HAL open science

La qualité des aliments d'origine animale : enseignements d'une expertise scientifique collective

Sophie Prache, Camille Adamiec, Thierry Astruc, Elisabeth Baéza, Pierre-Etienne Bouillot, Antoine Clinquart, Cyril Feidt, E. Fourat, Joël Gautron, Agnès Girard, et al.

To cite this version:

Sophie Prache, Camille Adamiec, Thierry Astruc, Elisabeth Baéza, Pierre-Etienne Bouillot, et al.. La qualité des aliments d'origine animale : enseignements d'une expertise scientifique collective. 26. Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants (3R 2022), Institut de l'Elevage; INRAE, Dec 2022, Paris, France. pp.427-438. hal-03960288

HAL Id: hal-03960288

https://hal.inrae.fr/hal-03960288v1

Submitted on 27 Jan 2023

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.

La qualité des aliments d'origine animale : enseignements d'une expertise scientifique collective

PRACHE S. (1), ADAMIEC C. (2), ASTRUC T. (3), BAEZA E. (4), BOUILLOT P.E. (5), CLINQUART A. (6), FEIDT C. (7), FOURAT E. (2), GAUTRON J. (4), GIRARD A., (8), GUILLIER L. (9), KESSE-GUYOT E. (10), LEBRET B. (11), LEFEVRE F. (8), LE PERCHEC S. (12), MARTIN B. (1), MIRADE P.S. (3), PIERRE F. (13), RAULET M. (14), REMOND D. (15), SANS P. (16), SOUCHON I. (17), DONNARS C. (14), SANTE-LHOUTELLIER V. (3)

(1) INRAE Université Clermont Auvergne Vetagro Sup, UMR1213 Herbivores, 63122 St-Genès-Champanelle, France
(2) MoISA, Université Montpellier, IRD, CIRAD, CIHEAM-IAMM, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France
(3) INRAE, QuaPA, 63122 St-Genès-Champanelle, France
(4) INRAE, Université de Tours, BOA, 37380 Nouzilly, France
(5) Centre de documentation et de recherches européennes (CRDE), Université de Pau et des pays de l'Adour, Campus de la Nive, Bayonne, France
(6) Université de Liège, FARAH, Faculté de Médecine Vétérinaire, 4000 Liège, Belgique
(7) Université Lorraine, Usc340, UR AFPA, INRAE, 2, avenue Foret de Haye, TSA 40602, 54518 Vandoeuvre-les-Nancy, France
(8) INRAE, LPGP, 35000 Rennes, France
(9) Anses, Risk assessment department, 94701 Maisons-Alfort, France
(10) Sorbonne Paris Nord University, Inserm, Inrae, Cnam, Nutritional Epidemiology Research Team (EREN), Epidemiology and Statistics Research Center–University of Paris (CRESS), 93017 Bobigny, France
(11) PEGASE, INRAE, Institut Agro, 35590 St-Gilles, France
(12) INRAE, DIPSO, 35042 Rennes, France
(13) Toxalim, Research Centre in Food Toxicology, Toulouse University, INRAE UMR 1331, ENVT, INP-Purpan, UPS, 31300 Toulouse, France
(14) DEPE, INRAE, 147, rue de l'Université, 75338 Paris Cedex 07, France
(15) Université Clermont Auvergne, INRAE, UNH, 63000 Clermont-Ferrand, France
(16) Université de Toulouse, INRAE, UR PSAE, ENVT, 31076 Toulouse, France
(17) INRAE, Avignon Université, SQPOV, 84000 Avignon, France

RESUME - Cette synthèse dresse un bilan critique de l'état des connaissances sur la qualité des aliments d'origine animale selon les conditions de production de l'animal et de transformation des produits, y compris les attentes et comportements des consommateurs et les effets de la consommation des aliments sur la santé humaine. La qualité a été déclinée selon sept dimensions : sanitaire, commerciale, organoleptique, nutritionnelle, technologique, d'usage et d'image. Cette dernière recouvre les dimensions éthiques, culturelles et environnementales associées à l'origine de l'aliment et à la manière dont il a été élaboré. Ce cadre permet de mettre en évidence les priorités accordées à ces différentes dimensions et d'identifier les antagonismes et synergies potentiels entre elles. Nous faisons un constat de priorité accordée aux dimensions commerciales de la qualité, notamment pour les produits standards. Cette priorité a fortement orienté la sélection génétique des animaux et les pratiques d'élevage dans toutes les filières. Elle a permis des gains quantitatifs considérables, mais souvent au détriment d'autres dimensions de la qualité. Des exemples emblématiques sont le poulet de chair standard, pour lequel la sélection sur la vitesse de croissance et le rendement en filet ont eu des conséquences délétères sur les propriétés organoleptiques, nutritionnelles et d'image, et le devenir des mâles dans la filière poules pondeuses ; et certaines filières laitières, qui ont fortement spécialisé leurs animaux. La qualité peut se construire mais aussi s'altérer tout au long de la chaîne alimentaire. Nous soulignons les facteurs et les périodes critiques, comme les pratiques d'élevage, notamment l'alimentation des animaux, les phases de pré-abattage et d'abattage, les pratiques de transformation et de formulation des aliments. Nous pointons certains facteurs qui créent des antagonismes entre différentes dimensions de la qualité, comme la castration des porcs mâles, la substitution des aliments d'origine marine par des aliments d'origine végétale chez les poissons, et l'utilisation des nitrites dans la transformation de la viande. Les recherches s'orientent vers les possibles compromis entre ces effets positifs et négatifs et/ou vers des solutions pour dépasser ces antagonismes. Il y a aussi des aliments qui valorisent des synergies entre différentes dimensions de la qualité et entre les phases de production et de transformation, notamment les indications géographiques. Les études d'épidémiologie nutritionnelle montrent des associations entre la consommation d'aliments d'origine animale et l'augmentation ou la diminution du risque de maladies chroniques ; elles ont permis de formuler des recommandations en matière de santé publique. Cependant, elles ne prennent pas encore en compte les conditions de production et de transformation, et nous pointons le besoin d'une meilleure connexion entre les communautés scientifiques à l'échelle de l'élevage, de la transformation, de la nutrition humaine et de l'épidémiologie pour combler cette lacune. Les besoins de recherche et les pistes d'action publique sont discutés.

Quality of animal-source foods: lessons from a collective scientific expertise

PRACHE S. (1), ADAMIEC C. (2), ASTRUC T. (3), BAEZA-CAMPONE E.(4), BOUILLOT P.E. (5), CLINQUART A. (6), FEIDT C. (7), FOURAT E. (2), GAUTRON J. (4), GIRARD (8), GUILLIER L. (9), KESSE-GUYOT E. (10), LEBRET B. (11), LEFEVRE F. (8), LE PERCHEC S. (12), MARTIN B. (1), MIRADE P.S. (3), PIERRE F. (13), RAULET M. (14), REMOND D. (15), SANS P. (16), SOUCHON I. (17), SANTE-LHOUTELLIER V. (3)

(1) INRAE Université Clermont Auvergne Vetagro Sup, UMR1213 Herbivores, 63122 St-Genès-Champanelle, France

SUMMARY - This article critically reviews the state of knowledge on the quality of animal-source foods according to animal production and food processing conditions, including consumer expectations-behaviours and the effects of consumption of animal-source foods on human health. Quality has been defined through seven core attributes:

safety, commercial, sensory, nutritional, technological, convenience, and image. Image covers ethical, cultural and environmental dimensions associated with the origin of the food and the way it is produced and processed. This framework enables to highlight the priorities given to the different quality attributes. It also helps to identify potential antagonisms and synergies among quality attributes, between production and processing stages, and among stakeholders. Primacy is essentially given to commercial quality attributes, especially for standard-commodity animal-source foods. This primacy has strongly influenced genetic selection and farming practices in all livestock commodity chains and enabled substantial quantitative gains, although at the expense of other quality traits. Focal issues are the destructuration of chicken muscle that compromises sensory, nutritional and image quality attributes, and the fate of males in the egg and dairy sectors, which have heavily specialized their animals. Quality can be gained but can also be lost throughout the farm-to-fork continuum. Our review highlights critical factors and periods throughout animal production and food processing routes, such as on-farm practices, notably animal feeding, pre-slaughter and slaughter phases, food processing techniques, and food formulation. It also reveals on-farm and processing factors that create antagonisms among quality attributes, such as the castration of male pigs, the substitution of marine-source feed by plant-based feed in fish, and the use of sodium nitrite in meat processing. These antagonisms require scientific data to identify trade-offs among quality attributes and/or solutions to help overcome these tensions. There are also food products that value synergies between quality attributes and between production and processing phases, particularly Geographical Indications. Human epidemiological studies have found associations between consumption of animal-source foods and increased or decreased risk for chronic non-communicable diseases. These associations have informed public health recommendations. However, they have not yet considered animal production and food processing conditions. A concerted and collaborative effort is needed from scientists working in animal science, food process engineering, consumer science, human nutrition and epidemiology in order to address this research gap. Avenues for research and main options for policy action are discussed.

INTRODUCTION

La consommation d'aliments d'origine animale par habitant est élevée en Europe. Elle est questionnée sur le plan de l'environnement, de la santé humaine et de l'éthique, avec des préoccupations sociétales envers le bien-être des animaux (BEA). L'OMS et la FAO recommandent de réduire la part des produits animaux dans l'alimentation humaine. Santé Publique France a également récemment modifié ses recommandations quant à la consommation de viande rouge et de charcuterie et recommandé de rééquilibrer les sources de protéines végétales et animales dans l'alimentation, alors que le régime alimentaire moyen en Europe occidentale contient 65-70 % de protéines animales. Ces questions s'adressent à un secteur où coexistent différents modèles de production/transformation, les conditions d'élevage des animaux et les procédés de transformation des aliments étant très divers, avec des effets majeurs sur la qualité des aliments. Cette synthèse analyse la manière dont la qualité des aliments d'origine animale est construite et modulée par les pratiques d'élevage et les procédés de transformation. Elle résume les principaux enseignements d'une expertise scientifique collective (Prache et al., 2020a), réalisée par INRAE à la demande du ministère de l'Agriculture et l'Alimentation et de FranceAgriMer. Elle considère les différentes dimensions de la qualité d'un aliment, c'est-à-dire l'ensemble des propriétés et caractéristiques qui lui confèrent l'aptitude à satisfaire les besoins d'un utilisateur, ainsi que ses effets sur la santé humaine. La qualité y a été analysée à travers sept dimensions : sanitaire, commerciale, organoleptique, nutritionnelle, technologique, d'usage et d'image (Figure 1). Ce cadre permet de mettre en évidence les priorités que les différents acteurs accordent à ces différentes dimensions et d'identifier les potentiels antagonismes et synergies entre elles. Cette expertise a été centrée sur les principaux produits issus d'animaux élevés en Europe : viandes de monogastriques (porcs et volailles), de ruminants (bovins, ovins), chair des poissons d'élevage, lait (de vache, de chèvre et de brebis), œufs de poule et les produits transformés qui en sont issus, qu'ils soient 'standards' ou sous signes officiels d'identification de la qualité et de l'origine (SIQO).
Les procédés de transformation ont pour but de stabiliser les aliments d'un point de vue sanitaire, d'augmenter la durée de conservation, de valoriser les morceaux les moins nobles et/ou les moins demandés, de diversifier l'offre et/ou de proposer des aliments prêts à consommer, faciles à cuisiner et à conserver.

