of in Vitro Meat Protein Digestion Rate: Investigation of Underlying Mechanisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60 (10): 2569-2576. http://dx.doi.org/10.1021/jf205280y

[65]Dupont, D.; Boutrou, R.; Menard, O.; Jardin, J.; Tanguy, G.; Schuck, P.; Haab, B.B.; Leonil, J., 2010. Heat Treatment of Milk During Powder Manufacture Increases Casein Resistance to Simulated Infant Digestion. *Food Digestion*, 1 (1): 28-39. http://dx.doi.org/10.1007/s13228-010-0003-0

[66]Lacroix, M.; Bon, C.; Bos, C.; Leonil, J.; Benamouzig, R.; Luengo, C.; Fauquant, J.; Tome, D.; Gaudichon, C., 2008. Ultra High Temperature Treatment, but Not Pasteurization, Affects the Postprandial Kinetics of Milk Proteins in Humans. *Journal of Nutrition*, 138 (12): 2342-2347. http://dx.doi.org/10.3945/jn.108.096990

[67]Sobral, M.M.C.; Cunha, S.C.; Faria, M.A.; Ferreira, I., 2018. Domestic Cooking of Muscle Foods: Impact on Composition of Nutrients and Contaminants. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17 (2): 309-333. http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12327

[68]Douny C., El Khoury R., Delmelle J., Brose F., Degrand G., Farnir F., Clinquart A., Maghuin-Rogister G., Scippo M.-L., 2015 Effect of storage and cooking on the fatty acid profile of omega-3 enriched eggs and pork meat marketed in Belgium. *Food science & nutrition* vol3, issue 2, https://doi.org/10.1002/fsn3.19

[69]Guerin-Dubiard, C.; Anton, M., 2010. Fractionnement de l'œuf (chapitre 7). In: Nau, F.; Guérin-Dubiard, C.; Baron, F.; Thapon, J.L., eds. *Science et technologie de l'œuf et des ovoproduits, Vol 2, De l'œuf aux ovoproduits*. Paris: Tec & Doc Lavoisier.

[70]Barbut, S., 2015. Principles of meat processing. In: *The science of poultry and meat processing*. Guelph, Canada: University of Guelph, 89 p.

[71]Safa, H.; Gatellier, P.; Lebert, A.; Picgirard, L.; Mirade, P.S., 2015. Effect of Combined Salt and Animal Fat Reductions on Physicochemical and Biochemical Changes During the Manufacture of Dry-Fermented Sausages. *Food and Bioprocess Technology*, 8 (10): 2109-2122. http://dx.doi.org/10.1007/s11947-015-1563-3

[72]Chaillou, S.; Christieans, S.; Rivollier, M.; Lucquin, I.; Champomier-Verges, M.C.; Zagorec, M., 2014. Quantification and efficiency of Lactobacillus sakei strain mixtures used as protective cultures in ground beef. *Meat Science*, 97 (3): 332-338. http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.08.009

[73]Reicks, M.; Kocher, M.; Reeder, J., 2018. Impact of Cooking and Home Food Preparation Interventions Among Adults: A Systematic Review (2011-2016). *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 50 (2): 148-172. http://dx.doi.org/10.1016/j.jneb.2017.08.004

[74]Lipinski, B.; Hanson, C.; Lomax, J.; Kitinoja, L.; Waite, R.; Searchinger, T., 2013. *Reducing Food Loss and Waste, Installment 2 of Creating a Sustainable Food Future*. World Research Institute Working Paper, 40.

[75]Bechaux, J.; Gatellier, P.; Le Page, J.F.; Drillet, Y.; Sante-Lhoutellier, V., 2019. A comprehensive review of bioactive peptides obtained from animal byproducts and their applications. *Food & Function*, 10 (10): 6244-6266. http://dx.doi.org/10.1039/c9fo01546a

[76]Resano, H., Perez Cuet F. J. A., de Barcellos, M. D., Velfen Olsen, N., Grunert, K. G., Verbeke, W., 2011.... *Consumer satisfaction with pork meat and derived products in five European counttries.* Apetite, vol 56, Issue 1, p. 167-170....

