



Des nouvelles du dernier congrès international des chercheurs en viande (2)

Partie 2. Quelles approches des multiples facettes de la qualité des viandes ?

Mots clés : Viande, Bœuf, Bien-être animal, Sécurité sanitaire, Nutrition, Qualité de la viande, Conservation, Grading, Personnes âgées

Auteur : Isabelle Legrand

Institut de l'Elevage, MRA-Nouvelle Aquitaine, Boulevard des Arcades, 87060 Limoges Cedex 2, France

E-mail de l'auteur correspondant : Isabelle.Legrand@idele.fr

Organisé par le Brésil cette année, l'ICoMST entendait aborder les défis et les opportunités de la filière de la viande, notamment sous l'angle du bien-être animal, de la sécurité sanitaire et nutritionnelle, et des outils de mesure de la qualité.

Résumé

Ce deuxième article d'une série de 3 rend compte des sessions 3, 6, 7, 9, 10 et 11 du 70^{ème} Congrès International des Sciences et Technologie de la Viande (International Congress of Meat Science and Technology : ICoMST), qui s'est tenu au Brésil, à Foz do Iguaçu, du 18 au 23 août 2024. Placé sous le signe d'une production de viande responsable, l'évènement abordait les défis actuels de la filière viande pour répondre aux multiples facettes de la demande, tant sur la composante éthique du bien-être animal, que sur la qualité sensorielle des produits carnés, la sécurité nutritionnelle et sanitaire, la stabilité à la conservation, l'adaptation à la population spécifique des personnes âgées, sans oublier les outils de mesure de la qualité. De plus amples informations sont disponibles sur le site Internet du congrès (<https://www.icomst2024.com/>).

Abstract: News from the latest international congress of meat researchers. Part 2. What approaches to the multiple facets of meat quality?

This second article in a series of three reports on sessions 3, 6, 7, 9, 10 and 11 of the 70th International Congress of Meat Science and Technology (ICoMST), held in Foz do Iguaçu, Brazil, from 18 to August 23, 2024. Under the banner of responsible meat production, the event addressed the current challenges facing the meat industry to respond to the multiple facets of demand, from the ethical component of animal welfare to the sensory quality of meat products, nutritional and health safety, shelf-life stability, adaptation to the specific population of elderly people, without forgetting quality measurement tools. More information is available on the congress website (<https://www.icomst2024.com/>).

INTRODUCTION

La 70^{ème} édition du Congrès International des Sciences et Technologie de la Viande (ICoMST) s'est tenue du 18 au 23 août 2024 à Foz do Iguaçu, au sud-Est du Brésil, en limite des frontières paraguayenne, argentine et brésilienne. Environ 370 scientifiques du monde entier se sont rencontrés lors de cette manifestation annuelle de la recherche sur la viande et les produits carnés, les Amériques centrale et latine étant logiquement bien représentées (de l'ordre de 40% des participants).

Le congrès était structuré autour de 14 sessions thématiques.

Le présent article est le deuxième d'une série de trois destinés à rendre compte dudit congrès sous l'angle de thématiques d'intérêt dans le contexte français : production responsable, durabilité, bien-être animal, sécurité sanitaire, outils de mesure objectifs de la qualité, santé humaine et

consommateurs. Les sessions sur la génétique et la physiologie ou encore la biologie musculaire et la qualité de la viande n'ont pas fait l'objet de recension.

Le premier article abordait les sessions 1, 2 et 8 relatives à la production responsable de viande, à la durabilité, et aux futures innovations de la fourche à la fourchette respectivement, qui donnaient un bon aperçu de la production et de la commercialisation des produits de l'élevage bovin brésilien.

Les sessions développées dans ce deuxième article relèvent de thématiques et format scientifique plus classiques. Elles portent sur le bien-être animal (session 3), la sécurité et la viande (6), les mesures objectives des qualités de carcasse et de viande (7), le développement de produits carnés (9), la stabilité des produits carnés (10) et les liens entre viande et santé (11).

I. SESSION 3 – BIEN-ETRE ANIMAL

I.1. Le futur de la production animale : le bien-être animal, composante clé de la durabilité et de la qualité de la viande de bœuf (Marcia del Campo, de l'INIA -Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, Uruguay)

Notre système alimentaire a changé depuis les accords de Paris en 2015. Différents événements ont propulsé la durabilité en tête de l'agenda mondial et déclenché l'attention sur les pratiques d'élevage du bétail, dont le Green Deal et le rapport très controversé de la commission Eat-Lancet en 2019. Ce dernier a mis en avant une diète principalement végétale, notamment en raison des impacts négatifs de la consommation de viande sur la santé humaine et de la production de viande sur le bien-être animal et l'environnement. Des protéines alternatives comme les insectes ont été mises en avant.

En réaction à ces évolutions, la R&D a évolué en 2021 en Amérique du Sud, dans le cadre de l'IICA PROCISUR (Institut Interaméricain de Coopération pour l'Agriculture, programme de coopération des structures de recherche d'Argentine, du Brésil, du Chili, du Paraguay et de l'Uruguay pour le développement technologique agro-alimentaire et agro-industriel de ces pays). L'objectif est de transformer les systèmes alimentaires, tout en faisant reconnaître leur vraie valeur et pas seulement leurs faiblesses. Du côté des scientifiques, la réaction internationale a été la déclaration de Dublin, en 2022 (<https://www.dublin-declaration.org/fr/signatures>).

La zone géographique des pays du SAC (Argentine, Brésil, Bolivie, Chili, Paraguay et Uruguay) est la plus grosse pourvoyeuse de services écosystémiques : prairies naturelles, biodiversité dans et sur les sols, communautés végétales, microorganismes, arbres natifs ou plantations pour capter le carbone, importantes réserves en eau. Cette zone est l'une des plus importantes productrices d'aliments pour l'Homme, avec 15,2 millions de tonnes de viande bovine (soit 26% du total mondial), 4,1 millions de tonnes

exportées (33% au plan mondial), 680 millions d'hectares avec une production de plein air, 286 millions de têtes, 92% des animaux abattus provenant de l'herbe, 3.285.295 agriculteurs, dont 80% en exploitations familiales, le bien-être animal et une agriculture réellement durable (Lebacqz *et al.*, 2013 ; Noyes *et al.*, 2016 ; Montossi & Cazzuli, 2019 ; Arvidsson Segerkvist *et al.*, 2020).

Une structure dévolue au bien-être animal de toutes les espèces a été mise en place en Uruguay en 2020 : l'INBA (Instituto nacional de Bienestar animal), sous la houlette du ministère de l'Élevage, de l'Agriculture et de la Pêche.

Une enquête nationale menée dans le pays et publiée en 2023 par Marcia del Campo (Uruguay Présidencia, 2023) indique que 86% des enquêtés seraient d'accord pour que le bien-être animal fasse l'objet d'une politique publique menée par le gouvernement au travers de l'INBA, notamment les jeunes citoyens, femmes, ayant fait des études supérieures. Une autre étude, de 2022, s'intéresse au consentement à payer plus pour des viandes labellisées et/ou produites sous différents types de certification. Le meilleur score est obtenu par une certification relative au bien-être animal, avec 65% des enquêtés d'accord pour payer plus, devant l'alimentation à l'herbe (61%), le 100% Bio (60%), le durable (55%), les marques et labels (52%), la traçabilité de l'élevage (50%), l'absence d'antibiotiques (45%), l'absence de promoteurs de croissance (43%) et les feedlots avec alimentation à base de céréales (18%). Il ne s'agit que de résultats déclaratifs, mais les chercheurs pensent, sans en être certains, que les jeunes femmes pourraient sans doute payer plus pour ces aspects. En Amérique du Sud, elles sont plus sensibles que d'autres à la protection des animaux (Tableau 1).

Tableau 1 : Quelques archétypes de consommateurs d'Amérique.

	Part de l'archétype dans la population			Remarques
	Pescétariens	Végétariens	Végans	
Etats-Unis	2-5%	3-7%	1-4%	
Argentine		6,4%	0,8%	Surtout des jeunes femmes jusque 30 ans
Brésil		14%		Surtout des femmes urbaines
Uruguay	2%	5,2%	1%	Surtout des jeunes femmes jusque 29 ans, ayant fait des études supérieures

En matière de bien-être animal, les sujets d'intérêt pour l'oratrice sont la castration, les systèmes d'élevage, le transport et les manipulations durant le pré-abattage, la durée en stabulation d'abattage et les audits qualité.

La castration est utilisée en Uruguay en raison de l'élevage semi-extensif et surtout extensif. Des solutions alternatives ont été étudiées en conditions extensives. Un panel de consommateurs a perçu une différence de tendreté entre mâles entiers (en leur défaveur) et mâles castrés à 26 mois pour des viandes dégustées après 2 jours de maturation, mais plus près 14 jours.

Les finitions liées aux pâtures associés à des niveaux optimaux d'alimentation et de santé sont jugées adaptées pour engraisser les animaux et bénéfiques au bien-être animal et à la qualité de la viande. Comparativement aux animaux nourris aux céréales ou aux systèmes confinés, les animaux à l'herbe présentent une tendreté de viande supérieure (del Campo *et al.*, 2008 et 2021), de meilleurs rapports d'acides gras polyinsaturés (AGPI) sur AG saturés et d'AGPI n-6 sur AGPI n-3, des concentrations en fer et en zinc supérieures à celles des animaux aux céréales, des teneurs supérieures en vitamine E et en AG polyinsaturés (linoléique, eicosapentaénoïque, docosapentaénoïque, et arachidonique) (Realini *et al.*, 2004 ; Cabrera & Saadoun, 2014).

Outre le système de production, de bonnes pratiques de manipulation ont un impact positif sur le tempérament individuel des animaux, leur productivité et les qualités de leurs carcasses et viande. Au cours des étapes de pré-abattage, les stress sont multiples. La déplétion de glycogène résulte de l'effet cumulatif des stress. La durée entre chargement et abattage est de moins de 12h au Canada. En Europe, l'abattage se fait plutôt le jour de l'arrivée et en Amérique du Sud le lendemain (Costa *et al.*, 2019). Selon Marcia del Campo, la durée totale du jeûne ne devrait pas excéder 20 heures pour les animaux au pâturage.