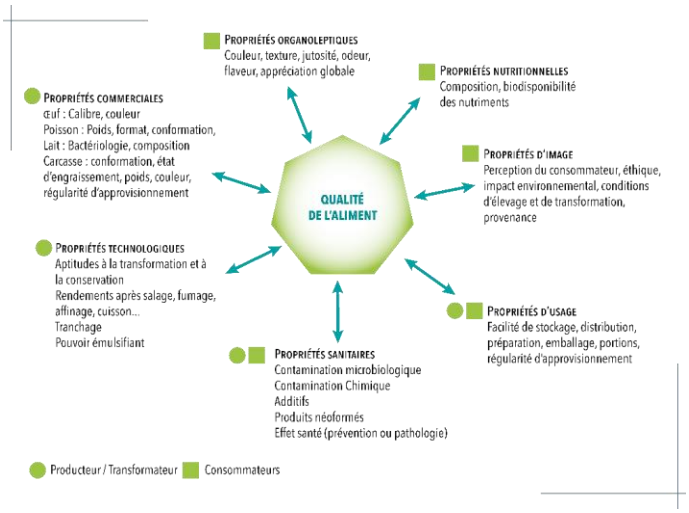

Figure 1. Les 7 dimensions de la qualité des aliments d'origine animale

Le salage, la cuisson, le séchage, le fumage et la fermentation sont les procédés les plus fréquemment utilisés, ils utilisent généralement du sel et des additifs alimentaires, dont le nombre a fortement augmenté depuis l'industrialisation et l'intensification de la transformation agro-alimentaire. Cette expertise s'est également attachée à comprendre les comportements des consommateurs. Le statut d'omnivore des humains leur confère à la fois une grande liberté d'adaptation à différents biotopes, mais les expose également à des risques de contamination, ce qui les contraint à consommer des aliments reconnus culturellement. Les consommateurs oscillent donc entre plaisir et anxiété pour élaborer leurs choix alimentaires, et les régimes alimentaires sont profondément ancrés culturellement (Danezis et al., 2016). L'authentification des conditions d'élevage et de transformation est une voie de réassurance des consommateurs. Les demandes des consommateurs et l'engagement de certaines filières dans des mentions valorisantes, la complexité de la chaîne d'élaboration des aliments et les risques de fraude renforcent l'importance de ces questions (Danezis et al., 2016). Cette synthèse présente aussi les besoins de recherche et des pistes d'action

publique. Elle a fait l'objet d'une publication antérieure en anglais (Prache et al., 2022a) que nous avons résumée ici.

1. EVOLUTION DES HABITUDES ALIMENTAIRES ET DES ATTENTES SOCIETALES EN EUROPE

En Europe, la consommation de viandes, de produits laitiers, d'œufs et de poissons stagne ou baisse, sauf pour la viande de volaille (Prache et al., 2022a ; Figure 2). Elle a chuté de plus de 40 % pour les viandes bovines et ovines ces 30 dernières années, au profit de la viande de volailles, dont la consommation a augmenté de 60 % sur la même période. La viande porcine est la principale viande consommée (35 kg équivalent carcasse/personne/an).

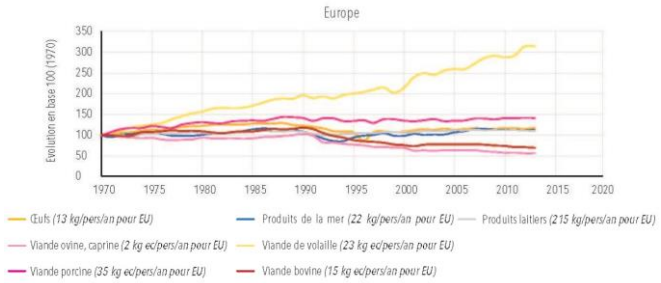

Figure 2. Evolution de la consommation d'aliments d'origine animale en Europe entre 1970 et 2013, en kg/personne/an (base 100 = 1970).

En France, les tendances de consommation montrent deux évolutions concomitantes. La demande augmente pour les aliments « prêts à l'emploi » (plats préparés, à emporter…), et aussi pour les aliments issus de l'agriculture biologique (AB), et au-delà pour les aliments bénéficiant d'un SIQO. La part des achats alimentaires en AB a ainsi doublé entre 2015 et 2020 en France (passant de 3,2 % à 6,6 %) ; elle a cependant connu un pallier entre 2020 et 2021, particulièrement dans la grande distribution et pour les produits laitiers (Agence Bio, 2022). Ces deux tendances concernent l'ensemble des filières animales, mais à des degrés divers. En France, l'évolution des comportements de consommation entre 2007 et 2015 montre ainsi une augmentation de 40 % de la consommation de plats préparés à base de viande et de poisson et de 53 % des aliments contenant des "ingrédients" de viande et de poisson (pizzas, quiches, sandwichs) (Pointereau, 2019). Pour la viande de poulet, la part des achats de produits prêts à consommer à base de poulet (nuggets, panés…) a doublé en 20 ans et représente aujourd'hui 31 % de la viande de poulet consommée, alors que la part des achats de poulets entiers a été divisée par plus de 2 (de 52 % à 24 %) (Baéza et al., 2022). Parallèlement, la demande croissante de produits sous SIQO et/ou vendus en circuits courts, constitue une voie de réassurance. Ces produits sont en effet porteurs de crédibilité et de fiabilité concernant l'origine et les conditions de production et de transformation, malgré leur prix généralement supérieur à celui des produits standards. On observe également, à l'échelle européenne, une évolution vers plus d'aliments d'origine végétale et moins d'aliments d'origine animale, dynamique portée à la fois par les mouvements autour du végétarisme, du véganisme et du bien-être animal (Lund et al., 2016) et par les discours autour d'une alimentation plus durable (FranceAgriMer, 2019 et 2021). S'il n'existe pas de définition précise des régimes dits "flexitariens" (FranceAgriMer, 2019 et 2021), leur couverture médiatique est le signe d'une transition alimentaire vers des régimes plus végétalisés Ces évolutions rapides invitent à mieux anticiper les besoins et motivations des consommateurs et à instruire des solutions appropriées, voire de rupture, dans les pratiques d'élevage et les procédés de transformation des aliments. Par exemple, les débats autour de la consommation d'aliments d'origine animale sont à l'origine d'études sur des sources de protéines alternatives et leur acceptabilité sociale (protéines végétales ou alternatives plus radicales). Des recherches prospectives sur la "viande" de culture ou sur les aliments à base d'insectes montrent i) que la viande issue d'animaux d'élevage demeure profondément inscrite dans nos habitudes alimentaires et que ii) les nouveaux aliments doivent soit ressembler à de la viande, soit s'éloigner d'une origine animale. Manger ou non de la viande est un marqueur social. Dans les classes de statut socio-économique supérieur, la valeur de la viande a été modifiée par des questions d'éthique, d'impacts environnementaux et de santé, ces consommateurs choisissant de consommer moins de viande et de meilleure qualité. En revanche, les classes de statut socio-économique inférieur mangent plus de viande grâce à une gamme d'aliments bon marché mais de moindre qualité nutritionnelle. A noter que la taxation de la viande, parfois proposée pour en réduire la consommation et les impacts environnementaux, toucherait donc plus ces classes de population (Springmann et al., 2018). Des recherches sont nécessaires pour comprendre les leviers et les freins aux pratiques de substitution entre aliments dans différentes classes de population, les facteurs déclenchants de cette adoption au niveau individuel, et les modalités de transition d'un régime alimentaire à un autre.

2. LES DIMENSIONS DE LA QUALITE ET LES METHODES POUR LES EVALUER

Les **propriétés sanitaires** d'un aliment sont relatives aux dangers associés à sa consommation. Elles sont des prérequis du fait du caractère périssable des aliments d'origine animale, et elles font l'objet d'une réglementation précise (Guillier et al., 2016). Quel que soit le type d'aliment, les opérateurs qui le produisent, le transforment et le distribuent sont légalement responsables en matière de sécurité sanitaire ; il leur revient d'analyser et de maîtriser les risques en mettant en place des mesures de contrôle. Si la composition des produits bruts est bien documentée, les connaissances sur les composés qui se forment au cours des processus de transformation (composés néoformés) et l'évaluation des risques associés sont limitées.

Les **caractéristiques commerciales** sont à la base du paiement aux éleveurs et intéressent particulièrement les professionnels des filières animales. Elles dépendent du type de produit. Pour le lait, au-delà du volume livré, elles sont basées sur des critères sanitaires et de composition. Pour les autres produits animaux, elles reposent sur des critères de poids et d'aspect, voire d'homogénéité du lot. Actuellement en Europe, les carcasses de bovins, d'ovins et de porcins sont évaluées à partir de leur poids et de leur classement selon le système EUROP fondé sur la conformation et l'état d'engraissement (pour les bovins et les ovins) et la teneur en viande maigre pour les porcs. D'autres systèmes de classement sont utilisés pour la viande bovine aux États-Unis, au Japon et en Australie, qui intègrent des critères de qualité de la viande (couleur, persillé). Le « Meat Standards Australia » (MSA), notamment, prédit la qualité en bouche pour chaque combinaison muscle-méthode de cuisson, à partir d'une douzaine de paramètres, la plupart mesurés à l'abattoir, et il indexe le paiement aux éleveurs sur ce résultat de qualité en bouche (Bonny et al., 2018).

Les **propriétés organoleptiques** correspondent aux caractéristiques perçues par les sens : la couleur, la texture (tendreté et jutosité), l'odeur et la flaveur. Elles intéressent particulièrement les consommateurs et affectent l'acte d'achat (et de réachat). Leur évaluation se heurte à des difficultés méthodologiques, avec i) un débat sur l'utilisation de jurys entraînés ou de consommateurs "naïfs", dont les résultats ne sont pas toujours concordants (Hocquette et al., 2020), ii) la complexité des déterminants de la texture, de l'odeur et de la flaveur qui peut rendre fragile l'utilisation d'indicateurs (Aberle et al., 2012), iii) le manque de méthodes prédictives robustes utilisables sur une chaîne d'abattage

(Berri et al., 2019). La variabilité des préférences entre pays/régions et entre consommateurs, liée à des habitudes alimentaires ou culturelles (Font-i-Furnols et al., 2014), questionne aussi l'extrapolation des résultats d'une zone géographique à une autre.