[77]Albuquerque, T.G.; Oliveira, M.; Sanches-Silva, A.; Bento, A.C.; Costa, H.S., 2016. The impact of cooking methods on the nutritional quality and safety of chicken breaded nuggets. *Food & Function*, 7 (6): 2736-2746. http://dx.doi.org/10.1039/c6fo00353b

[78]Talon, R.; Leroy, S.; Vermassen, A.; Christieans, S., 2015. Réduction des nitrates, nitrites dans les produits carnés: quelles conséquences ? Quelles solutions ? *Innovations Agronomiques*, 44: 25-34.

[79]Union Européenne, 2011. Règlement (UE) n°1169/2011 du Parlement européen et du Conseil du 25 octobre 2011 concernant l'information des consommateurs sur les denrées alimentaires, modifiant les règlements (CE) n°1924/2006 et (CE) n°1925/2006 du Parlement européen et du Conseil et abrogeant la directive 87/250/CEE de la Commission, la directive 90/496/CEE du Conseil, la directive 1999/10/CE de la Commission, la directive 2000/13/CE du Parlement européen et du Conseil, les directives 2002/67/CE et 2008/5/CE de la Commission et le règlement (CE) n°608/2004 de la Commission Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE. *JOUE* L 304 du 22/11/2011 p. 0018–0063.

[80]Union Européenne, 2008. Règlement (CE) n°543/2008 de la Commission du 16 juin 2008 portant modalités d'application du règlement (CE) n°1234/2007 du Conseil en ce qui concerne les normes de commercialisation pour la viande de volaille. *JOUE* L 157 du 17.6.2008, p. 46–87.

[81]République Française, 2018. Loi n°2018-938 du 30 octobre 2018 pour l'équilibre des relations commerciales dans le secteur agricole et alimentaire et une alimentation saine, durable et accessible à tous. *JORF* n°0253 du 1 novembre 2018.

[82]Union européenne, 2007. Règlement (CE) n°834/2007 du Conseil du 28 juin 2007 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques et abrogeant le règlement (CEE) n°2092/91. *JOUE* L 189 du 20.07.2007, p. 1–23.

[83]Roche, B.; Dedieu, B.; Ingrand, S., 2000. Analyse comparative des cahiers des charges Label Rouge gros bovins de boucherie. *Rencontres Recherches Ruminants*, 7: 263-266.

[84]Leroux, J.; Fouchet, M.; Haegelin, A., 2009. Organic breeding: from the French public standard to European regulation. *Productions Animales*, 22 (3): 151-160. https://www6.inra.fr/productions-animales_eng/content/download/5705/80843/version/1/file/Prod_Anim_2009_22_3_02.pdf

[85]Union européenne, 2018. Règlement (UE) 2018/848 du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2018 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques, et abrogeant le règlement (CE) no 834/2007 du Conseil. *JOUE* L 150 du 14.6.2018, p. 1–92.

[86]Union européenne, 2018. Règlement d'exécution (UE) 2018/1584 de la Commission du 22 octobre 2018 modifiant le règlement (CE) n° 889/2008 portant modalités d'application du règlement (CE) n° 834/2007 du Conseil relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques en ce qui concerne la production biologique, l'étiquetage et les contrôles (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE.). *JOUE* L 264 du 23.10.2018, p. 1–12.