Les problèmes de pré-abattage rencontrés varient selon les pays, ainsi qu'il ressort des commentaires de la salle. Le transport et l'attente à l'abattoir constituent le principal souci en Argentine, alors qu'en Uruguay les distances sont courtes et ne posent pas de problème pour les bovins. Tous les abattoirs, exportateurs ou pas, y ont agréés pour l'export, ce qui n'est sans doute pas le cas en Argentine. Au Chili, les bovins ne sont pas non plus transportés sur de longue durée avant l'abattage. Des différences entre pays existent quant aux conditions températures/hygrométrie extrêmes qui peuvent stresser les animaux. La situation des ovins est différente : ils souffrent plus du transport.

En mai 2024, l'organisation mondiale pour la santé animale a fait des recommandations concernant la

stabulation des animaux se déplaçant librement (code terrestre, article 7.5.). Ceux-ci doivent avoir un accès constant à l'eau et être alimentés en stabulation si le délai entre leur dernier repas et l'heure présumée d'abattage excède la durée appropriée à l'espèce et à l'âge des bêtes. En l'absence d'information sur la durée du transport, les animaux qu'il n'est pas prévu d'abattre dans les 12 heures suivant l'arrivée doivent être alimentés de la même façon. Cependant, force est de constater que tous les animaux ne boivent pas en abattoir. Il y a des variations selon système de production d'origine des bovins. L'oratrice pense c'est une question de stress face à la nouveauté, pas de qualité de l'eau.

Des audits qualité sont régulièrement conduits sur dans les entreprises viande, tous les 5 à 10 ans en général :

- Uruguay : 2002-2003, 2007-2008, 2013, 2022-2023,
- USA : 1991, 1996, 2001, 2006, 2011, 2016 et 2022,
- Canada : 1995, 1998-1999, 2010-2011, 2017-2018.

En Uruguay, le bien-être des animaux est étudié au travers de différents indicateurs, comme le taux de glissades, de chutes, l'efficacité de l'étourdissement, le délai étourdissement/saignée. Les dernières études montrent une stagnation du pourcentage de bovins dont les carcasses présentent des contusions dans le pays (73% en 2013 et 76,3% en 2023), une forte augmentation aux USA (38,9% en 2016 et 52,3% en 2022), mais une diminution au Canada (85,7% en 2011 et 63% en 2017). En Uruguay, une évolution des pratiques des éleveurs a été constatée, mais il y a encore beaucoup à faire et les éleveurs ont besoin d'être aidés.

Les étapes suivantes portent sur la recherche, la prise en compte du bien-être tout au long de la filière en utilisant un système d'agrément des fermes, la communication et l'éducation aux valeurs et à l'éthique. Des efforts de communication sont faits prioritairement sur les enfants avec des approches participatives (jeux, cinéma gratuit).

En conclusion, Marcia del Campo indique que le monde fait l'expérience d'une transformation du régime alimentaire ; les systèmes agroalimentaires doivent être prêts à s'adapter en étant proactifs et transparents. Les limites éthiques évoluent constamment. Il est crucial de comprendre et d'accepter l'idée d'une licence attribuée à la ferme, forme d'autorisation sociale, pour éviter la souffrance et la violence dans la filière viande.

Les bovins élevés à la pâture représentent un segment de marché qualitatif potentiel dans ce contexte mondial, générant de la valeur ajoutée via un impact environnemental réduit et un engagement sur le bien-être animal. Du fait de ses conditions naturelles uniques, l'Amérique du Sud en tant que premier fournisseur mondial d'alimentation humaine, a le potentiel de se

définir lui-même comme « la boutique de viande du monde » selon l'oratrice. Une stratégie d'expansion régionale devrait être développée pour promouvoir les bonnes pratiques d'élevage et la sensibilisation des éleveurs à la responsabilité croissante de produire de l'alimentation pour l'Homme à partir d'êtres sensibles. L'éducation et une communication adaptée sont impératives, particulièrement auprès des adultes aisés. Le bien-être animal est éthique et profitable. Il est essentiel d'harmoniser la science, l'éducation, la diffusion et les politiques publiques.

L'oratrice a terminé sur un message personnel : « *S'occuper du bien-être des animaux est un impératif crucial dû aux générations actuelles et futures. Il est essentiel de reconnaître que le bien-être animal n'est pas*

seulement une obligation morale mais aussi une décision professionnelle prudente qui bénéficie à toute la filière et à la société. Collaborons pour nous assurer que nous traitons les animaux avec le respect et la compassion qu'ils méritent tandis que nous recueillons les gains d'une filière prospère et durable ».

Les conclusions de cette intervention tranchent avec celles de l'orateur d'EMBRAPA sur les systèmes d'élevage bas carbone encouragés au Brésil (Legrand, 2025). Alors que le pâturage semble plutôt valorisé en Uruguay, le Brésil défend l'intensification, les feedlots, les additifs et autres approches globalement peu appréciées par les consommateurs européens.

I.2. Systèmes de mise en marché des bovins et impact sur les qualités de la viande en bouche (Peter McGilchrist, University of New England, Australie)

Cette courte intervention évoquait les travaux australiens menés avec la participation du MLA (Meat Livestock Australia) et de Birkenwood International, structure mettant en œuvre les approches MSA en matière de qualités sensorielles. Ces travaux sont impressionnants par leur ampleur (240 bovins, 800 consommateurs).

En Australie, le MSA demande que les animaux expédiés à l'abattoir depuis la ferme soient présents sur celle-ci depuis au moins 30 jours et abattus dans les 48 h suivant leur départ, avec un maximum de 36 h de transport. Dans le cas d'un marché aux bestiaux, les 30 jours restent valables mais l'abattage doit avoir lieu dans les 36 h, ce qui pose la question de la faisabilité. L'expédition directe depuis l'élevage tend à croître, mais les marchés australiens ont vu passer 3,7 millions de bovins en 2022 selon le MLA.

Le changement d'environnement provoque un stress qui augmente les viandes à pH élevé, diminuant leur qualité en bouche. Ainsi, un stress aigu baisse en moyenne de 4,4 points sur 100 la tendreté de la viande (Warner *et al.*, 2007). Le passage par un marché aux bestiaux augmente légèrement la force de cisaillement (Ferguson *et al.*, 2007). L'étude présentée partait de l'hypothèse qu'une réalimentation des animaux avec une ration riche en énergie avant abattage permettrait d'améliorer la qualité en bouche de viandes de bouvillons et génisses de différentes

fermes passant ou non par un marché aux bestiaux (vente aux enchères) et éventuellement par un centre de tri, avant d'être abattus. Deux régions ont mis en œuvre le même protocole, impliquant 120 animaux à l'herbe (soit 240 au total) issus de 4 fermes répartis en 5 lots à comparer après abattage : témoin, 48 h ou 72 h en centre de tri, 7 jours ou 14 jours de réalimentation. Des faux-filets et ronds de gîte de ces bovins ont été dégustés par 800 consommateurs selon la méthodologie MSA, après 7 jours de maturation et cuisson grillée. Les résultats montrent de forts taux de viandes à pH élevé (pH > 5,7 en Australie), variant de 12,5% à 20,8% selon les lots, mais aucune différence entre lots pour le score global de qualité en bouche des viandes.

En conclusion, les recommandations de la filière MSA sont d'allonger de 36 à 48 h la durée de passage possible des bovins en marché aux bestiaux, mais de maintenir 5 points de pénalité (sur une échelle de 100) pour l'estimation par le modèle MSA de la qualité en bouche de la viande en cas de passage par ce type de marché, et ce quels que soient le morceau ou le mode de cuisson. La question de la réalimentation durant 72 h nécessite des recherches complémentaires. Une réalimentation jusqu'à 2 semaines n'améliore pas la qualité en bouche mais augmente sa variabilité. Elle permet de restaurer du poids vif perdu, mais pas d'en gagner. Elle augmente le coût et le risque.

II. SESSION 6 - SÉCURITÉ SANITAIRE

II.1. Problèmes sanitaires liés aux salmonelles dans la viande (Mindy Brashears, Texas Tech University, Etats-Unis, directrice du Centre international pour l'excellence de l'industrie alimentaire)

L'oratrice a démarré en rappelant que les salmonelles représentaient LE problème en matière de sécurité liée à la viande et sont un problème mondial. Elles causeraient environ 93,8 millions de cas de gastroentérites et 155 000 morts chaque année dans le monde. Les salmonelles ne sont pas seulement l'apanage de la volaille et des œufs mais touchent aussi le bœuf et le porc. Un modèle basé sur des données de 1998 à 2019 estime qu'en moyenne aux USA 16,5% des infections alimentaires à salmonelles en 2019 sont dues à la volaille, 13,5% aux fruits, 12,8% au porc,

12,6% aux graines, 6,6% à la dinde, 6,3% aux œufs, 6,2% au bœuf et 3,8% aux produits laitiers...

Historiquement, la mesure d'indicateurs a été utilisée pour valider des interventions spécifiques lors de la transformation de la viande bovine, spécialement sur le produit brut frais. Ces tests ne sont généralement pas dédiés à l'ensemble du process. Aujourd'hui de nouvelles méthodes de détection, de numération, d'échantillonnage ainsi que les avancées de l'évaluation génétiques permettent une approche holistique.

Au stade précédant la collecte des bovins, les probiotiques peuvent être utilement employés dans l'alimentation des animaux et dans leur environnement, notamment en ensemençant le fumier en stabulation. Ceci a été vérifié à l'aide d'une méthode développée pour détecter rapidement et quantifier les salmonelles dans les ganglions lymphatiques sous-iliaques et périphériques collectés sur carcasses de bœuf et de porc (Vargas *et al.*, 2023).