Les **propriétés nutritionnelles** d'un aliment sont évaluées sur la base de sa composition en nutriments (protéines, lipides, glucides, vitamines, minéraux) et de sa capacité à couvrir les besoins nutritionnels de l'homme. De même que les vitamines et minéraux, certains acides aminés constitutifs des protéines et certains acides gras (AG) de la fraction lipidique (acide linoléique (LA), acide alpha-linolénique (ALA) et acide docosahexaénoïque (DHA)) sont considérés comme indispensables, car ils ne peuvent être synthétisés par le corps humain, ou en quantité insuffisante, et doivent donc être apportés par l'alimentation. Pour les protéines, des scores de qualité nutritionnelle ont ainsi été développés à partir de leur capacité à couvrir l'ensemble des besoins en acides aminés indispensables. Certains nutriments, s'ils sont ingérés en excès, peuvent avoir des effets néfastes sur la santé, comme les acides gras saturés (AGS) athérogènes, pour lesquels une limite supérieure a été fixée. Les aliments qui sont riches en nutriments indispensables comparativement à leur apport calorique, et contenant des quantités modérées de nutriments à limiter (AGS, sodium, sucres) favorisent un bon état de santé. Des indicateurs nutritionnels, comme le Nutri-Score ont ainsi été développés en France pour classer les aliments en fonction de l'équilibre de leur composition en nutriments bénéfiques ou à limiter. La biodisponibilité des nutriments est également un facteur important, ainsi que l'effet de la matrice alimentaire.

Les **propriétés technologiques** reflètent l'aptitude de la matière première à la transformation (rendement après salage, fumage, affinage, cuisson, par ex.) et à la conservation, en lien avec sa composition (sensibilité à l'oxydation et au développement de microorganismes) et les modalités de conservation (durée, température, conditionnement, type d'emballage). Les critères et indicateurs d'évaluation varient selon le type d'aliment et le type de transformation (fromage au lait cru *vs* lait UHT, jambon cuit *vs* saucisson, par ex.). Certains indicateurs physico-chimiques permettent de prédire ces propriétés (pH de la viande, par ex., Aberle et al., 2012), mais ceci reste difficile (Berri et al., 2019).

Les **propriétés d'usage** renvoient à la facilité de consommer l'aliment (économie de temps et d'efforts). Elles sont appréciées par le biais d'enquêtes. Cependant, même si ces propriétés prennent de l'importance avec le développement des produits transformés « prêts à manger », les méthodes d'évaluation sont encore peu formalisées.

Les **propriétés d'image** recouvrent les dimensions éthiques, culturelles et environnementales associées à l'origine de l'aliment et à ses conditions de production et de transformation. Elles jouent un rôle important dans la perception du produit et sont particulièrement valorisées dans les produits sous SIQO. Elles peuvent interagir fortement avec les autres dimensions de la qualité, les consommateurs pouvant percevoir un écart de qualité lorsqu'ils sont informés de l'origine du produit et des conditions de production et de transformation, alors qu'ils ne verraient sinon pas nécessairement de différences. Cette dimension prend beaucoup d'importance dans la décision d'achat (Aboah et Lees, 2020). De nombreux facteurs peuvent jouer un rôle et, logiquement, de nombreuses méthodes, critères et indicateurs ont été développés pour les évaluer. Les aspects environnementaux recouvrent plusieurs aspects (émissions polluantes, utilisation de ressources, biodiversité). On considère généralement que les impacts environnementaux sont plus importants dans les aliments d'origine animale que dans ceux d'origine végétale, et qu'ils varient beaucoup d'un système d'élevage à l'autre. Cependant, le classement des systèmes d'élevage dépend largement du type d'impact et de la métrique choisie. Ainsi, des études récentes proposent de modifier l'unité fonctionnelle (actuellement la masse ou le volume de produit) sur laquelle reposent les indicateurs environnementaux pour tenir compte de la valeur nutritionnelle du produit, comme la teneur en AGPI n-3 (McAuliffe et al., 2018). En outre, Van der Werf et al. (2020) soulignent que l'ACV, la méthode la plus utilisée aujourd'hui pour évaluer les impacts environnementaux, ne tient pas compte d'aspects essentiels comme la perte de biodiversité, la dégradation des sols et les impacts des pesticides, ni des services écosystémiques rendus par certains systèmes d'élevage. Pour ce qui concerne le BEA, des recherches ont permis de développer des référentiels pour l'évaluer dans les différentes filières d'élevage. Ainsi, l'intégration d'indicateurs de nature différente, leur agrégation, et la métrique sous-jacente sont actuellement un front de science d'autant plus important que les pouvoirs publics cherchent à mieux informer les consommateurs sur les empreintes environnementale et sociétale des aliments.

Des résultats récents issus de consultations de groupes d'acteurs dans 4 pays européens montrent que les propriétés d'image (origine, système d'élevage, bien-être animal, etc.) sont particulièrement importantes pour les consommateurs de produits laitiers et de viande bovine et de volaille (Sturaro et al., 2022). Une autre étude centrée sur les produits laitiers montre que les autres acteurs de la filière bovine laitière en France (producteurs, entreprises laitières, distribution) ont des attentes plus diversifiées quant aux propriétés organoleptiques, technologiques, sanitaires, nutritionnelles et d'image (Albert et al., 2022).

Il existe une grande diversité de méthodes pour évaluer la qualité intrinsèque des aliments. Nombre d'entre elles nécessitent d'effectuer des prélèvements destructifs qui ne peuvent être réalisés que tardivement dans la chaîne d'élaboration, et d'utiliser des analyses longues et onéreuses. Les scientifiques travaillent au développement d'outils moins invasifs pour caractériser et prédire la qualité des aliments (ou de la matière première pour la transformation). Ces développements pourraient permettre de mieux gérer la variabilité de la qualité, en permettant d'orienter l'aliment vers différents segments de marché et la matière première vers les procédés de transformation les plus adaptés, ainsi qu'authentifier les conditions d'élaboration de l'aliment. À l'instar des analyses rapides utilisées pour le paiement du lait à la qualité, le développement et le déploiement *on line* de méthodes spectrales (SPIR) et d'analyse d'image pourraient permettre d'élargir les dimensions de qualité évaluées pour les viandes et les poissons, comme la teneur en lipides, le persillé, le profil en AG ou la capacité de rétention d'eau (Mourot et al., 2014 ; Berri et al., 2019 ; Meunier et al., 2021). Des recherches s'intéressent aussi à caractériser le potentiel de qualité du vivant de l'animal (Boudon et al., 2020) ou à détecter précocement les défauts pour orienter les viandes de moindre qualité vers des filières de transformation appropriées, voire réajuster les pratiques d'élevage. Un marqueur sanguin est ainsi en cours de développement pour détecter les porcs susceptibles de produire une viande déstructurée (Théron et al., 2020). Différentes démarches sont ainsi menées pour développer des outils prédictifs basés sur plusieurs types de marqueurs, biologiques (génomiques ou phénotypiques) (Picard et al., 2015), physiques (méthodes spectroscopiques), ou pour développer des bases de données reliant les propriétés organoleptiques de la viande avec certaines caractéristiques de l'animal, de la carcasse et de la viande en interaction avec les modalités de transformation (cuisson) (Bonny et al., 2018).

3. CONSTRUCTION OU ALTERATION DE LA QUALITE AU COURS DE L'ELABORATION DE L'ALIMENT

De nombreux facteurs influencent chacune des dimensions de la qualité, et un facteur donné peut jouer sur plusieurs d'entre elles (Tableau 1). Compte tenu de la multiplicité des facteurs, des combinaisons entre eux et de leurs interactions potentielles, on peut dire que "la qualité s'élabore" tout au long de la production et de la transformation. Ces facteurs agissent aux différentes étapes : depuis les caractéristiques des animaux, les conditions d'élevage, de transport, d'abattage, de transformation, de conservation, de commercialisation, jusqu'à la préparation des aliments et leur consommation. La qualité s'élabore ainsi depuis les étapes amont à la ferme (parfois même avant la naissance de l'animal) jusqu'à la consommation, et elle peut être améliorée ou altérée à toutes les étapes. La littérature est abondante, mais il y aurait besoin de méta-analyses pour gagner en robustesse dans l'évaluation des effets des facteurs déterminants. Certaines étapes sont cruciales ; elles peuvent présenter un risque d'altération ou au contraire une opportunité d'amélioration ou de correction de la qualité.

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							

Tableau 1. Facteurs intervenant sur les différentes dimensions de la qualité des aliments d'origine animale. Le tableau indique les possibles sources de variation. Certaines lignes concernent uniquement certains produits (abattage : viandes et chair de poisson). Couleur foncée : facteur de variation majeur ; couleur claire : facteur de variation modéré, couleur blanche : n'est pas un facteur de variation.

Les **propriétés sanitaires** d'un aliment dépendent de facteurs d'élevage (milieu de vie et alimentation), de facteurs liés à la transformation (procédés de transformation et de conditionnement, formulation) et de facteurs liés aux pratiques de consommation (conservation et préparation culinaire), qui peuvent être sources de contamination de l'animal, de ses produits et, au final de l'aliment. Les viandes, les œufs et les préparations à base de viande ou d'œufs crues ou peu cuites, et les produits de la pêche totalisent 70 % des toxiinfections alimentaires collectives provoquées par des pathogènes officiellement déclarées sur la période 2006-2015 en France (Anses, 2018). Quant aux polluants chimiques, les aliments d'origine animale sont les plus forts contributeurs en polluants organiques persistants (POP) comme les dioxines, les furanes et les polychlorobiphényles (PCB) dans l'alimentation humaine. L'utilisation des antibiotiques pose la double question des résidus dans les aliments et de l'antibiorésistance. Le non-respect des règles de leur utilisation peut conduire à la présence de résidus dans les aliments au-delà de la limite maximale de résidus fixée réglementairement, mais les plans de contrôle officiels montrent que les non-conformités sont rares. Peu de travaux de recherche fournissent cependant des données sur les résidus médicamenteux ou d'autres contaminants chimiques dans les aliments d'origine animale. L'effet de la transformation sur les risques chimiques est également encore peu documenté, et l'échelle domestique, bien que potentiellement concernée, a rarement été étudiée. On connaît peu également la toxicité et le niveau d'exposition aux composés néoformés lors de la cuisson et du fumage, de même que l'effet cocktail des interactions entre contaminants chimiques (Meurillon et al., 2018). Cet effet cocktail est pointé du doigt dans les risques liés à la migration de molécules depuis les matériaux d'emballage en contact avec les aliments, de même que pour les additifs utilisés dans la formulation des aliments.