[87]Union européenne, 2002. Règlement (CE) n°178/2002 du Parlement européen et du Conseil du 28 janvier 2002 établissant les principes généraux et les prescriptions générales de la législation alimentaire, instituant l'Autorité européenne de sécurité des aliments et fixant des procédures relatives à la sécurité des denrées alimentaires. *JOUE* L 031 du 01.02.2002, p. 1-24. http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex %3A32002R0178

[88]Dumont, B.; Dupraz, P.; Aubin, J.; Batka, M.; Beldame, D.; Boixadera, J.; Bousquet-Melou, A.; Benoit, M.; Bouamra-Mechemache, Z.; Chatellier, V.; Corson, M.S.; Delaby, L.; Delfosse, C.; Donnars, C.; Dourmad, J.Y.; Duru, M.; Edouard, N.; Fourat, E.; Frappier, L.; Friant-Perrot, M.; Gaigné, C.; Girard, A.; Guichet, J.L.; Haddad, N.; Havlik, P.; Hercule, J.; Hostiou, N.; Huguenin-Elie, O.; Klumpp, K.; Langlais, A.; Lemauviel-Lavenant, S.; Le Perchec, S.; Lepiller, O.; Letort, E.; Levert, F.; Martin, B.; Méda, B.; Mognard, E.L.; Mougin, C.; Ortiz, C.; Piet, L.; Pineau, T.; Ryschawy, J.; Sabatier, R.; Turolla, S.; Veissier, I.; Verrier, E.; Vollet, D.; Van Der Werf, H.; Wilfart, A., 2016. *Rôles, impacts et services issus des élevages en Europe*. Rapport final. Paris : Inra, 1 032 p.

[89]République Française, 2016. Décret n°2016-1137 du 19 août 2016 relatif à l'indication de l'origine du lait et du lait et des viandes utilisés en tant qu'ingrédient. *JORF* n°0194 du 21 août 2016 texte n°18.

[90]Unionn européenne, 2004. Règlement (CE) n°852/2004 du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2004 relatif à l'hygiène des denrées alimentaires. *JOUE* L 139 du 30/04/2004, p.1-54.

[91]Danezis, G.P.; Tsagkaris, A.S.; Camin, F.; Brusic, V.; Georgiou, C.A., 2016. Food authentication: Techniques, trends & emerging approaches. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 85 (Part A, special Issue): 123-132. http://dx.doi.org/10.1016/j.trac.2016.02.026

[92]Prache S., Martin B., Coppa M. 2020. Review : Authentication of grass-fed meat and dairy products from cattle and sheep. Animal, 14 :4, 854-863.

[93]Clark, M.A.; Springmann, M.; Hill, J.; Tilman, D., 2019. Multiple health and environmental impacts of foods. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116 (46): 23357-23362. http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1906908116

[94]Madoumier, M., 2016. *Modélisation et développement d'outils pour l'écoconception d'un procédé de concentration en industrie laitière : cas de l'évaporation du lait*. Thèse. Agrocampus Ouest, Rennes.

[95] Botreau, R., Martin, B., Hulin, S., Kanyarushoki, C., Farruggia, A., Monsallier, F., Loisel, A., Hérisset, R., & Laurent, C. (2017). Multicriteria evaluation for conjoint assessment of milk quality and environmental performances of dairy farms. In Proceedings of 12th International Meeting on Mountain cheese (pp. 101-105) , 20-22 June 2017, Padova, Italy

[96]Raffray, G., 2014. *Outils d'aide à la décision pour la conception de procédés agroalimentaires au Sud: application au procédé combiné de séchage, cuisson et fumage de produits carnés*. Montpellier, SupAgro, Montpellier. 146 p. https://www.theses.fr/2014NSAM0066

[97]Raffray, G.; Collignan, A.; Sebastian, P., 2015. Multiobjective optimization of the preliminary design of an innovative hot-smoking process. *Journal of Food Engineering*, 158: 94-103. http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.03.010

[98]Duret, S.; Hoang, H.M.; Derens-Bertheau, E.; Delahaye, A.; Laguerre, O.; Guillier, L., 2019. Combining Quantitative Risk Assessment of Human Health, Food Waste, and Energy Consumption: The Next Step in the Development of the Food Cold Chain? *Risk Analysis*, 39 (4): 906-925. http://dx.doi.org/10.1111/risa.13199

[99]Saint-Eve, A.; Maurice, B.; Delarue, J.; Soler, L.G.; Souchon, I., 2018. *Déterminants sensoriels à l'origine des perceptions saine, durable et naturelle d'un produit ultra transforme : les pizzas*. Journées Francophones de Nutrition, 28-30 novembre 2018. Nice, France.