Au stade de la transformation, il existe des programmes de surveillance de l'environnement en entreprise afin de vérifier le nettoyage, le système sanitaire et le contrôle des pathogènes pour prévenir les contaminations croisées entre l'environnement et le produit final. Les indicateurs microbiologiques retenus sont la flore aérobie, les *Enterobacteriaceae*, les *E. coli* génériques. Pour les pathogènes, il s'agit de *Salmonella spp.* et des *E. coli* productrices de shiga toxines O26, O45, O103, O111, O121 et O145. Une étude sur un outil de suivi des contaminations en entreprise (tapis des convoyeurs, tables de découpe, couteaux, drains, rampe manuelle, escaliers...) montre comment celles-ci évoluent dans la journée : les lieux contaminés changent sans arrêt. Cet outil fournit des cartes, ou plateformes de visualisation, permettant d'identifier les zones critiques à repenser pour limiter les risques, mais aussi d'améliorer les actions correctives, d'identifier les formations au nettoyage nécessaires. Il permet aussi de visualiser et de rapporter les contrôles environnementaux faits dans plusieurs établissements et les résultats des tests sanitaires qui y sont réalisés, d'alerter si les spécifications ne sont pas respectées... La cartographie des indicateurs microbiologiques et des pathogènes dans un établissement de transformation de viande comprend l'échantillonnage du cuir, de la carcasse et de l'environnement. Les zones

concernées sont la stabulation, le convoyage et la transformation. Pour les flores pathogènes, un système de contrôle environnemental des aires de parage/fabrication de la viande de bœuf a été développé ; il ne porte pas sur le produit lui-même.

Une autre étude s'intéressait aux ganglions lymphatiques du porc, espèce pour laquelle la situation est difficile : il restait pas mal de salmonelles, même après retrait desdits ganglions, mais elles étaient peu nombreuses. Si la détection des salmonelles est importante, leur quantification l'est donc également, pour l'oratrice, car le risque est parfois faible. À l'avenir, il convient de se rappeler que toutes les salmonelles ne sont pas les mêmes. Certaines sont hautement virulentes, d'autres non, d'où l'importance de regarder les différents sérotypes présents. Le risque est lié aux gènes de pathogénicité, non pas à l'origine de la salmonelle. Le recours au microbiome et à la métagénomique permet de suivre les changements de populations microbiennes de la ferme à la fourchette ; des travaux sur ce sujet sont en cours pour le bœuf et le porc. L'équipe de l'intervenante est à la première à publier sur le microbiome au sein des ganglions lymphatiques du bœuf, avec des travaux actuels sur le porc. Le statut « salmonelles » d'entreprises ayant des process différents seraient également étudiés.

En conclusion, Mindy Brashears indique qu'il faut passer d'une simple intervention de validation de la conformité hygiénique des produits à une approche holistique pour contrôler les salmonelles, en s'intéressant à ce qui se passe avant et pendant la collecte des animaux, puis durant la transformation du produit, en tenant compte à la fois de celui-ci et de son environnement. Des innovations technologiques peuvent fournir des indicateurs supplémentaires, dont le test de pathogénicité, qui conduit à une approche différente du processus de contrôle.

II.2. Impacts de l'acide lactique, de radiations lumineuses UV-C et du conditionnement sous vide sur la croissance de *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.*, *Pseudomonas spp.* et des bactéries lactique sur le blanc de poulet cru (Caterina Rufo, Universidad de la Republica, Uruguay)

Des travaux évoqués dans cette première intervention courte ont montré que l'acide lactique réduisait de manière significative la présence de *L. monocytogenes*, *Salmonella enteritidis*, *Pseudomonas* et les bactéries lactiques (LAB). Les radiations UV-C entraînaient une réduction des *L. monocytogenes*, moins nette sur *Salmonella enteritidis* et *Pseudomonas*, et étaient sans effet sur LAB. L'emploi combiné d'acide lactique et d'UV-C pourrait contribuer à améliorer la sécurité et à étendre la durée de vie des poitrines de poulet réfrigérées crues.

L'acide lactique diminue le pH intracellulaire et perturbe le gradient de concentration en protons de part et d'autre de la membrane cellulaire interne ce qui cause des dommages à la cellule. L'USDA et l'UE admettent l'emploi de solutions à 2-5% d'acide lactique, considéré

comme sûr (GRAS: Generally Recognized As Safe). Cela permet de réduire de 0,6 à 3 log les pathogènes dans l'industrie de transformation de la viande. Cependant des modifications de couleur peuvent survenir et l'augmentation de la concentration en acide lactique peut être corrosive.

Les rayons UV-C induisent des changements photochimiques de l'ADN, entraînant des mutations et conduisant à des lésions ou à la mort de la cellule. Il s'agit d'une technologie sûre, approuvée par la FDA, qui peut être appliquée aux aliments ou aux surfaces à leur contact. Les rayons sont bactéricides dans la gamme de 250-260 nm (0,6 à 1,7 log de réduction des pathogènes). Le traitement est efficace et peu coûteux. Il s'applique après le conditionnement et ne laisse aucun résidu.

III. SESSION 7 – LA MESURE OBJECTIVE DES QUALITÉS DE CARCASSES ET DE VIANDE.

III.1. Technologies de détermination du rendement en viande maigre d'une carcasse et de la qualité de la viande en bouche et leur accréditation industrielle (Graham Gardner, Murdoch University, Australie)

Cette brillante présentation, très documentée, portait sur les travaux menés en Australie afin d'optimiser les systèmes de mesures sur carcasses et viandes pour maximiser le profit des filières ovine et bovine. Les standards existants sont trop erronés pour être accrédités, à l'exemple du score de persillé de la viande bovine, et ils ne décrivent pas assez bien la valeur à l'instar de la mesure GR en viande ovine (épaisseur totale de tissu au niveau de la douzième côte, à 110 mm de la ligne médiane). La valeur d'une carcasse dépend du poids des différents muscles associé à la valeur de chacun d'eux. Il s'agit donc de prédire la quantité et la qualité en bouche des différents morceaux consommables d'une carcasse, en s'intéressant à toutes les étapes depuis la conception de l'animal jusqu'au produit cuit, en passant par le vif, la carcasse et les morceaux de détail. Le modèle de prédiction MSA entend permettre une commercialisation de la viande selon son niveau de qualité, à partir du poids, de l'ossification, du gras intramusculaire, de l'épaisseur du gras sur la côte et du pH ultime de la carcasse.

Différentes technologies peuvent mesurer le rendement en viande maigre d'une carcasse, comme DEXA (« Dual Energy X-ray Absorptiometry », en français absorptiométrie à rayons X à double énergie), les microondes pour mesurer l'épaisseur de tissus, la machine BBC3 de Frontmatec, l'imagerie 3D sur carcasse ou en vif. Il en est de même pour le persillé et le gras intramusculaire, avec la sonde MEQ, des scanners, la résonance magnétique nucléaire, la caméra Q-FOM™, l'infrarouge, les microondes, le MasterBeef, le VIAscan CAS. La commercialisation de ces outils par ALMTech, (« Advanced Livestock Measurement Technologies »), a démarré en 2016 (DEXA pour l'agneau) et, à ce jour, une vingtaine d'entreprises sont équipées dans différentes régions du pays.

En viande d'agneau, un nouveau modèle de classement MSA a été introduit. Les variables pour prédire les scores de satisfaction des consommateurs sont le poids de carcasse, le rendement en viande maigre et le taux de gras intramusculaire (IMF% pour « intramuscular fat percentage », soit le gras total extrait par voie chimique du muscle de la longe exprimé en % du poids humide).

Lors du travail sur les outils prédisant le taux de gras intramusculaire, la question s'est posée de la définition des erreurs tolérées. Les données recueillies montrent que 13% de la population d'agneaux ont un taux de gras intramusculaire supérieur à 6% et que la moyenne en Australie est de 4%. Des marges d'erreur ont été définies : l'outil doit donner 95% de valeurs correspondant à la valeur réelle de l'IMF% ± 2 et 67% correspondant à la valeur réelle de l'IMF% ± 1 .

Concernant la précision de la mesure, il convient de minimiser les erreurs d'asymétrie et le nombre d'animaux à mesurer, tout en travaillant sur chaque zone de valeurs concernée par l'accréditation. Les exigences pour

l'accréditation d'outils mesurant l'IMF% sont les suivantes :

- travailler sur 20 carcasses pour chaque tranche d'1 point d'IMF (par exemple tranche de 0 à 1%, de 1 à 2%, jusque 11 à 12%), ce qui n'est pas facile pour les classes extrêmes,

- démontrer la répétabilité d'un même appareil (3 mesures donnant la même réponse), entre appareils (plusieurs appareils utilisés chacun 3 fois donnant la même réponse) et la répétabilité des mesures à différents temps post-mortem (sauf pour les mesures sur carcasse chaude),

- établir un lien entre les protocoles d'étalonnage des appareils au début de journée et l'IMF%.

En viande bovine, l'IMF% a aussi été ajouté comme nouveau critère, bien qu'existent déjà deux étalons visuels accrédités à différentes époques dans le pays : Aus-Meat (1988) et MSA (2002). De plus, calibrer l'utilisation de caméras en utilisant des mesures réalisées par des pointeurs utilisant des étalons visuels (ou grilles) peut être imprécis. Selon l'année des travaux, les caméras n'ont pas été calibrées par rapport aux mêmes niveaux de ces grilles. De plus, le pointage est affecté par la température et le temps post-mortem, contrairement à l'IMF%. Des données indiquent par ailleurs, que le score de satisfaction en bouche des consommateurs est davantage lié à l'IMF% qu'au score visuel de persillé MSA (Stewart *et al.*, 2021). De plus, le plus haut score de l'échelle Aus-Meat (0 à 9) correspond « seulement » à 28% de gras intramusculaire. Enfin, des travaux sur près de 250 animaux montrent que la distribution et la finesse du persillé évaluées sur carcasses par la grille MSA sont peu liées aux qualités en bouche.

La plage d'erreurs tolérée pour la mesure de l'IMF% en viande bovine est un peu plus souple que pour l'agneau. Les résultats de la technique doivent avoir 95% de valeurs correspondant à la valeur réelle de l'IMF% ± 3 et 67% correspondant à la valeur réelle de l'IMF% $\pm 1,5$. L'IMF% moyen des bovins produits en Australie est de 3%, soit un score MSA de 320 et les bovins d'élite présentent un taux supérieur à 6%, soit un score de 420. Finalement l'IMF% représente la valeur de référence. Les différents outils (Q-FOM™, MEQ probe, E+V, MasterBeef) vont le prédire et il sera ensuite transformé en scores de persillé MSA (100 à 1100) et Aus-Meat (0 à 9) pour une utilisation dans le modèle de prédiction MSA de la qualité des viandes en bouche (Stewart *et al.*, 2024).

Graham Gardner a ensuite abordé les approches instrumentales de la composition de la carcasse. La tomographie assistée par ordinateur (CT, pour « Computer Tomography ») constitue un outil commun pour calibrer tous les appareils (épaisseur de tissu mesurée par microondes, DEXA, VIAscan). Ces derniers vont prédire la valeur fournie par la CT, laquelle fournit des informations sur les poids des morceaux de la carcasse. La filière peut dès lors commercer sur la base de leur composition de la carcasse si elle le souhaite.