Les pratiques d'élevage sont particulièrement importantes pour certaines dimensions de la qualité, notamment l'image. Les travaux montrent, qu'en moyenne, les consommateurs ont une attitude positive à l'égard des systèmes d'élevage plus respectueux du BEA, avec un accès des animaux à l'extérieur et un espace suffisant, et qu'ils sont prêts à payer un prix plus élevé pour les produits issus de ces systèmes (Janssen et al., 2016). Les pratiques d'élevage influencent également les propriétés sanitaires. Les élevages en bâtiments où la densité est élevée sont plus exposés aux maladies contagieuses, à la pollution ambiante et aux contaminants chimiques éventuellement présents dans les rations. Les élevages avec accès au plein air sont plus exposés aux parasites et aux contaminants environnementaux (Dervilly-Pinel et al., 2017 ; Pussemier et al., 2004), ce qui justifierait de réaliser un diagnostic de l'environnement avant l'installation d'un élevage.

L'alimentation des animaux est un facteur déterminant de la qualité des aliments d'origine animale, notamment du fait de son rôle dans la teneur en lipides et la qualité des AG déposés, qui modulent les propriétés nutritionnelles et organoleptiques des aliments. Le régime alimentaire occidental est très déficitaire en AGPI n-3, à la fois en leur précurseur, l'ALA et en ses dérivés à longue chaîne (LC), cette insuffisance contribuant à nombre de maladies chroniques. Un intérêt particulier est donc porté à cette famille d'AG par les filières animales, près de 60% des AGPI n-3 dans notre alimentation étant apportés par les produits animaux. Le lien entre les AG ingérés et ceux qui sont déposés dans les tissus est particulièrement fort pour les monogastriques et les poissons, moins pour les ruminants en raison des transformations de certains AG dans le rumen. Les AG sécrétés dans le lait sont également modulés par la synthèse *de novo* mammaire. La chair des poissons gras est très riche en AGPI n-3 LC, en lien avec l'origine marine classique de leur alimentation. L'herbe verte est riche en AGPI n-3 et en antioxydants et permet d'obtenir naturellement des produits plus riches en AGPI n-3 et en antioxydants, à la fois pour les ruminants (Berthelot et Gruffat, 2018 ; Martin et al., 2019 ; Davis et al., 2022), le porc (Lebret et Čandek-Potokar, 2022a) et les œufs (Mugnai et al., 2014). La viande bovine produite à l'herbe présente ainsi des teneurs environ deux fois plus élevés en AGPI n-3, des teneurs réduites (-21 %) en acide palmitique (proathérogène) et des teneurs plus élevées en CLA (Berthelot et Gruffat, 2018 ; Davis et al., 2022) que la viande issue d'animaux nourris avec des régimes riches en concentrés ; la finition en bâtiments diminue ces bénéfices et peut même les éliminer complètement (Ponnampalam et al., 2006). Ces avantages sur les propriétés nutritionnelles s'accompagnent d'avantages quant aux propriétés organoleptiques (flaveur plus intense, produits plus typés) et d'image (accès des animaux au plein air et alimentation à l'herbe). Ces propriétés sont souvent valorisées dans des SIQO qui s'engagent sur l'alimentation à l'herbe des animaux, ce qui conduit à des travaux cherchant à l'authentifier sur le produit final (Prache et al., 2020b). Ces

synergies sont encore accrues avec des prairies diversifiées et/ou de montagne (Martin et al., 2019). Des mentions "produit à l'herbe" existent dans plusieurs pays (Salami et al., 2019 ; Davis et al., 2022). La teneur en AGPI n-3 des produits peut également être augmentée par l'apport alimentaire d'ingrédients riches en AGPI n-3, comme les graines de lin (pour les ruminants et les monogastriques) ou la farine de poissons d'origine marine (pour les poissons). Cependant, comme cet ajout peut avoir des effets négatifs sur les propriétés organoleptiques (rancissement) et d'usage (durée de conservation), il doit être limité et associé à des antioxydants ; des études s'intéressent ainsi à l'utilisation des antioxydants d'origine végétale (phyto-micronutriments, par ex.) pour protéger les AG insaturés de la peroxydation (Salami et al., 2019). Les animaux d'élevage valorisent depuis longtemps des co-produits de l'agriculture et de l'industrie agroalimentaire, ce qui permet de limiter la compétition "feed-food". Cette valorisation se développe et se diversifie. L'utilisation de coproduits végétaux riches en composés bioactifs (vitamines, AG insaturés, composés phénoliques, tannins et flavonoïdes) peut présenter un intérêt pour la qualité de la viande et des produits carnés tout en réduisant les émissions de méthane entérique et d'azote (Salami et al., 2019), mais leurs effets sont encore peu documentés. Un point de vigilance concerne les dimensions sanitaires, car des végétaux contaminés peuvent transférer des agents pathogènes et des contaminants à leurs coproduits. La disponibilité de ces coproduits peut également être un point limitant. De manière générale, l'ajout de nouveaux ingrédients dans les aliments pour animaux (dérivés d'insectes, par ex.) nécessitera d'évaluer les possibles impacts sur les différentes dimensions de la qualité des produits issus des animaux qui les consomment.

Les phases de **pré-abattage et d'abattage** sont à risque pour la qualité des viandes et de la chair de poisson. Des conditions inadéquates de chargement, de transport et/ou d'abattage génèrent un stress qui peut compromettre les dimensions organoleptiques (tendreté, couleur) et technologiques (rendement à la cuisson) du produit (Terlouw et al., 2021). Le BEA, en particulier pendant le transport et à l'abattoir, influence aussi la qualité d'image. Des pratiques d'éviscération non conformes peuvent compromettre la qualité sanitaire. L'abattage à la ferme évite le transport des animaux et vise à préserver leur bien-être ; il peut aussi faciliter la commercialisation des produits carnés en circuits courts. Cependant, peu de travaux ont été identifiés dans la littérature scientifique (Eriksen et al., 2013). Les abattoirs mobiles et autres modules d'abattage doivent répondre aux mêmes exigences règlementaires d'hygiène et de protection animale que les abattoirs fixes. Des projets scientifiques démarrent en France en vue d'évaluer i) la faisabilité technique et la viabilité économique de ce mode d'abattage, en particulier dans les zones d'élevage dépourvues d'abattoirs conventionnels, et ii) sa perception par les acteurs de la filière et les consommateurs. Néanmoins, des travaux supplémentaires devront être entrepris pour bien identifier et caractériser les risques en termes d'hygiène des procédés et de BEA. Bien que la gestion des sous-produits, des déchets et des effluents issus de l'abattage soit déjà prévue dans la perspective de l'abattage alternatif, une attention particulière devra être apportée au respect des règles d'hygiène et sécurité et à la protection de l'environnement.

Pour la viande, la **cuisson** est une phase clé. Elle est essentielle pour contrôler les risques microbiologiques, pour augmenter la digestibilité des protéines, ainsi que pour la flaveur et la texture. L'effet de la température de cuisson sur la vitesse de digestion suit une courbe en cloche avec un maximum pour une température à cœur de 70-75°C (Bax et al., 2012). Cependant, la cuisson à des températures excessives peut dégrader les propriétés organoleptiques et nutritionnelles, voire compromettre les propriétés sanitaires du fait de composés néoformés (hydrocarbures aromatiques et amines aromatiques hétérocycliques, tous deux cancérigènes) (Kondjoyan et al., 2016).

L'industrialisation des procédés de transformation a entraîné une standardisation de la matière première fournie à l'industrie. Les procédés industriels de cuisson, salage, fumage, fermentation, etc., sont la plupart du temps issus de techniques traditionnelles. L'industrialisation a permis, dans certains secteurs (produits laitiers, œufs), le fractionnement/cracking de la matière première en ingrédients qui peuvent être ensuite assemblés dans une vaste gamme de formulations pour accroître l'offre alimentaire. L'ajout d'additifs permet de moduler certaines dimensions de la qualité : renforcer le goût (exhausteurs de goût, comme le sel et le sucre), rectifier les défauts (arômes) ou allonger et sécuriser la conservation (ex : sels nitrités). Cependant, cette orientation a poussé à standardiser la matière première et à réduire la biodiversité des animaux d'élevage et la diversité des pratiques d'élevage.
Par ailleurs, la diversité des produits transformés amène à s'interroger sur la manière de les classer. Il y a actuellement plusieurs systèmes de classement développés en parallèle. Le Nutri-Score classe les aliments transformés selon leur composition nutritionnelle. Le système Nova met en exergue les aliments ultra-transformés (Monteiro et al., 2018) dont la formulation contient des ingrédients ou additifs typiques de la transformation industrielle, selon un classement qui ne fait pas consensus (Braesco et al., 2022). Ces classements ne sont d'ailleurs pas toujours cohérents entre eux, ils utilisent des critères différents (Prache et al., 2020a, 2022a). Ceci souligne le besoin de développer des méthodes de classement des aliments qui soient robustes et reproductibles, et qui intègrent des critères liés à la transformation. Certains systèmes sont déjà utilisés pour orienter le choix des consommateurs, par notamment des applications sur smartphones.

Concernant les outils d**'authentification,** l'accent est surtout mis sur l'authentification des pratiques d'élevage et de l'origine, plus que sur les conditions de transformation et de conservation des aliments. Les méthodes de contrôle de la non-adultération de l'espèce animale sont déjà opérationnelles. Cependant, beaucoup de travaux en sont encore au stade de la 'preuve de concept', car ils s'appuient sur des situations contrastées afin de tester les méthodes et les améliorer. Il est maintenant nécessaire de tester la fiabilité de ces méthodes dans des conditions moins contrastées et de développer des bases de données plus importantes pour passer au stade opérationnel.