[100]Marchiori, D.R.; Adriaanse, M.A.; De Ridder, D.T.D., 2017. Unresolved questions in nudging research: Putting the psychology back in nudging. *Social and Personality Psychology Compass*, 11 (1): e12297. http://dx.doi.org/10.1111/spc3.12297

[101]Graziose, M.M.; Downs, S.M.; O'Brien, Q.; Fanzo, J., 2018. Systematic review of the design, implementation and effectiveness of mass media and nutrition education interventions for infant and young child feeding. *Public Health Nutrition*, 21 (2): 273-287. http://dx.doi.org/10.1017/s1368980017002786

[102]Murimi, M.W.; Kanyi, M.; Mupfudze, T.; Amin, M.R.; Mbogori, T.; Aldubayan, K., 2017. Factors Influencing Efficacy of Nutrition Education Interventions: A Systematic Review. *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 49 (2): 142-+. http://dx.doi.org/10.1016/j.jneb.2016.09.003

[103]Euromonitor International, 2011. *The war on meat. How low-meat and no-meat diets are impacting consumer markets*. London: Euromonitor International.

[104]Hung, Y.; Hieke, S.; Grunert, K.G.; Verbeke, W., 2019. Setting Policy Priorities for Front-of-Pack Health Claims and Symbols in the European Union: Expert Consensus Built by Using a Delphi Method. *Nutrients*, 11 (2). http://dx.doi.org/10.3390/nu11020403

[105]Janssen, M.; Rodiger, M.; Hamm, U., 2016. Labels for Animal Husbandry Systems Meet Consumer Preferences: Results from a Meta-analysis of Consumer Studies. *Journal of Agricultural & Environmental Ethics*, 29 (6): 1071-1100. http://dx.doi.org/10.1007/s10806-016-9647-2

[106]Dekhili, S.; Akli Achabou, M., 2013. Pertinence d'une double labellisation biologique-écologique auprès des consommateurs. Une application au cas des œufs. *Économie rurale*, 336: 41-59. http://dx.doi.org/10.4000/economierurale.4002

[107]Springmann, M.; Mason-D'Coz, D.; Robinson, S.; Wiebe, K.; Godfrey, H.C.J.; Rayner, M.; Scarborough, P., 2018. Health-motivated taxes on red and processed meat: A modelling study on optimal tax levels and associated health impacts. *Plos One*, 13 (11). http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0204139

[108]Peyraud, J.L.; Aubin, J.; Barbier, M.; Baumont, R.; Berri, C.; Bidanel, J.P.; Citti, C.; Cotinot, C.; Ducrot, C.; Dupraz, P.; Faverdin, P.; Friggens, N.; Houot, S.; Nozieres-Petit, M.O.; Rogel-Gaillard, C.; Sante-Lhoutellier, V., 2019. Science for tomorrow's livestock farming: A forward thinking conducted at INRA. *Inra Productions Animales*, 32 (2): 323-338. http://dx.doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2591

Collectif d'experts

Pilotes scientifiques

Sophie Prache, INRAE Clermont-Ferrand, UMR Herbivores (petits ruminants)
Véronique Santé Lhoutellier, INRAE Clermont-Ferrand, UR Qualité des produits animaux (procédés de transformation des produits animaux)