Les appareils de mesure de l'épaisseur des tissus par microondes en sont déjà à la 5^{ème} génération. Un prototype

a été testé pour des mesures sur ovins ou bovins vifs ou en carcasses. Les microondes permettent de prédire précisément les épaisseurs de tissus GR mesurées sur carcasses ovines chaudes. Un scan aux microondes sur le seul site C (45 mm du milieu de la colonne vertébrale à la 12°/13° côte) d'une carcasse ovine prédit la composition en muscle, gras, os de ce site suffisamment bien pour une accréditation nationale par Aus-Meat. Ces résultats ont fait l'objet de publications dans Meat Science (Marimuthu *et al.*, 2024a et b). La prédiction de l'IMF% par les microondes sur le même site C fournit aussi d'assez bons résultats chez les bovins, avec d'excellentes répétabilité et reproductibilité (Marimuthu *et al.*, 2025).

L'utilisation de DEXA pour évaluer la composition de la carcasse a donné de très bons résultats pour l'IMF% des carcasses ovines, bien que le matériel soit très coûteux. Les images fournies permettent de guider des robots manipulant les carcasses dans certains abattoirs. Il est possible d'adapter un matériel de radiographie 2D et d'obtenir une analyse des images à double énergie (basse et haute énergies). La CT constitue l'étalon-or ; elle donne le % de gras à partir du score de gras (0 à 5 en ovin).

L'emploi de spectres fantômes permet un étalonnage entre les matériels de mesure DEXA utilisés dans différents abattoirs pour prédire la composition des carcasses d'agneau. Ceci est précieux, car il n'est pas possible de mesurer les mêmes carcasses dans plusieurs abattoirs pour valider l'étalonnage des appareils utilisés par chacun (Connaughton *et al.*, 2024).

La méthodologie DEXA a été accréditée pour évaluer la composition des carcasses chaudes d'agneaux selon leur gamme de poids de carcasse chaude (< 22 kg / 22-28 kg / > 28 kg ; Connaughton *et al.*, 2021).

La détection des os par DEXA ayant été améliorée, il est possible de prédire avec une bonne précision les poids de pièces de bœuf à partir du poids de carcasse chaud et de la valeur de gras fournie par DEXA.

Pour optimiser le profit tiré d'une carcasse, on peut donc prendre des décisions sur la base des données obtenues sur la carcasse, en utilisant son poids, la méthodologie DEXA et les qualités en bouche, le coût du désossage, le poids des morceaux de détail multiplié par la valeur de ceux-ci, avec ajustement pour s'adapter au volume des morceaux demandé par le marché. L'amélioration des prédictions des poids des différents

morceaux à partir de scan DEXA sur carcasses d'agneaux permet une affectation plus précise des morceaux aux entreprises de transformation visées (Calnan *et al.*, 2024). Pour les bovins, le système DEXA commercial permet de bien prédire les % de maigre et de gras de la carcasse mesurés par CT (Calnan *et al.*, 2020). Huit entreprises l'ont acquis en Australie.

La caméra Q-FOM™ de l'entreprise Frontmatec utilisée sur faux-filet permet, quant à elle, de prédire de manière satisfaisante la surface de la noix du long dorsal, le persillé MSA et l'IMF%.

A ce jour, Aus-Meat a accrédité :

- 5 appareils pour la prédiction du score MSA de persillé (100 à 1100) : Q-FOM™, VIAscan, MasterBeef, la sonde MEQ et la caméra MEQ

- 4 appareils pour la prédiction du score Aus-Meat de persillé (0 à 19) : Q-FOM™, MIJ-30, la sonde MEQ et la caméra MEQ

- 2 appareils pour la prédiction des scores Aus-Meat de couleur de viande (1A à 6) et de couleur de gras (0 à 6), ainsi que de la surface de la noix du long dorsal : Q-FOM™ et la caméra MEQ.

Les nouveaux critères considérés sont :

- pour les ovins, le taux de gras intramusculaire (IMF%, 2021) et la composition de la carcasse (en 2022)

- pour les bovins, le taux de gras intramusculaire (IMF%, 2022), avec un focus actuel sur le retour d'informations aux producteurs, la génétique, le rendement en maigre, le tri des carcasses utilisant les prédictions sur les morceaux, une salle de désossage de référence.

Il n'y a pas encore d'accréditation du Q-FOM™ pour l'IMF% des bovins car les travaux sur le sujet sont trop récents. Il reste aussi du travail à faire avec les éleveurs. Dans certaines entreprises ou pour certaines marques, ils peuvent recevoir un bonus financier pour des carcasses présentant des teneurs en IMF adaptées à la demande. Les appareils basés sur l'utilisation des ultrasons marchent très bien dans la filière porcine, mais n'ont pas été retenus en Australie du fait d'un manque de publications, point sur lequel les interlocuteurs australiens sont très vigilants.

Au vu de tous les travaux faits, Graham Gardner estime que les méthodes mises en œuvre par des pointeurs humains ne devraient pas servir pour calibrer des outils, car il y a des erreurs dans les données humaines.

III.2. Caméra multispectrale à fluorescence pour détection des fèces de bœuf

(Juntae Kim, Chungnam National University, Corée du Sud)

Cette présentation courte présentait un algorithme développé pour détecter des matières fécales en temps réel en utilisant la fluorescence et un algorithme d'apprentissage profond (deep learning). L'orateur a rappelé la tolérance zéro de l'USDA en matière de normes réglementaires appliquées par le service d'inspection de la sécurité alimentaire (FSIS). Or, les plus grosses filières agricoles que sont celles des viande et volaille sont liées à une forte incidence des infections alimentaires. Plusieurs pathogènes en cause comme *Salmonella spp.*, *E. coli*, *Campylobacter*, *Yersinia* et *Listeria* sont présentes sur la viande. Ces microorganismes proviennent souvent de

l'environnement, en particulier des fèces des animaux. Pour détecter les fèces sur carcasses, les entreprises viande utilisent des kits de test d'ATP. Cependant, la matière fécale est parfois difficile d'accès sur carcasse et/ou devenir invisible durant l'étape du nettoyage, ce qui affecte le résultat de l'inspection. L'imagerie par fluorescence pourrait jouer un rôle majeur dans la sécurité alimentaire en tant que technique rapide, précise et non destructive pour détecter la chlorophylle et ses métabolites, de même que les autres fluorophores dans les matières fécales et les ingestas.

IV. SESSION 9 – LE DÉVELOPPEMENT DE PRODUITS CARNÉS.

IV.1. Revue sur la fabrication de produits à base de viande pour les personnes âgées (Mustafa Farouk, AgResearch, Nouvelle-Zélande)

Cette revue a été motivée par le relativement faible nombre de travaux pour ce type de consommateurs. En 2030, une personne sur six aura pourtant 60 ans ou plus sur terre. Cette population va doubler d'ici 2050 pour atteindre environ 2,1 milliards d'individus. Le nombre d'individus de 80 ans ou plus va probablement tripler entre 2020 et 2050 pour atteindre 426 millions (WHO, 2024). Les personnes âgées sont souvent vues comme fragiles et dépendantes, représentant un poids pour la société. Cependant, les personnes âgées comprennent des individus souvent encore très actifs ; elles forment donc un groupe très divers, dont les préférences et les besoins (capacités physiques et mentales) varient.

Avec l'âge, il y a des difficultés à mâcher et à avaler, une sensibilité aux goûts diminuée, un appétit réduit, une moindre capacité à prendre des repas, une perte de masse musculaire (sarcopénie), de force et de possibilité de récupération avec les états de santé associés, un rejet des aliments stéréotypés qui rappellent l'âge ou l'état de santé à la personne, un attrait pour essayer de nouveaux aliments, plus de temps pour profiter des aspects sociaux et hédoniques de l'alimentation (WHO, 2021).

Des défis portent donc sur la perception du goût, la mastication, la déglutition, la digestibilité (absorption, constipation) des aliments, la force musculaire et la mobilité, mais aussi sur le plaisir de manger. À l'inverse de la tendance pour la population moins âgée, le développement actuel de produits pour ce segment démographique donne la priorité aux aspects nutritionnels plus qu'au bien-être global et au plaisir. Santé et bien-être peuvent pourtant être pris en compte en utilisant la viande comme un ingrédient (Hicks *et al.*, 2018).

Des produits à base de viande couvrant une large gamme de consistances sont en cours de développement pour répondre à ces différents besoins. La taille des particules à ingérer et les efforts de mastication peuvent être plus ou moins réduits, depuis le tissu brut, jusqu'au produit liquéfié, en passant par la viande restructurée, en dés ou tranches, hachée, sous forme d'émulsion, ou en poudre. La stratégie pour l'ensemble des tissus produits par l'animal est d'optimiser les qualités en bouche et la digestibilité. Pour la viande bovine, cette dernière dépend de l'accompagnement : elle est améliorée par une cuisson avec des champignons ou des prunes et réduite avec des

aliments riches en amidon comme le riz ou les pommes de terre.

Des techniques respectueuses de l'hygiène bucco-dentaire comme la marinade, l'attendrissement, la restructuration et la mise en portions restent pertinentes dans la conception de produits pour cette population. Le hachage permet de multiples utilisations, comme la formulation d'ingrédients de viande enrichis en nutriments par la combinaison de viande hachée de différents muscles, découpes et carcasses. Des organes ou abats peuvent être incorporés pour leur nutriments spécifiques et leurs fonctionnalités afin de répondre aux quantités journalières recommandées ou aux obligations réglementaires associées à des allégations. Les abats sont d'ailleurs ce que préfèrent les animaux carnivores ; le foie est très riche en nutriments par exemple. La viande peut être aussi employée sous forme de bouillon cubes pour renforcer les apports en nutriments pour les personnes âgées et la saveur des plats de viande en relation avec la perte du goût liée à la vieillesse. Divers produits alimentaires enrichis en viande peuvent aussi être proposés (Farouk *et al.*, 2018), comme les pâtes, le pain, les glaces, le chocolat (lequel a attiré l'attention des médias), les barres de bœuf offrant un apport en nutriments complet, le plus souvent consommées en snacks (Ashilola, 2018). Cependant, les personnes âgées ne consomment pas de snacks.