4. DES ANTAGONISMES ET DES SYNERGIES

L'un des enseignements de cette expertise est le constat de **primauté accordée aux dimensions commerciales de la qualité**, notamment pour les produits standard. Ce sont par exemple les caractéristiques des carcasses qui dictent le prix payé aux éleveurs producteurs de viande. Cette priorité a fortement orienté la sélection génétique et les pratiques d'élevage et a accru la spécialisation des animaux. Elle a permis des gains considérables de teneur en maigre des carcasses de porc (Lebret et Čandek-Potokar, 2022a), du poids du filet chez le poulet de chair (Baéza et al., 2022) et du poids de la carcasse des vaches de réforme. Cependant, ces dimensions "quantitatives" ne préjugent pas d'autres dimensions importantes de la qualité, telles que les dimensions organoleptiques et nutritionnelles. Bonny et al. (2016) ont ainsi montré qu'il n'y avait pas de lien entre les caractéristiques commerciales des carcasses bovines et la qualité organoleptique de la viande. Ces gains "quantitatifs" ont même parfois été obtenus au détriment d'autres dimensions de la qualité. Un exemple emblématique est le poulet de chair standard, où la sélection sur le rendement en filet a eu des conséquences délétères sur les dimensions nutritionnelles, organoleptiques et technologiques d'une majorité de filets ; les animaux ont également des difficultés à

se mouvoir et présentent une forte prévalence de myopathies (Baéza et al., 2022). La déstructuration des tissus musculaires oblige à valoriser cette viande à défauts dans des plats préparés (Baéza et al., 2022). Des problèmes de déstructuration du tissu musculaire sont aussi observés chez le porc, sources de gaspillages et de pertes économiques importantes lors du tranchage (Theron et al., 2019). Pour la viande bovine également, la sélection des races à viande sur le développement musculaire et l'efficacité alimentaire a conduit à une diminution du persillé, de la flaveur et de la jutosité (Bonny et al., 2018). Par ailleurs, cette orientation vers des animaux plus tardifs rend plus difficile l'adoption des pratiques plus agroécologiques, comme la finition à l'herbe, pourtant favorable aux dimensions nutritionnelles et d'image de la viande (Berthelot et Gruffat, 2018 ; Davis et al., 2022). Enfin, la spécialisation des animaux peut conduire à des impasses, en excluant ou en dévalorisant une partie des animaux, comme les poussins mâles dans la filière poules pondeuses (Gautron et al., 2021) et une partie des chevreaux et veaux mâles dans certaines filières laitières (Prache et al., 2022a). Un problème éthique majeur est l'élimination des poussins mâles à la naissance ; la pression sociétale a incité la France et l'Allemagne à l'interdire (en 2022). Dans la filière caprine, une partie des chevreaux mâles ne trouve pas non plus de débouchés dans la chaîne alimentaire humaine.
Des recherches s'intéressent à faire évoluer cette orientation en intégrant mieux d'autres dimensions de la qualité dans le paiement aux éleveurs et l'information aux consommateurs. On peut citer la méthode MSA, développée en Australie pour prédire la qualité en bouche de la viande bovine (et payer les éleveurs en fonction), et actuellement testée en Europe (Bonny et al., 2018). Par ailleurs, il y a besoin d'instruire des solutions permettant de maintenir tous les animaux dans la chaîne alimentaire. Il peut s'agir, par exemple, de revenir à une certaine mixité dans les fonctions productives de l'animal, offrant un bon compromis entre la production de viande et d'œufs (utilisation de lignées à double finalité dans la filière œufs, Gautron et al., 2021) ou de lait et de viande (race ovine Lacaune, par exemple), du croisement de races ou de souches, et du développement de mentions valorisantes et/ou de circuits courts. Enfin, des méthodes de sexage *in ovo*, utilisant l'analyse spectrale ou la mesure d'hormones et de métabolites dans l'œuf ont été développées ou sont en cours de développement auprès des couvoirs (Gautron et al., 2021).

D'autres antagonismes (et aussi de possibles synergies) entre les différentes dimensions de la qualité et entre étapes d'élaboration de l'aliment ont été identifiés. Une pratique d'élevage peut ainsi avoir des effets positifs sur certaines dimensions de la qualité, mais négatifs sur d'autres.
Ne pas castrer les porcelets mâles est favorable à l'image (BEA, moindres rejets azotés) et aux caractéristiques commerciales (teneur plus élevée en viande maigre, coûts de production plus faibles), mais peut être défavorable aux dimensions organoleptiques (risque d'odeurs indésirables dues à la présence d'androsténone et/ou de scatol dans les tissus gras) et à certains critères d'image (plus grande agressivité des mâles entiers) (Lebret et Candek-Potokar, 2022a). Les moyens d'action pour réduire le risque d'odeurs associées à l'androsténone sont la sélection génétique et la réduction du poids et de l'âge à l'abattage. Les conditions d'élevage (hygiène des sols, ventilation, température, alimentation) constituent, quant à elles, des leviers efficaces pour réduire la teneur en scatol. Cependant, ces leviers ne suffisent pas pour garantir l'absence de risque. Les recherches s'orientent vers la détection des défauts sur la chaîne d'abattage afin d'orienter la viande vers la transformation la plus appropriée et la sélection génétique pour réduire la teneur en androsténone sans compromettre les autres caractères de production ou de reproduction (Lebret et Candek-Potokar, 2022a).

Pour la viande ovine, l'élevage à l'herbe est favorable aux dimensions nutritionnelles et d'image, mais peut être défavorable à certaines dimensions organoleptiques (risque de flaveurs indésirables, couleur plus sombre) et commerciales (risque d'état d'engraissement insuffisant) (Prache et al., 2022b). Ces antagonismes sont encore plus marqués en agriculture biologique (Prache et al., 2022c). Un compromis peut être trouvé en terminant l'engraissement de l'agneau en bergerie pendant une courte durée, car le scatol a une faible persistance dans les tissus et une courte durée d'alimentation avec des concentrés ne dégrade pas trop le profil en AG de la viande (Eiras et al., 2022), ou en complémentant les agneaux d'herbe avec des céréales. L'utilisation de compléments riches en tannins condensés est, elle, une solution gagnant-gagnant pour les dimensions nutritionnelles et organoleptiques (Prache et al., 2022). Une autre possibilité serait de mieux sensibiliser les consommateurs aux caractéristiques de la viande d'agneau d'herbe.

En aquaculture, l'alimentation des poissons est habituellement d'origine marine, mais repose de plus en plus sur des ingrédients d'origine végétale. Cette substitution favorise les dimensions d'image (moindre impact sur une ressource sauvage) et sanitaires (moins de risque de contaminations liées aux farines et huiles de poissons), mais elle dégrade les propriétés nutritionnelles (diminution des teneurs de la chair en AGPI n-3 LC) et commerciales (baisse du rendement de découpe en lien avec une adiposité accrue) (Le Boucher et al., 2013). Le profil en AG peut être restauré par un retour à une alimentation d'origine marine en finition avant l'abattage.
Certaines productions mettent à profit des synergies entre différentes dimensions de la qualité et entre étapes d'élaboration. Le jambon sec en est un bon exemple, sa qualité dépendant fortement à la fois de la qualité de la matière première et des conditions et de la durée de la transformation (salage, séchage, maturation) (Lebret et Čandek-Potokar, 2022b). L'élevage extensif, avec des races ou lignées spécifiques incluant la consommation de ressources locales, permet d'optimiser les propriétés de la matière première : forte accrétion lipidique, couleur plus sombre, arômes typés. Ces jambons sont alors plus gras (gras intramusculaire et de couverture), et mieux adaptés au séchage, ils ont donc des propriétés technologiques renforcées, et en même temps sont dotés de propriétés organoleptiques très spécifiques. Ces synergies sont encore plus fortes avec des races locales et des animaux plus âgés (Pugliese et Sirtori, 2012). A noter que dans les systèmes extensifs, la consommation par les porcs de ressources naturelles riches à la fois en AGPI n-3 et en antioxydants permet d'enrichir naturellement la viande en AGPI n-3 sans oxydation excessive, et ainsi d'éviter de possibles antagonismes dans les propriétés nutritionnelles (Lebret et Čandek-Potokar, 2022b). D'autres produits, comme le fromage, montrent de fortes interactions entre les étapes de production et de transformation, des conditions de transformation plus douces (absence de standardisation et de traitements thermiques) permettant aux propriétés organoleptiques du fromage de mieux refléter les conditions de production du lait. Par exemple, l'effet de l'alimentation des animaux sur la flaveur du fromage est plus important lorsque celui-ci est fabriqué avec du lait cru qu'avec du lait pasteurisé (Fretin et al., 2016) et un temps d'affinage plus long accentue les effets des conditions de production du lait (Coppa et al., 2011).

L'existence d'antagonismes conduit à la recherche de solutions pour aider à les gérer. Ces solutions peuvent consister à trouver des compromis entre les effets positifs et négatifs. Les approches multicritères sont des outils prometteurs pour gérer ces antagonismes et trouver des compromis ; elles sont cependant émergentes. L'analyse multicritère a pour objectif d'aider un décideur à prendre une

décision dans un environnement multidimensionnel en se basant sur un processus de décision déterminant la meilleure solution ou le meilleur compromis, selon des préférences prédéfinies. Le rôle du décideur est primordial, car les résultats dépendront des pondérations et des compensations appliquées aux différents critères, ainsi qu'aux allocations réalisées et aux unités fonctionnelles choisies. Certaines études ont évalué conjointement la qualité des produits et les performances environnementales des systèmes d'élevage dont ils sont issus (Botreau et al., 2018). D'autres s'intéressent plus particulièrement à la transformation (procédés, en particulier la cuisson, l'emballage et la conservation) ou à la chaîne du froid (Madoumier et al., 2020 ; Raffray et al., 2015 ; Rocchi et al., 2019). Ces analyses multicritères ont cependant encore du mal à couvrir l'ensemble des dimensions de la qualité, ainsi que le continuum d'opérations depuis la production jusqu'à la consommation. Des progrès sont attendus dans les prochaines années, puisque des programmes européens récemment démarrés visent à caractériser simultanément les différentes dimensions de la qualité de produits animaux (lait et produits laitiers, viande bovine et de volaille) issus de la diversité des systèmes d'élevage européens et de coconstruire avec les différents acteurs des outils d'évaluation multicritère de ces produits.

5. LES SIQO : CONSTRUCTION DE LA QUALITE PAR LEURS ENGAGEMENTS

Les SIQO sont des vecteurs de réassurance. Ils permettent aux filières d'opérer une montée en gamme, d'en capter la valeur ajoutée, et aux territoires correspondants d'intégrer les externalités positives liées à ces produits. Les cinq SIQO en Europe sont : AB (Agriculture Biologique), AOP (Appellation d'Origine Protégée), IGP (Indication Géographique Protégée), STG (Spécialité Traditionnelle Garantie), reconnus en Europe et le LR (Label Rouge), qui est une spécificité française.
Les SIQO sont encadrés par des cahiers des charges indiquant leurs engagements et ils sont régulièrement contrôlés. Les dimensions d'image sont partagées par tous, les SIQO conférant aux produits certifiés crédibilité et fiabilité. Bien que toutes les dimensions de la qualité soient au final concernées, chaque SIQO développe cependant des liens privilégiés avec certaines. L'AB s'engage surtout sur les dimensions sanitaires en promouvant des « procédés qui ne nuisent pas à l'environnement et à la santé humaine ». Les AOP, IGP, STG mettent en avant des dimensions organoleptiques liées à la typicité et à la spécificité des produits, ainsi qu'à leur origine géographique (à différents degrés). Le LR est associé dans sa définition règlementaire à "un niveau de qualité supérieure".
L'analyse des engagements pris dans les cahiers des charges LR Gros Bovins (Raulet et al., 2022 ; Tableau 2) a permis de formaliser comment ces engagements sont liés aux différentes dimensions de la qualité et comment ce SIQO construit la qualité. Il mobilise des facteurs majeurs d'octroi de la qualité (notamment dans ses dimensions organoleptiques et d'image) aux différentes étapes de la chaîne d'élaboration, depuis les conditions d'élevage jusqu'à la maturation de la viande. En outre, des tris successifs sont effectués sur les animaux, les carcasses et les viandes qui peuvent être labellisés.