Experts

Camille Adamiec, Université de Strasbourg, Maison Interuniversitaire des Sciences de l'Homme-Alsace (sociologie de l'alimentation)
Thierry Astruc, INRAE Clermont-Ferrand, UR Qualité des produits animaux (procédés, viande)
Elisabeth Baeza-Campone, INRAE Tours, UMR Biologie des oiseaux et aviculture (volailles)
Pierre-Etienne Bouillot, AgroParisTech, Institut de recherche juridique de la Sorbonne (droit de l'alimentation)
Antoine Clinquart, Université de Liège, département des denrées alimentaires (bovins)
Cyril Feidt, ENSAIA Nancy, UR Animal et fonctionnalité des produits animaux (risques alimentaires chimiques)
Estelle Fourat, CNRS/EHESS – Institut de recherches interdisciplinaires sur les enjeux sociaux (sociologue alimentation)
Emmanuelle Kesse-Guyot, INRAE-Paris-Université Paris Sorbonne-Inserm -Cnam, CRESS-Équipe de recherche en épidémiologie nutritionnelle (épidémiologie nutritionnelle)
Joel Gautron, INRAE Tours, UMR Biologie des oiseaux et aviculture (œufs)
Laurent Guillier, ANSES (risques alimentaires microbiologiques)
Bénédicte Lebret, INRAE Rennes, UMR Physiologie, environnement et génétique pour l'animal et les systèmes d'élevage (porcs)
Florence Lefèvre, INRAE Rennes, Laboratoire de physiologie et génomique des poissons (poissons)
Bruno Martin, INRAE Clermont-Ferrand, UMR Herbivores (produits laitiers)
Pierre-Sylvain Mirade, INRAE Clermont-Ferrand, UR Qualité des produits animaux (modélisation, procédés)
Fabrice Pierre, INRAE Toulouse, UMR Toxicologie alimentaire (toxicologie alimentaire)
Didier Rémond, INRAE Clermont-Ferrand, UMR de Nutrition humaine (nutrition)
Pierre Sans, ENVT-INRAE Toulouse, UR Alimentation et sciences sociales (économie des filières)
Isabelle Souchon, INRAE Grignon, UMR Génie et microbiologie des procédés alimentaires (procédés)

Équipe projet

Catherine Donnars, INRAE Paris, DEPE (coordinatrice du projet)
Agnès Girard, INRAE Rennes, Laboratoire de physiologie et génomique des poissons (documentaliste)
Kim Girard, INRAE Paris, DEPE (gestionnaire)
Sandrine Gobet, INRAE Paris, DEPE (gestionnaire)
Sophie Le Perchec, INRAE Rennes, DEPE (documentaliste)
Mégane Raulet, INRAE Paris, DEPE (chargée de mission)

PAO : Sacha Desbourdes, INRAE Orléans (figures) et Pascale Inzerillo, INRAE Paris, Dircom (couverture)

Ce document est la synthèse du rapport d'expertise dont les auteurs sont le collectif d'experts et les contributeurs ponctuels sollicités par les experts, comme cités dans la référence ci-dessous :

Prache S. et Santé-Lhoutellier V. (pilotes scientifiques), Adamiec C., Astruc T., Baeza-Campone E., Bouillot PE., Bugeon J., Cardinal M., Cassar-Malek I., Clinquart A., Coppa M., Corraze G., Donnars C., Ellies MP., Feidt C., Fourat E., Gautron J., Girard A., Graulet B., Guillier L., Hocquette JF., Hurtaud C., Kesse-Guyot E., Kerhoas N., Lebret B., Lefèvre F., Le Perchec S., Martin B., Médale F., Mirade PS., Nau F., Pierre F., Raulet M., Remond D., Sans P., Sibra C., Souchon I., Touvier M., Verrez-Bagnis V., Vitrac O., 2020, La qualité des aliments d'origine animale selon les conditions de production et de transformation, rapport de l'expertise scientifique collective, INRAE (France), 1023 pages.

Les auteurs de la synthèse remercient les contributeurs ponctuels et les relecteurs du rapport et de la présente synthèse.

Centre-siège Paris-Antony
Direction de l'expertise scientifique collective,
de la prospective et des études
147 rue de l'Université – 75338 Paris cedex 07
Tél. +33 1 (0)2 42 75 90 00

Rejoignez-nous sur :

inrae.fr/collaborer/expertise-appui-aux-politiques-publiques

Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

INRAE

FranceAgriMer
ÉTABLISSEMENT NATIONAL DES PRODUITS DE L'AGRICULTURE ET DE LA MER

© INRAE/Adobe Stock