Le conditionnement doit aussi leur être adapté. Toutes les étapes de la transformation, jusqu'à la façon dont celui-ci est présenté, doivent être optimisées. L'étiquetage nutritionnel des viandes conditionnées pourrait ainsi figurer sur la face supérieure du conditionnement.

Les personnes âgées participent peu à l'évaluation des produits qui leur sont destinés. Il faut concevoir des produits à base de viande nutritifs et agréables en les impliquant dès les premiers stades de leur développement. La conception doit faciliter les interactions sociales durant la préparation et la consommation pour combattre l'isolement social. La compatibilité des produits avec les technologies futures utilisant l'IA en cuisine doit aussi être intégrée à la conception (Leusmann *et al.*, 2023). Pour l'instant, le développement des produits carnés pour les personnes âgées accuse un retard par rapport à ces technologies. Pour Mustafa Farouk, les personnes âgées sont les consommateurs du futur, donc une opportunité pour la recherche sur la viande.

IV.2. Améliorer la saveur de burgers végétaux à l'aide de protéines de pois et de soja fermentées (Jens Møller, Novonosis, Danemark)

Selon l'orateur, les consommateurs ont du mal à accepter la « viande » d'origine végétale. Ils souhaitent des produits plus sains, mais les produits végétaux voulant imiter la viande sont le plus souvent ultra-transformés et contiennent des additifs. De plus, les consommateurs ne savent pas les cuisiner. Ces produits doivent être

satisfaisants en bouche sinon ils ne seront pas rachetés, d'autant qu'une alimentation basée sur des végétaux est trop coûteuse. La texture, la saveur, la durée de vie, la sécurité alimentaire, l'enrichissement en nutriments et la digestibilité sont importants.

V. SESSION 10 – STABILITE DES PRODUITS CARNES

Influence du contact de l'air et du traitement précédant le conditionnement sur les problèmes de stabilité de couleur de viandes de bœuf sous vide (Johannes Krell, University of Hohenheim, Allemagne)

Ainsi que rapporté par des abattoirs et entreprises allemandes de toutes tailles, des problèmes de stabilité de couleur sont observés sur des muscles actifs, notamment des membres ou des épaules. Parmi les causes possibles évoquées lors de cette courte intervention, figurent les dommages au muscle lors de la manipulation, un vide insuffisant, un contact prolongé avec l'air précédant le conditionnement. Les essais de conditionnement de muscles de l'épaule de deux animaux ont montré que les dommages aux muscles lors des manipulation et la qualité du vide n'influençaient pas la stabilité de la couleur, contrairement à un contact prolongé avec l'air, aux effets délétères. Cinq modalités de traitement étaient testées : le conditionnement sous vide à hauteur de 15 mbar d'une viande en l'état, d'une viande attendrie ou d'une viande

restée 2 h à l'air, un vide de moindre qualité, à hauteur de 60 mbar, et un conditionnement à l'air de la viande en l'état. La décoloration rapportée par les abattoirs n'est pas apparue lors de l'essai, d'où la nécessité de plus d'expérimentations.

Cette étude présente l'intérêt de s'être penchée sur un problème récurrent de l'industrie des viandes : les décolorations de viandes sous vide. Cependant, elle ne portait que sur deux animaux, ce qui ne permet pas de rendre compte de la variabilité de la stabilité de la couleur entre individus dans l'espèce bovine. Par ailleurs, l'obtention d'un vide correct impliquerait plutôt de pouvoir descendre sous la limite des 5 à 10 mbar plutôt que des 15 mbar ici testés.

VI. SESSION 11 – VIANDE ET SANTE

VI.1. Les produits carnés dans la nutrition humaine et la santé : dangers et risques (Stefaan De Smet, Ghent University, Belgique).

L'introduction de cette très riche communication rappelait les atouts et points faibles de la viande en matière de nutrition et santé. La viande est ainsi source de protéines de haute qualité, de micronutriments et de composés bioactifs. Une nutrition adéquate, diversifiant les aliments, décroît le risque de déficiences nutritionnelles. A l'inverse, une forte consommation de viande rouge (pas les viandes blanches) et de viandes transformées augmente le risque de diverses maladies chroniques. La viande est une partie importante de modèles alimentaires culturellement complexes. Stefaan De Smet, qui se présente comme toxicologue et non pas épidémiologiste, conseille de lire à cet effet 3 publications : Leroy (2019) ; Johnston *et al.*, (2023) et Leroy *et al.*, (2023).

Il ajoute que la diversité des produits carnés, transformés ou non, complique le sujet. Les viandes brutes subissent une transformation minimale, principalement par la cuisson ou le hachage, mais les morceaux sont nombreux. D'autres viandes sont transformées par des processus chimiques ou physiques, avec une variété d'ingrédients, d'additifs, de process thermiques conventionnels ou non-thermiques et de possibles innovations. Il est difficile de démêler les effets des nombreux facteurs impliqués et de différencier les produits, sans oublier les interactions avec d'autres aliments et composés.

La qualité des protéines est liée à leur composition en acides aminés parfaitement adaptée aux besoins humains en acides aminés essentiels et à la digestibilité de ces derniers. La grande qualité des protéines animales provient d'un bon score d'acides aminés essentiels digestibles (DIAA), comparativement aux produits végétaux, même si ces scores sont très variables au sein d'une famille de

produits. Les acides aminés digestibles entrent dans le métabolisme postprandial tandis que les protéines non digérées s'écoulent jusqu'au côlon où les protéines fermentent. La cuisson de la viande a un effet non-linéaire sur le taux de digestion des protéines. Les fortes températures et longues cuissons sont à éviter car elles favorisent l'oxydation des protéines de la viande, diminuent leur digestibilité, génèrent des nitrosamines, des pertes et changements de solubilité du fer héminique, et des pertes en composés bioactifs. La transformation peut augmenter ou réduire la qualité des protéines des produits carnés selon la façon dont elle affecte la microstructure des aliments. L'utilisation de champs électriques pulsés allonge et rompt physiquement les sarcomères, améliorant la digestibilité des protéines *in vitro*. Des traitement « durs » tendent plutôt à dégrader la digestibilité.

L'orateur aborde ensuite le sujet de l'épidémiologie, sur laquelle il est délicat de baser des recommandations nutritionnelles. Il faut identifier le danger, le caractériser, évaluer le risque et gérer ce risque. Ainsi, partant du constat que la viande représente un danger possible (par exemple en étant cancérigène), faut-il recommander de réduire ou d'éviter de la consommer ? Les observatoires épidémiologiques nutritionnels présentent des limites. Ils permettent juste d'identifier des associations, or des liens de causes à effets ont été trop facilement revendiqués par le passé.

Néanmoins, des estimations des risques relatifs au cancer colorectal, maladies cardiovasculaires et diabète de type II ont été faites sur la base de telles observations, pour la consommation de 100 g de viande rouge non transformée ou de 50 g de viande transformée. La viande rouge non transformée ne serait pas associée à un risque de

maladies cardiovasculaires, mais présenterait un risque intermédiaire vis-à-vis des maladies cardiovasculaires et des diabètes de type II. Le risque le plus important serait celui des diabètes de type II avec la viande transformée. Le risque de cancers et maladies cardiovasculaires serait intermédiaire avec ce type de viande (IARC, 2015 et 2018 ; Hill *et al.*, 2024).

D'un autre côté, la consommation de viande est bonne pour la santé mentale (Dobersek *et al.*, 2021). Elle est associée à moins de dépression et d'anxiété par rapport à l'absence de consommation de viande. Plus l'étude est rigoureuse, plus ce lien bénéfique est régulier. Mais l'état actuel des connaissances ne permet pas de tirer de conclusions causales et temporelles.

Un point important est le contexte alimentaire. Divers travaux mettent l'accent sur la nécessité d'une évaluation globale de la diète en matière de prévention nutritionnelle des cancers et autres maladies chroniques (Bastide *et al.*, 2016 ; Zheng *et al.*, 2022). Une consommation peu importante de légumes et de fruits et, dans une moindre mesure, de graines entières et de fibres, a par exemple été associée à plus de problèmes de santé (Maximova *et al.*, 2020). Ces recherches prouvent qu'il y a des effets de la matrice alimentaire et qu'il faut affiner les recommandations actuelles pour prévenir le cancer, en optimisant la ration et la combinaison d'aliments dans la population adulte globale. Ainsi, alors qu'il était conseillé de réduire la consommation en acides gras saturés (AGS) pour limiter les risques cardiovasculaires, l'accent devrait maintenant être mis sur des stratégies relatives au panier alimentaire qui se traduisent pour le public par des recommandations compréhensibles, cohérentes et solides en faveur de modes d'alimentation sains (Astrup *et al.*, 2020). Les données prouvent que les effets des AGS dépendent des interactions avec les composés alimentaires sains ou avec ceux, plus néfastes, qui sont liés à la transformation des aliments. Les produits laitiers entiers, la viande rouge non transformée et le chocolat noir dans des matrices alimentaires complexes à forte teneur en AGS n'augmentent pas le risque de maladie cardiovasculaire ou de diabète.

Une épidémiologie nutritionnelle plus rigoureuse et informative est souhaitable selon une revue de Brown *et al.* de 2023. Jusqu'alors, les méthodes employées ont été assez fragiles et les rapports potentiels de cause à effet trop facilement mis en avant. Malgré leur utilité passée, ces méthodes, mesures, analyses qui ont été mises en œuvre, et les conclusions dans les rapports d'experts qui en ont été déduites demandent à être revues pour plus de robustesse.

L'équipe de Hill (2024) a publié une synthèse systématique de 29 revues dont le niveau qualitatif avait été vérifié. Ces revues rapportaient des associations entre divers problèmes de santé et la consommation de tous les types de viande, sans objectif de recommandations. Les critères de Bradford Hill (force, régularité, spécificité, temporalité, gradient biologique, plausibilité, expérimentation, cohérence, analogie) ont été appliqués par les chercheurs pour vérifier la validité des preuves d'une relation causale entre alimentation et santé dans ces travaux.