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	-	Mâle : > 30 mois Femelle : 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 5j en moyenne	Viandes à griller/rôtir : > 10j voire > 14j	Tendreté, flaveur

Tableau 2. Renforcement des propriétés organoleptiques de la viande par les principaux engagements du cahier des charges Label Rouge Gros Bovins tout au long de la chaîne d'élaboration (vert : engagements sur le troupeau, orange : tri sur les caractéristiques de l'animal, de la carcasse et de la viande).

Pour les produits issus de l'AB, on constate une grande hétérogénéité dans les résultats des études comparant la qualité des produits issus de l'AB *vs* de l'agriculture conventionnelle, liée à la grande variabilité des pratiques d'élevage, à la fois en AB et en agriculture conventionnelle. Deux méta-analyses, l'une sur le lait de vache, l'autre sur les viandes, montrent que les produits AB présentent des propriétés nutritionnelles supérieures (teneur supérieure en AGPI, notamment en AGPI n-3), résultat lié aux différences dans l'alimentation des animaux (Srednicka-Tober et al., 2016 a et b ; Davis et al., 2022 ; Gaudaré et al., 2022). L'AB réduit également les risques de résidus de médicaments, de pesticides et d'antibiorésistance. Toutefois, l'accès au plein air et la durée d'élevage généralement plus longue augmentent l'exposition des animaux aux contaminants environnementaux et donc le risque de leur bioaccumulation dans les produits (Dervilly-Pinel et al., 2017). L'effet de l'AB sur les dimensions d'image varie selon l'espèce animale, le critère considéré (BEA, émissions polluantes, utilisation de ressources, biodiversité) et l'unité fonctionnelle employée. Enfin, les produits AB présentent généralement une qualité plus variable, ce qui peut s'expliquer par une moindre sélection génétique (volailles), une moindre utilisation d'intrants et/ou une plus grande variabilité des conditions d'élevage (ruminants et monogastriques). Les conséquences de cette plus grande variabilité pour les consommateurs et la transformation n'ont pas été abordées jusqu'à présent dans la littérature scientifique et constituent une piste de recherche à développer. Une synthèse récente détaille ces enseignements sur la qualité des produits d'origine animale issus de l'AB (Prache et al., 2022c)

6. EFFETS SUR LA SANTE HUMAINE

6.1. Participation à la couverture des besoins

L'intérêt nutritionnel des produits animaux repose sur leur teneur en protéines de haute valeur nutritionnelle et sur un apport en AG et en minéraux et vitamines spécifiques. La spécificité des produits animaux dans notre alimentation est d'être les pourvoyeurs majoritaires en AGPI n-3 LC et en vitamine B12, et de fournir tous les acides aminés indispensables ainsi que des micronutriments facilement assimilables. Une proportion élevée d'AGPI n-3, comme dans la chair des poissons gras ou dans les produits issus d'animaux nourris avec des végétaux riches en AGPI n-3 (herbe ou certains oléagineux), est bénéfique pour la santé. Au contraire, les effets délétères de certains AGS conduisent à recommander de maintenir l'apport quotidien en AGS totaux à moins de 12 % de l'apport énergétique total. La vitamine B12, qui joue un rôle crucial dans le développement du fœtus et les fonctions cognitives, est spécifiquement fournie par les aliments d'origine animale. Sans la consommation de ces produits, il faut recourir à des compléments alimentaires. Les protéines d'origine animale ont une teneur élevée et un profil en acides aminés indispensables bien équilibré par rapport aux besoins humains, ce qui les rend bien adaptées à des segments de

population spécifiques comme les séniors, les enfants ou les sportifs. Les minéraux (fer, calcium, zinc) d'origine animale sont plus facilement disponibles que ceux d'origine végétale ; il s'agit donc d'outils de prévention des carences, notamment pour les femmes enceintes, les jeunes enfants et les personnes âgées. Des études épidémiologiques montrent que les végétariens ne présentent pas plus de problèmes de santé que les non-végétariens, même si les teneurs en micronutriments de leurs réserves corporelles sont plus faibles. Cependant, les végétaliens présentent une prévalence plus élevée de carences en certains nutriments, notamment en vitamines D et B12, en fer, en iode, en calcium et en zinc (Lemale et al., 2019 ; Sakkas et al., 2020).

6.2. Incidence sur les maladies chroniques

Les études d'épidémiologie nutritionnelle permettent d'établir des associations entre la consommation d'aliments d'origine animale et l'augmentation ou la diminution du risque de certaines maladies chroniques, comme le diabète, l'obésité, les cancers, les maladies cardio-vasculaires (MCV) et neuro-dégénératives (MAMA : maladie d'Alzheimer et maladies apparentées). Ces associations sont qualifiées par le niveau de preuve associé aux résultats. Des méta-analyses (Schwingshackl et al., 2017a et b ; WCRF et al., 2018a et b) montrent que la consommation de certains aliments peut avoir des effets positifs sur la santé, ou des effets négatifs s'ils sont consommés en excès. La consommation de poissons est ainsi associée à une diminution du risque de mortalité prématurée et du risque de MCV et de MAMA, celle des produits laitiers à une diminution du risque de cancer colorectal (Tableau 3), avec un niveau de preuve probable. A l'inverse, une consommation élevée de charcuterie et de viande rouge est associée à des risques accrus. Une augmentation de 50 g/jour de la consommation de charcuterie est associée à une augmentation du risque de mortalité prématurée et du risque de cancer colorectal de 23 % et 16 % avec un niveau de preuve convaincant (Schwingshackl et al., 2017b ; WCRF et al., 2018a) (Tableau 3). Une augmentation de 100 g/jour de la consommation de viande rouge est associée à une augmentation de 10 % du risque de mortalité prématurée et de 12 % du risque de cancer colorectal, avec un niveau de preuve probable (Schwingshackl et al., 2017b ; WCRF et al., 2018a).

Groupe de produits	Cancer	MCV	MAMA
Charcuterie			
Viande de boucherie hors volaille			
Viande de volaille			
Œufs			
Poisson			
Produits laitiers			

Légende

Augmentation du risque – Niveau de preuve convaincant

Augmentation du risque – Niveau de preuve probable

Diminution du risque – Niveau de preuve probable

Tableau 3. Niveau de preuve des associations entre la consommation de groupes de produits animaux et les maladies chroniques (MCV : maladies cardiovasculaires ; MAMA : maladie d'Alzheimer et maladies apparentées). Cellules en blanc : niveau de preuve peu probable.

Ceci a conduit à recommander des plafonds de consommation (150 g et 500 g/semaine pour la charcuterie et la viande rouge). Les chiffres de la consommation en France s'établissent à 53 g/jour pour la viande rouge et 35 g/jour pour la charcuterie (Prache et al., 2020a). Le message de réduction de consommation s'adresse aux deux tiers des français dépassant le niveau de consommation recommandé pour la charcuterie et aux 28 % qui dépassent celui recommandé pour la viande rouge.

Même dans les pays où la consommation moyenne de protéines d'origine animale est supérieure aux besoins, certains segments de la population, en particulier les personnes âgées, peuvent avoir un apport inférieur à leurs besoins. A noter également que les régimes végétariens ou végétaliens sont généralement associés à un risque plus élevé de fractures osseuses (Tong et al., 2020), de sarcopénie (Marcos-Pardo et al., 2021) et d'anémie (Papier et al., 2021), point d'attention particulier dans un contexte du vieillissement de la population.

Les nitrites et nitrates, additifs utilisés pour la conservation et la couleur des charcuteries, sont suspectés d'être associés à un risque accru de cancer colorectal. En effet, des données expérimentales sur un modèle animal de carcinogénèse colorectale démontrent que produire une charcuterie sans nitrites limite le risque de carcinogénèse au stade prénéoplasique (Santarelli et al., 2010). Une étude épidémiologique très récente sur la cohorte Nutrinet-Santé a permis de mettre en évidence que les additifs nitrates et nitrites étaient également positivement associés aux risques de cancer du sein et de la prostate, respectivement (Chazelas et al., 2022). Sur cette base, l'Anses a émis un avis le 12 juillet 2022 concluant à : i) l'existence d'une association positive entre l'exposition aux nitrates et/ou aux nitrites *via* la charcuterie et le risque de cancer colorectal, ii) la nécessité de limiter l'exposition alimentaire aux nitrates et nitrites *via* la charcuterie (Anses, 2022). Les scientifiques travaillent sur plusieurs pistes pour réduire l'exposition de la population *via* la reformulation des produits charcutiers. L'objectif des projets en cours est d'évaluer l'impact de la réduction, du retrait et de la substitution de ces additifs. La finalité est d'évaluer si ces pistes présentent un avantage pour la santé des consommateurs et de vérifier leurs effets sur le risque microbiologique et la qualité des produits charcutiers.

Les études épidémiologiques sont menées à l'échelle de groupes de produits et ne prennent pas en compte la grande variabilité de leur composition liée à la variabilité des conditions de production et de transformation. Les catégories "charcuterie" et "viande rouge" englobent ainsi une grande diversité de produits ayant des compositions variées et ayant subi des procédés de transformation divers. Il y a donc besoin de mieux comprendre les liens entre santé et conditions de production et de transformation des aliments. Par ailleurs, sur la base des associations établies entre la consommation d'aliments dits 'ultra-transformés' et la santé humaine (Srour et Touvier, 2020), le PNNS recommande de réduire la consommation de ce type d'aliments. Cependant, la qualification d'ultra-transformation restant assez empirique et débattue, il apparait nécessaire de mieux caractériser les degrés de transformation et de formulation (composition) des aliments afin de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents et de faire évoluer les procédés de transformation en conséquence. L'expertise souligne ainsi le besoin d'une meilleure connexion entre 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. Des recherches sont également nécessaires pour comprendre les leviers et les freins aux pratiques de substitution entre aliments, selon les populations, ainsi que les voies de transition d'un régime alimentaire vers un autre.

CONCLUSION

La qualité des aliments d'origine animale peut être construite mais aussi altérée à toutes les étapes de la ferme à l'assiette. Cette synthèse souligne la primauté accordée aux dimensions commerciales de la qualité, notamment pour les produits standards, ce qui peut avoir des effets collatéraux négatifs pour d'autres dimensions de la qualité. Cette priorité,

qui se traduit notamment dans les critères de paiement aux éleveurs, a logiquement fortement orienté la sélection génétique et les pratiques d'élevage. Des études s'intéressent à faire évoluer cette orientation en intégrant mieux d'autres dimensions de la qualité dans une approche plus globale. Cependant, comme ces évolutions se heurtent aux normes et jeux d'acteurs en cours, elles nécessitent une action publique en direction des normes et de l'organisation collective des filières. Il y a aussi besoin d'instruire des solutions permettant de mieux valoriser les animaux ne rentrant pas dans les 'canons' de la qualité commerciale, ainsi que d'accompagner les acteurs dans les évolutions correspondantes. Un autre enseignement de cette synthèse est le 'gap' entre les études épidémiologiques et les études à l'échelle de l'aliment. La prise en compte de l'effet des pratiques d'élevage et de transformation des aliments sur la santé humaine nécessite un effort collectif des communautés scientifiques travaillant à l'échelle de l'élevage, de la transformation des aliments, des comportements des consommateurs, de la nutrition humaine et de l'épidémiologie.