Un manque de cohérence entre l'approche expérimentale retenue et les résultats observés a été identifié dans certaines études, aussi les conclusions de cette revue systématique sont-elles les suivantes :

- les consommations de viande rouge et de viande transformées ne sont pas susceptibles d'avoir un lien de causalité avec les maladies cardiovasculaires,
- les preuves de lien entre viandes non transformées et diabètes de type II sont insuffisantes,
- en revanche, il y a potentiellement une relation de cause à effet entre les viandes transformées et les diabètes de type II : c'est la relation la plus « sérieuse » observée entre viande et maladies chroniques.

L'orateur rappelle que l'évaluation du CRC (Bouvard *et al.*, 2015) sur la viande par des panels d'experts a pourtant classé comme cancérigènes les viandes transformées (Groupe 1) et comme probablement cancérigènes les viandes rouges (Groupe 2A). A l'instar des viandes transformées, les boissons alcoolisées, l'engraissement corporel et la taille à l'âge adulte augmentent le risque de cancer colorectal, tandis que l'activité physique les réduit. D'après cette évaluation, il est probable que la supplémentation en calcium, la consommation de graines entières, d'aliments contenant des fibres alimentaires, de produits laitiers réduisent le risque, à l'opposé probable des viandes rouges.

Les recommandations américaines (World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research, 2018) ont donc porté sur la limitation de la consommation de viandes rouges et transformées avec l'objectif de ne pas consommer plus que des quantités modérées de viande rouges telles que le bœuf, le porc et l'agneau et manger peu de viande transformée si on en mange.

Plus récemment (Johnston *et al.*, 2019), pour élaborer des recommandations alimentaires, le consortium de recommandations nutritionnelles (NutriRECS) a eu recours à un consensus sur l'évaluation de la qualité des preuves et de la force des recommandations appelé GRADE (Grading Recommendations, Assessment, Development and Evaluation). Il s'agit d'un système de classement de la qualité d'un ensemble de preuves dans des revues systématiques, ainsi que de classement des recommandations de pratiques dans le domaine des soins de santé. La certitude des preuves peut être forte, modérée, faible ou très faible. La force des recommandations peut être forte ou faible. Sélectionnés de façon stricte, les 14 panélistes du consortium suggèrent que les adultes ne modifient pas leur niveau de consommation actuelle de viande rouge qu'elle soit non transformée ou transformée (recommandations peu convaincantes, faible niveau de preuve). Cette décision a été prise en considérant le risque réduit associé à une diminution à 3 portions par semaine de viande rouge non transformée et viande transformée, sachant que la consommation moyenne en Amérique du Nord et en Europe de l'Ouest est de 2 à 4 portions par semaine. Ont été pris en compte le degré de certitude des preuves, l'ampleur des bénéfices et préjudices potentiels et les valeurs et préférences des populations dans 5 revues systématiques de novo. L'impact environnemental ou le bien-être animal n'ont pas été considérés.

Quel est le niveau de consommation de viande rouge considéré comme sûrs ? Selon l'étude d'importantes cohortes, 0 à 25 g/jour n'augmentent pas le risque relatif de mortalité, toutes causes confondues ; c'est plus incertain avec des consommations supérieures. La limite supérieure sécuritaire pourrait se situer à 75 g/j, mais demande à être validé, même si c'est en accord avec la limite de l'OMS (500 g/semaine ; WHO, 2023a). Pour les viandes transformées, plus de 40 g/j augmente le risque relatif dans toutes les études. Une quantité de 10 à 20 g/j augmente ce risque mais seulement dans les études nord-américaines. La limite sécuritaire pourrait-elle être à 20 g/jour ?

Les données de 2018 sur les consommations nationales moyennes de viande rouge non transformée et transformée tous âges confondus révèlent une consommation individuelle moyenne de viande rouge non transformée de 51 g/j avec un spectre de 7 à 114 g/j selon la région et au moins une portion par jour (100 g) en moyenne pour 24% de la population mondiale. Pour la viande transformée, les chiffres sont de 17 g/j en moyenne, avec une gamme de 3 à 54 g/j et au moins une portion par jour (50 g) pour 7% de la population mondiale (Miller *et al.*, 2022).

Quelle est la place de la viande dans les recommandations alimentaires ? A partir de 2017, un petit nombre de guides nationaux ont inclus des recommandations sur la viande rouge ou transformée. Les limites de quantité pour la viande rouge, lorsqu'elles existent, varient largement, entre 98 et 500 g/semaine. Aucun niveau sécuritaire n'est établi pour la viande transformée. Quelques exemples de recommandations (Fisher & Garnett, 2016) :

- en Allemagne : mangez de la viande avec modération. La viande blanche est meilleure pour la santé.
- au Brésil : essayez de réduire la quantité de viande rouge.
- en Suède : mangez moins de viande rouge et transformée (pas plus de 500 g/semaine de viande cuite)
- au Qatar : Choisissez des morceaux de viande maigre. Limitez la viande rouge (500 g/semaine), évitez les viandes transformées.

Des lignes directrices plus strictes sont attendues dans le futur, aussi en raison de la prise en compte de considérations sur l'impact environnemental. Certains souhaiteraient proposer de limiter la consommation hebdomadaire de toutes les viandes confondues à 350 g, mais Stefaan De Smet considère que ce n'est pas réellement argumenté.

Concernant les viandes transformées, les études mécanistiques sont la clé pour comprendre leur rôle dans la santé humaine (Mente *et al.*, 2020 ; Williams, 2023). Peut-être pourront-elles aider à différencier les diverses viandes transformées, lesquelles se distinguent surtout des viandes brutes par leur process ?

Les mécanismes liés à la consommation de viande rouge (ou transformée) sont peu compris. Le processus digestif et les interactions avec d'autres composés de la

ration sont importants. Des effets directs et indirects du fer héminique sont probablement impliqués. L'effet du fer héminique est modulé par le profil des acides gras, variable entre espèces concernées (Van Hecke *et al.*, 2019). Le profil d'acides gras pourrait devenir aussi important que l'effet du fer héminique. Pour les viandes transformées, l'oxydation des protéines est un indicateur plus pertinent que celle des lipides en matière d'alimentation humaine (Soladoye *et al.*, 2015).

Le séchage employant des nitrites présente deux facettes (Crowe *et al.*, 2019) ; les concentrations résiduelles dans les viandes transformées sont faibles et il n'y a pas de preuve d'un effet carcinogène ; elles sont plutôt considérées comme des nutriments. Il y a des effets antibactériens et antioxydants. Mais l'hème nitrolysé est plus réactif que l'hème et augmente la formation de nitroso-composés (NOC) endogène. L'oxyde nitrique (ou monoxyde d'azote NO) formé par les nitrites durant le séchage peuvent participer à des réactions modifiant les protéines et pigments. L'exposition de la viande transformée aux nitrites peut jouer sur le développement du cancer colorectal. Des recherches portent sur le remplacement des nitrites dans les produits carnés par des composés naturels bioactifs pour réduire l'exposition aux composés N-nitrosés ainsi que l'effet néfaste des viandes transformées sur le tractus gastrointestinal (Van Breda *et al.*, 2021). Il existe des extraits commerciaux qui diminuent la formation des NOC lorsqu'ils sont ajoutés à la viande hachée ou aux saumures des salaisons comme sources naturelles de polyphénols et d'acide ascorbique. Les fibres alimentaires, le calcium et les produits riches en calcium, l' α -tocophérol et des extraits de plantes pourraient moduler l'effet des nitrites (Thøgersen & Bertram, 2021). A l'opposé, de hauts niveaux de nitrates dans l'eau de boisson associés aux viandes transformées augmentent ces composés. Le chercheur ne serait pas étonné que les viandes rouges en l'état soient déclarées sans risque pour la santé dans les prochaines études.

En conclusion et perspectives, la transformation peut tout à la fois augmenter ou réduire la valeur nutritionnelle et la cinétique de digestion de la viande. Les associations entre viandes (ultra) transformées et quelques maladies chroniques sont plus régulièrement retrouvées qu'avec les viandes rouges non transformées. Cependant, le contexte alimentaire est important. Les lignes directrices des recommandations alimentaires pour les viandes (transformées) sont insuffisamment fondées par la science. La recommandation d'éviter les viandes transformées et le manque de différenciation entre les différents types de viandes transformées ne se justifient pas. Nous avons besoin de plus d'études « mécanistiques » et chez les sujets humains pour explorer les effets de la grande diversité des viandes transformées sur la santé humaine et pour éviter de « jeter le bébé avec l'eau du bain ».

Tableau 2 : Principaux agents dans les viandes favorisant les maladies chroniques

Nature de agents dangereux	
Intrinsèques aux viandes non transformées	Contaminants
<ul style="list-style-type: none"> - fer héminique - lipides - produits de l'oxydation des lipides et des protéines - acides sialiques - cholestérol 	<ul style="list-style-type: none"> - (résidus de traitements vétérinaires incluant les promoteurs de croissance) - (polluants environnementaux et toxines) - (mycotoxines)
Ajoutés durant la transformation de la viande	Formés au cours de la transformation de la viande
<ul style="list-style-type: none"> - nitrates et nitrites - sel - autres ingrédients et additifs, par ex. des émulsifiants 	<ul style="list-style-type: none"> - composés N-nitrosés - amines hétérocycliques aromatiques - hydrocarbures polycycliques aromatiques - produits d'oxydation des lipides et des protéines - produits terminaux de la glycation* avancée
Formés durant la digestion et le métabolisme	Facteurs de modulation
<ul style="list-style-type: none"> - composés N-nitrosés - produits d'oxydation des lipides et des protéines - produits terminaux de la glycation* avancée - triméthylamine-N-oxyde - (acides biliaires) 	<ul style="list-style-type: none"> - liés au consommateur, comme la cuisson, la diète - microbiote intestinal - inflammation et infection - variations génétiques humaines
<p>* La glycation est une réaction chimique résultant de la fixation des sucres sur les protéines. Ce phénomène, appelé réaction de Maillard, se produit spontanément lors du vieillissement dans les organismes vivants ou lors de la cuisson de certains aliments. Les produits terminaux de glycation sont hautement dangereux pour l'organisme et s'accumulent avec l'âge et plus particulièrement lors du diabète.</p>	

VI.2. Stratégies de réduction du sel dans les produits carnés (Patricia Bernardo, University of Lisbon, Portugal)

Cette courte intervention démarrerait par l'évocation d'un rapport mondial inédit de l'organisation mondiale de la santé (OMS) sur la réduction de la consommation de sodium. Une publication de mars 2023 montre que le monde n'est pas près d'atteindre son objectif de réduction de 30% de la consommation d'ici 2025 (WHO, 2023b). Le sel est un nutriment essentiel, qui augmente de risque de maladie cardiaque, d'AVC et de décès prématuré lorsqu'il est consommé en excès. La principale source de sodium à table est le sel (chlorure de sodium), mais le sodium est aussi présent dans d'autres condiments comme le glutamate de sodium. Le rapport montre que seulement 5% des Etats membres de l'OMS sont protégés par des

politiques globales obligatoires de réduction du sodium et que 73% des Etats membres n'appliquent pas totalement de telles politiques. Mettre en œuvre des politiques de réduction du sodium financièrement très rentables pourrait épargner environ 7 millions de vies dans le monde d'ici 2030. C'est l'une des composantes de l'action pour atteindre l'objectif de développement durable de réduction des décès associés à des maladies non transmissibles. Mais seulement 9 pays disposent aujourd'hui des politiques globales recommandées pour réduire la consommation de sel : le Brésil, le Chili, la République tchèque, la Lituanie, la Malaisie, le Mexique, l'Arabie saoudite, l'Espagne et l'Uruguay.

CONCLUSION

Les présentations et discussions de ces sessions ont souligné la prise en compte du bien-être animal comme composante clé de la durabilité et de la qualité de la viande bovine, répondant ainsi à des exigences morales mais aussi économiques. Les travaux australiens sur la gestion optimale de la période de pré-abattage selon le système de mise en marché s'intéressent à l'amélioration de la qualité en bouche des viandes. Le contrôle des salmonelles, premier problème de sécurité sanitaire lié aux viandes, doit évoluer vers une approche holistique s'intéressant aux animaux, aux produits qui en sont issus et à

l'environnement, sans oublier la pathogénicité des bactéries. Des travaux montrent par ailleurs que l'emploi combiné d'acide lactique et d'UV-C pourrait améliorer la sécurité et la durée de vie des poitrines de poulet réfrigérées crues. L'imagerie par fluorescence présenterait également un intérêt pour la sécurité alimentaire en tant que technique rapide, précise et non destructive de détection des fèces sur carcasses.

Sur le plan nutritionnel, les études épidémiologiques montrent des associations plus fréquentes entre la consommation de viandes transformées et certaines

maladies chroniques plutôt qu'avec la consommation de viandes rouges brutes. Cependant, le contexte alimentaire est important et c'est la diète dans son ensemble qui doit être optimisée. Les lignes directrices actuelles pour les viandes reposent insuffisamment sur la science et ne rendent pas compte de la diversité des produits carnés associée aux multiples transformations possibles. Des études « mécanistiques » et en nutrition humaine sont nécessaires pour affiner ces recommandations et éviter les amalgames ou les généralisations injustifiés. Par ailleurs, malgré l'objectif de réduction majeure de la consommation de sodium défini par l'OMS, il existe peu de réelles politiques en la matière. Pourtant celles-ci permettraient de réduire fortement les décès liés à des maladies non transmissibles dans le monde.

Un autre défi concerne l'alimentation des personnes âgées, un peu oubliées par la recherche sur la viande. En raison de leur part croissante dans la population mondiale, ces personnes constituent pourtant une opportunité pour le secteur. Les produits à base de viande devraient les impliquer dès leur conception, afin d'être nutritifs, agréables à consommer, compatibles avec les technologies futures en cuisine et aptes à faciliter les interactions sociales pour combattre l'isolement.

Références

Arvidsson Segerkvist K., Hansson H., Sonesson U., Gunnarsson S. (2020). Research on Environmental, Economic, and Social Sustainability in Dairy Farming: A Systematic Mapping of Current Literature. *Sustainability*, 12(14), 5502. <https://doi.org/10.3390/su12145502>

Ashilola P. (2018). The development of nutritious and shelf-stable meat-based protein bar. i3L, Indonésia International Institute for Life Sciences, School of Life Sciences. Microsoft Word - 2018.17.07 Final Thesis Report.docx

Astrup A., Magkos F., Bier D.M., Brenna J.T., de Oliveira Otto M.C., Hill J.O., King J.C., Mente A., Ordovas J.M., Volek J.S., Yusuf S., Ronald M., Krauss R.K. (2020). Saturated Fats and Health: A Reassessment and Proposal for Food-Based Recommendations: JACC State-of-the-Art Review. *Journal of the American College of Cardiology*, 76(7), 844-857. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.05.077>

Bastide N., Morois S., Cadeau C., Kangas S., Serafini M., Gusto G., Dossus L., Pierre F.H., Clavel-Chapelon F., Boutron-Ruault M.C. (2016). Heme Iron Intake, Dietary Antioxidant Capacity, and Risk of Colorectal Adenomas in a Large Cohort Study of French Women. *Cancer Epidemiol Biomarkers & Prevention*, 25(4):640-7. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.epi-15-0724>

Bouvard V., Loomis D., Guyton K.Z., Grosse Y., El Ghissassi F., Benbrahim-Tallaa L., Guha N., Mattock H., Straif K. on behalf of the International Agency for Research on Cancer Monograph Working Group (2015). Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. *The Lancet Oncology*, 16(16), 1599-1600. Carcinogenicity of consumption of red and processed meat - *The Lancet Oncology*

Brown, A.W., Aslibekyan S., Bier D., Ferreira da Silva R., Hoover A., Klurfeld D.M., Loken E., Mayo-Wilson E., Menachemi N., Pavela G., Quinn P.D., Schoeller D., Tekwe C., Valdez D., Vorland C.J., Whigham L.D., Allison D.B. (2023). Toward more rigorous and informative nutritional epidemiology: the rational space between dismissal and defense of the status quo. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(18), 3150-3167. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1985427>

Cabrera M.C., Saadoun A. (2014). An overview of the nutritional value of beef and lamb meat from South America. *Meat Science*, 98(3), 435-444. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.06.033>

Calnan H.B., Williams A., Alston-Knox C., Wang G., Pitchford W.S., Gardner G.E. (2024). Improved cut weight predictions from DEXA scans of lamb carcasses enables more accurate allocation of cuts to processing plans. *Meat Science*, 216, 109556. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109556>.

Calnan H.B., Williams A., Peterse J., Starling S.E., Cook J. Connaughton S.L., Gardner G.E. (2020). A prototype rapid dual energy X-ray absorptiometry (DEXA) system can predict the CT composition of beef carcasses. *Meat science*, 173, 108397. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:229452820>

Connaughton S.L., Williams A., Anderson F., Kelman K.R., Gardner G.E. (2024). Synthetic phantoms enable calibration between abattoir based dual energy X-ray absorptiometers used for prediction of lamb carcass composition. *Meat Science*, 215, 109537. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109537>.

Connaughton S.L., Williams A., Anderson F., Kelman K.R., Peterse J., Gardner G.E. (2021). Dual energy X-ray absorptiometry predicts lamb carcass composition at abattoir chain speed with high repeatability across varying processing factors. *Meat Science*, 181, 108413. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108413>.

Sur un plan plus technologique, les décolorations de viande bovine sous vide, problème récurrent de l'industrie des viandes, font l'objet de recherches, mais des expérimentations ultérieures sont nécessaires pour avancer vers leur résolution. De nombreux travaux sont aussi menés en Australie afin d'optimiser les systèmes de caractérisation des carcasses et viandes, pour mieux décrire la valeur réelle des produits. Deux nouveaux critères sont pris en compte par AUS-Meat : le gras intramusculaire des bovins et ovins et la composition de la carcasse des ovins. Différentes technologies permettent de les mesurer et d'éviter de se référer à des mesures réalisées par l'homme ; certaines de ces technologies sont accréditées par Aus-Meat et déjà commercialisées auprès des entreprises de viande. Les critères mesurés par ces technologies pourront dès lors être pris en compte dans les échanges commerciaux de viande.

En résumé, les différentes sessions du congrès ICoMST ici rapportées ont fourni des informations précieuses sur les développements et les défis actuels de la filière viande bovine pour répondre aux multiples facettes de la demande mondiale. De nouveaux regards et des innovations ont été proposés, mais des pistes de recherche restent à creuser.