Les évolutions rapides des comportements alimentaires et des attentes sociétales, parfois difficiles à cerner avec précision, invitent à mieux anticiper les besoins et les motivations des consommateurs, et à instruire des solutions, parfois de rupture, dans les pratiques d'élevage et les procédés de transformation des aliments. Les consommateurs ont des exigences accrues quant aux conditions de production des animaux et de transformation des aliments, qui s'accompagnent d'un besoin de réassurance et de transparence. L'authentification des conditions de production, de transformation et de l'origine font l'objet de beaucoup de travaux, mais les méthodes sont encore au stade de la preuve de concept et elles nécessitent de gagner en généricité et en robustesse pour pouvoir être transférées aux opérateurs. Par ailleurs, certains craignent que la profusion d'informations sur les étiquettes ne limite leur intérêt. Enfin, l'augmentation de la consommation d'aliments « prêts à consommer » se fait au détriment des savoir-faire culinaires. Pour contrecarrer cette évolution et recréer de l'autonomie dans les choix alimentaires, l'éducation est essentielle. Le manque de littérature sur les pratiques culinaires et de consommation à domicile sont à ce titre éloquents. Cette étape finale est pourtant déterminante pour la qualité des aliments qui seront consommés.

Aberle E.D., Forrest J.C., Gerrard D.E., Mills E.W., 2012. Properties of fresh meat. In: Principles of meat science – fifth edition. Aberle E.D., Forrest J.C., Gerrard D.E., Mills E.W. (Eds). Kendall Hunt Publishing, Dubuque, IA, USA, pp131-140.
Aboah J., Lees N., 2020. Consumers use of quality cues for meat purchase: Research trends and future pathways. Meat Sci. 166, 108142.
Agence Bio, 2022. Les chiffres 2021 du secteur bio, 13 pp.
Albert F., Bedoin F., Couzy C., Martin B., Laithier C., 2022. Evaluation des attentes de groupes multi-acteurs sur la qualité et l'authentification du lait et des produits laitiers. Renc. Rech. Ruminants, *in press*.
Anses, 2018. Attribution des sources des maladies infectieuses d'origine alimentaire. Partie 2 : Analyse des données épidémiologiques. Ed. Anses, Paris, France.
Anses, 2022. Evaluation des risques liés à la consommation de nitrates et nitrites. Saisine 2020-SA-0106. Maisons-Alfort : Anses, 275 pp.
Baéza E., Guillier L., Petracci M., 2022. Review: Production factors affecting poultry carcass and meat quality attributes. Anim. 16, 100331.
Bax M.L., Aubry L., Ferreira L., Daudin J.D., Gatellier P., Remond D., Sante-Lhoutellier V., 2012. Cooking temperature is a key determinant of *in vitro* protein digestion rate: investigation and underlying mechanisms. J. Agric. Food Chem. 60, 2569-2576.
Berri C., Picard B., Lebret B., Andueza D., Lefèvre F., Le Bihan-Duval E., Beauclercq S., Chartrin P., Vautier A., Legrand I., Hocquette J.F., 2019. Review. Predicting the quality of meat: myth or reality? Foods 8, 436.
Berthelot V., Gruffat D., 2018. Fatty acid composition of muscle. In: INRA Feeding System for ruminants. Sauvant D., Delaby L., Nozière P. (Eds). Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands, pp. 193-202.
Bonny S.P.F., Pethick D.W., Legrand I., Wierzbicki J., Allen P., Farmer L.J., Polkinghorne R.J., Hocquette J.F., Gardner G.E., 2016. European conformation and fat scores have no relationship with eating quality. Anim. 10, 996-1006.
Bonny S.P.F., Hocquette J.F., Pethick D.W., Legrand I., Wierzbicki J., Allen P., Farmer L.J., Polkinghorne R.J., Gardner G.E., 2018. Review: the variability of the eating quality of beef can be reduced by predicting consumer satisfaction. Anim. 12, 2434-2442.
Botreau R., Beauchet S., Laurent C., Hulin S., Hérisset R., Thiollet-Scholtus M., Kanyarushoki C., Boucault P., Renaud-Gentié C., Jourjon F., 2018. Une méthode pour évaluer conjointement performance environnementale et qualité globale des produits-Application aux filières vin et lait. Innov. Agron. 63, 23-42.
Boudon S., Ounaissi D., Viala D., Monteils V., Picard B., Cassar-Malek I., 2020. Label free shotgun proteomics for the identification of protein biomarkers for beef tenderness in muscle and plasma of heifers. J. Proteom. 217, 103685.
Braesco V., Souchon I., Sauvant P., Haurogné T., Maillot M., Féart C., Darmon N., 2022. Ultra-processed foods: how functional is the NOVA system? Eur. J. Clin. Nutr. 76, 1245-1253.
Chazelas E., Pierre F., Druesne-Pecollo N., Essedik Y., Szabo de Edelenyi F., Agaësse C., De Sa A., Lutchia R., Gigandet S., Srour B., Debras C.H., Huybrechts I., Julia C., Kesse-Guyot E., Allès B., Galan P., Hercberg S., Deschasaux-Tanguy M., Touvier M. 2022. Nitrites and nitrates from additives and natural sources and cancer risk: results from the NutriNet-Santé cohort. Int. J. Epidemiol. doi: 10.1093/ije/dyac046.
Coppa M., Verdier-Metz I., Ferlay A., Pradel P., Didienne R., Farruggia A., Montel M.C., Martin B., 2011. Effect of different grazing systems on upland pastures compared with hay diet on cheese sensory properties evaluated at different ripening times. International Dairy J. 21, 815-822.
Danezis G.P., Tsagkaris A.S., Camin F., Brusic V., Georgiou C.A., 2016. Food authentication; Techniques, trends and emerging approaches. Trends in Analytical Chem. 85, 123-132.
Davis H., Magistrali A., Butler G., Stergiadis S., 2022. Nutritional benefits from fatty acids in organic and grass-fed beef. Foods 11, 646.**Dervilly-Pinel G., Guerin T., Minvielle B., Travel A., Normand J., Bourin M., Royer E., Dubreil E., Mompelat S., Hommet F., Nicolas M., Hort V., Inthavong C., Saint-Hilaire M., Chafey C., Parinet J., Cariou R., Marchand P., Le Bizec B., Verdon E., Engel E., 2017**. Micropollutants and chemical residues in organic and conventional meat. Food Chem. 232, 218-228.
Eiras C.E., Prunier A., Meteau K., Nunes do Prado I., Prache S., 2022. Is a short concentrate-finishing period in lambs raised on alfalfa pasture effective at reducing fat indoles contents and lightening meat colour? Anim. 16, 100610.
Eriksen M.S., Rodbotten R., Grondahl A.M., Friedstad M., Andersen I.L., Mejdell C.M., 2013. Mobile abattoirs versus conventional slaughterhouse-Impacts on stress parameters and meat quality characteristics in Norwegian lambs. Appl. Anim. Behav. Sci. 149, 21-29.
Font-i-Furnols M., Guerrero L., 2014. Consumer preference, behavior and perception about meat and meat products: An overview. Meat Sci. 98, 361-371.