- Costa F., Brito G., Soares de Lima J. & Sant'Anna A. & Costa M., del Campo M. (2019). Lairage time effect on meat quality in Hereford steers in rangeland conditions. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 48. <http://dx.doi.org/10.1590/rbz4820180020>
- Crowe W., Elliott C.T., Green B.D. (2019). A Review of the In Vivo Evidence Investigating the Role of Nitrite Exposure from Processed Meat Consumption in the Development of Colorectal Cancer. *Nutrients*, 11(11), 2673. DOI: 10.3390/nu11112673
- Del Campo M., Brito G., Soares de Lima J., Martins, D., Sañudo C., & San Julián R., Hernandez P., Montossi F. (2008). Effects of feeding strategies including different proportion of pasture and concentrate, on carcass and meat quality traits in Uruguayan steers. *Meat science*, 80(3), 753-60. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.03.026>
- Del Campo M., Manteca X., Soares de Lima J., Brito G., Hernandez P., Sañudo C., Montossi F. (2021). Effect of Different Finishing Strategies and Steer Temperament on Animal Welfare and Instrumental Meat Tenderness. *Animals*, 11(3), 859, 21 p. <https://doi.org/10.3390/ani11030859>
- Dobersek U., Teel K., Altmeyer S., Adkins J., Wy G., Peak J. (2021). Meat and mental health: A meta-analysis of meat consumption, depression, and anxiety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(19), 3556–3573. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1974336>
- Dublin Declaration (the) (2022). The Dublin Declaration
- Farouk M.M., Yoo M.J.Y., Hamid N. S.A., Staincliffe M., Davies B., Scott O., Knowles S.O. (2018). Novel meat-enriched foods for older consumers. *Food Research International*, 104, 134-142. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.033>
- Ferguson D.M., Warner R.D., Walker P.J., Knee B. (2007). Effect of cattle marketing method on beef quality and palatability. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47(7), 774-781. DOI: 10.1071/EA05213
- Fischer C.G., Garnett T. (2016). Plates, pyramids and planets Developments in national healthy and sustainable dietary guidelines: a state of play assessment. Food Climate Research Network. FAO, 70 p. a-i5640e.pdf
- Instituto nacional de Bienestar animal (INBA). <https://www.gub.uy/mgap/inba>
- Hicks T.M., Knowles S.O., Farouk M.M. (2018). Global Provisioning of Red Meat for Flexitarian Diets. *Frontiers in Nutrition*, Sec. Nutrition and Sustainable Diets, 5. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00050>
- Hill E.R., O'Connor L.E., Wang Y., Clark C.M., McGowan B.S., Forman M.R., Campbell, W.W. (2024). Red and processed meat intakes and cardiovascular disease and type 2 diabetes mellitus: an umbrella systematic review and assessment of causal relations using Bradford Hill's criteria. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(9), 2423-2440. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2123778>
- IARC (Centre international de Recherche sur le Cancer), OMS (2015). FAQ sur la cancérogénicité de la consommation de viande rouge et de viande transformée
- IARC (2018). Red Meat and Processed Meat. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to Humans, 114. IARC Monographs Volume 114: Evaluation of consumption of red meat and processed meat – IARC
- IICA PROCISUR PROCISUR 40 años
- Johnston B., De Smet S., Leroy F., Mente A., Stanton A. (2023). Non-communicable disease risk associated with red and processed meat consumption – magnitude, certainty, and contextuality of risk? *Animal Frontiers*, 13(2), 19-27. <https://doi.org/10.1093/af/vfac095>
- Johnston B.C., Zeraatkar D., Han M.A., Vernooij R. W.M., Valli C., El Dib R., Marshall C., Stover P.J., Fairweather-Tait S., Wójcik G., Bhatia F., de Souza R., Brotons C., Meerpohl J.J., Patel C.J., Djulbegovic B., Alonso-Coello P., Bala M.M., Guyatt G.H. (2019). Unprocessed Red Meat and Processed Meat Consumption: Dietary Guideline Recommendations From the Nutritional Recommendations (NutriRECS) Consortium. *Annals of Internal Medicine*, 171(10), 756-764. DOI: 10.7326/M19-1621
- Lebacqz T., Baret P.V., Stilmant D. (2013). Sustainability indicators for livestock farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 311-327. Centre wallon de Recherches agronomiques
- Legrand I. (2025). Des nouvelles du dernier congrès des chercheurs en viande. Partie 1. L'ICoMST au Brésil, un évènement placé sous le signe d'une production de viande responsable. *Viandes & Produits Carnés*, 23 janvier 2025, VPC-2025-4034, 8 p. Vol_4034_Congres-International-Part1.pdf
- Leroy F. (2019). Chapter Eight - Meat as a Pharmakon: an exploration of the biosocial complexities of meat consumption. *Advances in Food and Nutrition Research*, 87, 409-446. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2018.07.002>
- Leroy F., Smith N.W., Adesogan A.T., Beal T., Iannotti L., Moughan P.J., Mann N. (2023). The role of the meat in the human diet: evolutionary aspects and nutritional value. *Animal Frontiers*, 13(2), 11-18. <https://doi.org/10.1093/af/vfac093>
- Leusmann J., Oechsner C., Prinz J., Welsch R., Mayer S. (2023). A Database for Kitchen Objects: Investigating Danger Perception in the Context of Human-Robot Interaction. In *Extended Abstracts of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '23)*, April 23–28, 2023, Hamburg, Germany. ACM, New York, NY, USA, 9 p. <https://doi.org/10.1145/3544549.3585884>
- Marimuthu J., Loudon K.M.W., Karayakallile Abraham R., Pamarla V., Gardner G.E. (2024a). Predicting lamb carcass composition from tissue depth measured at a single point with an ultrawide-band microwave scanner. *Meat Science*, 213, 109509. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109509>
- Marimuthu J., Loudon K.M.W., Karayakallile Abraham R., Pamarla V., Gardner G.E. (2024b). Ultra-wideband microwave precisely and accurately predicts sheepmeat hot carcass GR tissue depth. *Meat Science*, 217, 109623. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109623>
- Marimuthu J., Loudon K.M.W., Smith L.J., Gardner G.E. (2025). Comparison of ultra-wide band microwave system and ultrasound in live cattle to predict beef carcass subcutaneous fatness. *Meat Science*, 220, 109694. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109694>

- Maximova K., Khodayari Moez E., Dabravolskaj J., Ferdinands A. R., Dinu I., Geraldine Lo Siou G., Al Rajabi A., Veugelers P. J. (2020). Co-consumption of Vegetables and Fruit, Whole Grains, and Fiber Reduces the Cancer Risk of Red and Processed Meat in a Large Prospective Cohort of Adults from Alberta's Tomorrow Project. *Nutrients*, 12(8), 2265. <https://doi.org/10.3390/nu12082265>
- Mente A., Dehghan M., Yusuf S. (2020). Diet and health: the need for new and reliable approaches. *European Heart Journal*, 41(28), 2641-2644. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa317>
- Miller V., Reedy J., Cudhea F., Zhang J., Shi P., Erndt-Marino J., Coates J., Webb P., Mozaffarian D., MD on behalf of the Global Dietary Database (2022). Global, regional, and national consumption of animal-source foods between 1990 and 2018: findings from the Global Dietary Database. *The Lancet Planetary Health*, 6(3), e243 - e256. Global, regional, and national consumption of animal-source foods between 1990 and 2018: findings from the Global Dietary Database - The Lancet Planetary Health
- Montossi F., Cazzuli F. (2019). Beef marketing and quality in Uruguay. DOI:10.22533/at.ed.24319031213
- Noyes N.R., Yang X., Linke L.M. Magnuson R.J., Cook S.R., Zaheer R., Yang H., Woerner D.R., Geornaras I., McArt J.A., Gow S.P., Ruiz J., Jones K.L., Boucher C.A., McAllister T.A., Blek K.E., Morley P.S. (2016) Characterization of the resistome in manure, soil and wastewater from dairy and beef production systems. *Scientific Reports* 2016, 6, 24645, doi:10.1038/srep24645. <https://doi.org/10.1038/srep24645>
- Realini C., Duckett S., Brito G., Dalla Rizza M., Mattos D. (2004). Effect of pasture vs. concentrate feeding with or without antioxidants on carcass characteristics, fatty acid composition, and quality of Uruguayan beef. *Meat science*, 66(3), 567-77. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00160-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00160-8)
- Soladoye O.P., Juárez M.L., Aalhus J.L., Shand P., Estévez M. (2015). Protein Oxidation in Processed Meat: Mechanisms and Potential Implications on Human Health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2015 Mar;14(2):106-122. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12127>
- Stewart S.M., Gardner G.E., McGilchrist P., Pethick D.W., Polkinghorne R., Thompson J.M., Tarr G. (2021). Prediction of consumer palatability in beef using visual marbling scores and chemical intramuscular fat percentage. *Meat Science*, 181, 108322. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108322>
- Stewart S.M., Gardner G.E., Tarr G. (2024). Using chemical intramuscular fat percentage to predict visual marbling scores in Australian beef carcasses. *Meat Science*, 217, 109573. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109573>
- Thøgersen R., Bertram H.C. (2021). Reformulation of processed meat to attenuate potential harmful effects in the gastrointestinal tract – A review of current knowledge and evidence of health prospects. *Trends in Food Science & Technology*, 108, 111-118. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.015>
- Uruguay Presidencia (2023). Encuesta releva alta aprobación de que el Gobierno priorice el bienestar animal, 16/11/2023. Encuesta releva alta aprobación de que el Gobierno priorice el bienestar animal | Presidencia
- Van Breda S.G., Mathijs K., Pieters H.J., Sági-Kiss V., Kuhnle G.G., Georgiadis P., Sacconi G., Parolari G., Virgili R., Sinha R., Hemke G., Hung Y., Verbeke W., Masclee A.A., Vleugels-Simon C.B., van Bodegraven A.A., de Kok T.M., PHYTOME consortium (2021). Replacement of Nitrite in Meat Products by Natural Bioactive Compounds Results in Reduced Exposure to N-Nitroso Compounds: The PHYTOME Project. *Molecular Nutrition & Food Research*, 65(20), e2001214. <https://doi.org/10.1002/mnfr.202001214>
- Van Hecke T., Goethals S., Vossen E., De Smet S. (2019). Long-Chain n-3 PUFA Content and n-6/n-3 PUFA Ratio in Mammal, Poultry, and Fish Muscles Largely Explain Differential Protein and Lipid Oxidation Profiles Following In Vitro Gastrointestinal Digestion. *Molecular Nutrition & Food Research*, 63(22), 1900404. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201900404>
- Vargas D.A., Betancourt-Barszcz G.K., Blandon S.E., Applegate S.F., Brashears M.M., Miller M.F., Gragg S.E., Sanchez-Plata M.X. (2023). Rapid quantitative method development for beef and pork lymph nodes using BAX® System real time Salmonella assay. *Foods*, 12(4), 822. DOI: 10.3390/foods12040822
- Warner R.D., Ferguson D.M., Cottrell J.J., & Knee B.W. (2007). Acute stress induced by the preslaughter use of electric prodders causes tougher beef meat. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 47(7), 782-788. DOI: 10.1071/EA05155
- WHO (World Health Organization) (2021). Global report on ageism
- WHO (World Health Organization) (2023a). Red and processed meat in the context of health and the environment: many shades of red and green: information brief. World Health Organization, 43 p. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. <https://iris.who.int/handle/10665/370775>.
- WHO (World Health Organization) (2023b). WHO global report on sodium intake reduction. 9 March 2023, Global report, pp 99. Massive efforts needed to reduce salt intake and protect lives
- WHO (World Health Organization) (2024). Ageing and health
- Williams C.M. (2023) Mechanistic evidence underpinning dietary policy: bringing the jigsaw pieces together? *Proceedings of the Nutrition Society*, 82(2), 219-226. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0029665122002750>
- World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research. (2018). Diet, nutrition, physical activity and cancer: a global perspective. Continuous Update Project Expert Report 2018. Disponible à dietandcancerreport.org
- Zheng C., Pettinger M., Nagana Gowda G.A., Johanna W Lampe J.W., Raftery D., Tinker L.F., Huang Y., Navarro S.L., O'Brien D.M., Snetselaar L., Liu S., Wallace R.B., Neuhaus M.L., Prentice R.L. (2022). Biomarker-Calibrated Red and Combined Red and Processed Meat Intakes with Chronic Disease Risk in a Cohort of Postmenopausal Women. *The journal of Nutrition*, 15(7), 1711-1720. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/nxac067>.