FranceAgriMer, 2019. Combien de végétariens en Europe? Synthèse des résultats à partir de l'étude 'Panorama de la consommation végétarienne en Europe' réalisée par le Crédoc pour FranceAgriMer et l'OCHA en 2018, 34 pp.
FranceAgriMer, 2021.Végétariens et flexitariens en France en 2021. Enquête Ifop pour FranceAgriMer. Rapport complet de l'étude, 151 pp.
Fretin M., Ferlay A., Verdier-Metz I., Fournier F., Montel M.C., Farruggia A., Delbes C., Martin B., 2017. The effects of low-input grazing systems and milk pasteurisation on the chemical composition, microbial communities, and sensory properties of uncooked pressed cheeses. International Dairy J. 64, 56-67.
Gaudaré U., Pellerin S., Benoit M., Durand G., Dumont B., Barbieri P., Nesme T., 2022. Comparing productivity and feed-use efficiency between organic and conventional animals. Environ. Res. Lett. 16, 024012.
Gautron J., Réhault-Godbert S., Van de Braak T.G.H., Dunn I.C., 2021. Review: what are the challenges facing the table egg industry in the next decades and what can be done to address them? Anim. 15, 100282.
Guillier L., Duret S., Hoang H. M., Flick D., Nguyen-Thé C., Laguerre O., 2016. Linking food waste prevention, energy consumption and microbial food safety: the next challenge of food policy? Curr. Opin. in Food Sci. 12, 30-35.
Hocquette J.F., Ellies-Oury M.P., Legrand I., Pethick D., Gardner G., Wierzbicki J., Polkinghorne R., 2020. Research in beef tenderness and palatability in the era of big data. Meat and Muscle Biol. 4, 1-13.
Janssen M., Rodiger M., Hamm U., 2016. Labels for animal husbandy systems meet consumer preferences: results from a méta-analysis of consumer studies. J. Agric. and Environmental Eth. 29, 1071-1100.
Kondjoyan A., Chevolleau S., Portanguen S., Molina J., Ikonic P., Clerjon S., Debrauwer L., 2016. Relation between crust development and heterocyclic aromatic amine formation when air-roasting a meat cylinder. Food Chem. 213, 641-646.
Le Boucher R., Dupont-Nivet M., Laureau S., Labbe L., Geurden I., Medale F., Chatain B., Vandeputte M., Quillet E., 2013. Selective breeding and shift to plant-based diets in fish farming. INRA Prod. Anim. 26, 317-326.
Lebret B., Čandek-Potokar M., 2022a. Review: Pork quality attributes from farm to fork. Part I. Carcass and fresh meat. Anim. 16, 100402.
Lebret B., Čandek-Potokar M., 2022b. Review: Pork quality attributes from farm to fork. Part II. Processed pork products. Anim. 16, 100383.
Lemale J., Mas E., Jung C., Bellaiche M., Tounian P., 2019. Vegan diet in children and adolescents. Recommandations from the French-speaking pediatric hepatology gastroenterology and nutrition group. Archives de Pédiatrie 26, 442-450.
Lund T.B., McKeegan D.E.F., Cribbin C., Sandøe P., 2016. Animal Ethics Profiling of Vegetarians, Vegans and Meat-Eaters. Anthrozoös 29, 89-106.
Madoumier M., Azzaro-Pantel C., Gésan-Guiziou G., 2020. Including cleaning and production phases in the eco-design of a milk evaporation process. Food and Bioproducts Process. 123, 427-436.
Marcos-Pardo P.J., Gonzalez-Galvez N., Lopez-Vivancos A., Espeso-Garcia A., Martinez-Aranda L.M., Gea-Garcia G.M., Orquin-Castrillon F.J., Carbonell-Baeza A., Jimenez-Garcia J.D., Velazquez-Diaz D., Cadenas-Sanchez C., Isidori E., Fossati C., Pigozzi F., Rum L., Norton C., Tierney A., Abelkalns I., Klempere-Sipjagina A., Porozovs J., Hannola H., Niemisalo N., Hokka L., Jimenez-Pavon D., Vaquero-Cristobal R., 2020. Sarcopenia, diet, physical activity and obesity in European middle-aged and older adults: the LifeAge Study. Nutrients 13, 8.
Martin B., Graulet B., Uijttewaal A., Ferlay A., Coppa M., Rémond D., 2019. Contribution of dairy products to dietary intake and the influence of dairy cow forage. Fourrages 239, 193-202.
McAuliffe G.A., Takahashi T., Lee M.R.F., 2018. Framework for life cycle assessment of livestock production systems to account for the nutritional quality of final products. Food and Energy Secur. 7, e00143.
Meunier B., Normand J., Albouy-Kissi B., Micol D., El Jabri M., Bonnet M., 2021. An open-access computer image analysis (CIA) method to predict meat and fat content from an android smartphone-derived picture of the bovine 5th-6th rib. Methods 186, 79-89.
Meurillon M., Ratel J., Engel E., 2018. How to secure the meat chain against toxicants? Innovative Food Sci. & Emerg. Technol. 46, 74-82.
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 Nutr. 21, 5-17.
Mourot B.P., Gruffat D., Durand D., Chesneau G., Prache S., Mairesse G., Andueza D., 2014. New approach to improve the calibration of main fatty acids by near-infrared reflectance spectroscopy in ruminant meat. Anim. Prod. Sci. 54, 1848-1852.
Mugnai C., Sossidou E.N., Dal Bosco A., Ruggeri S., Mattioli S., Castellini C., 2014. The effects of husbandry system on the grass intake and egg nutritive characteristics of laying hens. J. Sci. Food and Agric. 94, 459-467.
Papier K., Fensom G.K., Knuppel A., Appleby P.N., Tong T.Y.N., Schmidt J.A., Travis R.C., Key T.J., Perez-Cornago, A., 2021. Meat consumption and risk of 25 common conditions: outcome-wide analyses in 475,000 mean and women in the UK Biobank study. BMC Med. 19, 53.
Picard B., Lebret B., Cassar-Malek I., Liaubet L., Berri C., Le Bihan-Duval E., Hocquette J.F., Renand G., 2015. Recent advances in omic technologies for meat quality management. Meat Sci. 109, 18-26.
Pointereau P., 2019. Le revers de notre assiette: changer d'alimentation pour préserver notre santé et notre environnement. Solagro, Paris, France, 63p.
Ponnampalam E.N., Mann N.J., Sinclair A.J., 2006. Effect of feeding systems on omega-3 fatty acids, conjugated linoleic acid and trans fatty acids in Australian beef cuts: potential impacts on human health. Asia Pac. J. Clinical Nutr. 15, 21-29.
Prache S., Sante-Lhoutellier V., Adamiec C., Astruc T., Baeza-Campone E., Bouillot P.E., Bugeon J., Cardinal M., Cassar-Malek I., Clinquart A., Coppa M., Corraze G., Donnars C., Ellies M.P., Feidt C., Fourat E., Gautron J., Girard A., Graulet B., Guillier L., Hocquette J.F., Hurtaud C., Kesse-Guyot E., Kerhoas N., Lebret B., Lefevre F., Le Perchec S., Martin,B., Médale F., Mirade P.S., Nau F., Pierre F., Raulet M., Remond D., Sans P., Sibra C., Souchon I., Touvier M., Verrez-Bagnis V., Vitrac O., 2020a. Qualité des aliments d'origine animale selon les conditions de production et de transformation. Rapport de l'expertise scientifique collective. INRAE, Paris, France, 1023p, https://www.inrae.fr/actualites/qualite-aliments-dorigine-animale-conditions-production-transformation
Prache S., Martin B., Coppa M., 2020b. Review: Authentication of grass-fed meat and dairy products from cattle and sheep. Anim. 14, 854-863.
Prache S., Adamiec C., Astruc T., Baeza-Campone E., Bouillot P.E., Clinquart A., Feidt C., Fourat E., Gautron J., Girard A., Guillier L., Kesse-Guyot E., Lebret B., Lefevre F., Le Perchec S., Martin, B., Mirade P.S., Pierre F., Raulet M., Remond D., Sans P., Souchon I., Donnars C., Sante-Lhoutellier V., 2022a. Review: Quality of animal-source foods. Anim. 16, 100376.
Prache S., Schreurs N., Guillier L., 2022b. Review: Factors affecting sheep carcass and meat quality attributes. Anim. 16, 100330.

Prache S., Lebret B., Baéza E., Martin B., Gautron J., Feidt C., Médale F., Corraze G., Raulet M., Lefèvre F., Verrez-Bagnis V., Sans P., 2022c. Review: Quality and authentication of organic animal products in Europe. Anim. 16, 100405.
Provenza F.D., Kronberg S.L., Gregorin, P., 2019. Is grassfed meat and dairy better for human and environmental health? Frontiers in Nutr. 6, 26.
Pugliese C., Sirtori F., 2012. Quality of meat and meat products produced from southern Europe pig breeds. Meat Sci. 90, 511-518.
Pussemier L., Mohimont L., Huyghebaert A., Goeyens L., 2004. Enhanced levels of dioxins in eggs from free range hens; a fast evaluation approach. Talanta 63, 1273-1276.
Raffray G., Collignan A., Sebastian P., 2015. Multiobjective optimization of the preliminary design of an innovative hot-smoking process. J. Food Eng 158, 94-103.
Raulet M., Clinquart A., Prache S., 2021. Construction of beef quality through official quality signs, the example of Label Rouge. Anim. 16, 100357.
Rocchi L., Paolotti L., Rosati A., Boggia A., Castellini C., 2019. Assessing the sustainability of different poultry production systems: A multicriteria approach. J. Clean. Prod. 211, 103-114.
Sakkas H., Bozidis P., Touzios C., Kolios D., Athanasiou G., Athanasopoulou E., Gerou I., Gartzonika C., 2020. Nutritional status and the influence of the vegan diet on the gut microbiota and human health. Med.-Lithuania 56, 88.
Salami S.A., Luciano G., O'Grady M.N., Biondi L., Newbold C.J., Kerry J.P., Priolo A., 2019. Sustainability of feeding plant by-products: a review of the implications for ruminant meat production. Anim. Feed Sci. and Technol. 251, 37-55.
Santarelli R.L., Naud N., Taché S., Guéraud F., Vendeuvre J.L., Viau M., Genot C., Corpet D.E., Pierre F.H.F. 2010. Meat processing and colon carcinogenesis: cooked, nitrited and oxidized high-heme cured meat promotes mucin depleted foci in rats. Cancer Prevention Res. 3:8, 852-864.
Schwingshackl L., Hoffmann G., Lampousi A.M., Knuppel S., Iqbal K., Schwedhelm C., Bechthold A., Schlesinger S., Boeing H., 2017a. Food groups and risk of type 2 diabetes mellitus: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. Eur. J. of Epidemiol. 32, 363-375.
Schwingshackl L., Schwedhelm C., Hoffmann G., Lampousi A.M., Knuppel S., Iqbal K., Bechthold A., Schlesinger S., Boeing H., 2017b. Food groups and risk of all-cause mortality: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. Am. J. of Clinical Nutr. 105, 1462-1473.
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 optima tax levels and associated health impacts. Plos One 13, e0204139.
Srednicka-Tober D., Baranski M., Seal C.J., Sanderson R., Benbroock C., Steinshamm H., Gromadzka-Ostrowska J., Rembialkowska E., Skwarlo-Sonta K., Eyre M., Cozzi G., Larsen M.K., Jordon T, Niggli U., Sakowski T., Calde, P.C., Burdge G.C., Sotiraki S., Stefanakis A., Stergiadis S., Yolcu H., Chatzidimitriou E., Butler G., Stewart G., Leifert C., 2016a. Higher PUFA and n-3 PUFA, conjugated linoleni acid, alpha-tocopherol and iron, nut lower iodine and selenium concentrations in organic milk: a systematic literature review and meta- and redundancy analyses. Br. J. Nutr. 115, 1043-1060.
Srednicka-Tober D., Baranski M., Seal C.J., Sanderson R., Benbroock C., Steinshamm H., Gromadzka-Ostrowska J., Rembialkowska E., Skwarlo-Sonta K., Eyre M., Cozzi G., Larsen M.K., Jordon T., Niggli U., Sakowski T., Calder P.C., Burdge G.C., Sotiraki S., Stefanakis A., Yolcu H., Stergiadis S., Chatzidimitriou E., Butler, G., Stewart G., Leifert C., 2016b. Composition differences between organic and conventional meat: a systematic literature review and meta-analysis. Br. J. Nutr. 115, 994-1011.
Srour B., Touvier M., 2020. Processed and ultra-processed foods: coming to a health problem? International J. Food Sci. Nutr. 71, 653-655.
Sturaro E., Bedoin F., Bühl V., Cartoni-Mancinelli A., Couzy C., Eppenstein R., McLaughlin S., Pagliacci F., Laithier C., 2022. Consumer's expectations about quality of livestock products: focus groups in 4 European countries. EAAP-73rd Annual Meeting, Porto, Portugal, 607.
Terlouw E.M.C., Picard B., Deiss V., Berri C., Hocquette J.F., Lebret B., Lefèvre F., Hamill R., Gagaoua M., 2021. Review. Understanding the determination of meat quality using biochemical characteristics of the muscle: stress at slaughter and other missing keys. Foods 10, 84.
Theron L., Sayd T., Chambon C., Venien A., Viala D., Astruc, T., Vautier, A., Sante-Lhoutellier, V., 2019. Deciphering PSE-like muscle defect in cooked ham: a signature from the tissue to the molecular scale. Food Chem. 270, 359-366.
Tong T.Y.N., Appleby P.N., Armstrong M.E.G., Fensom G.K., Knuppel A., Papier K., Perez-Cornago A., Travis R.C., Key T.J., 2020. Vegetarian and vegan diets and risks of total and site-specific fractures: results from the prospective EPIC-Oxford study. BMC Med. 18, 353.
Van der Werf H.M.G., Knudsen M.T., Cederberg,C., 2020. Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment. Nat. Sustainability 3, 419-425.
WCRF; AICR; CUP Expert Report, 2018a. Meat, fish and dairy products and the risk of cancer. WCRF International, London, UK.
WCRF; AICR; CUP Expert Report, 2018b. Diet, nutrition, physical activity and cancer: energy balance and body fatness. The determinants of weight gain, overweight and obesity. Diet, nutrition, physical activity and cancer: a global perspective. WCRF International, London, UK.