

Lectures d'actualité

Tendreté de la viande bovine : apports de la génomique et de la modélisation

Différents programmes nationaux et internationaux de génomique ou de modélisation contribuent à mieux prédire la tendreté de la viande bovine

Mots-clés : Muscle, Viande, Biochimie, Génomique, Modélisation

Auteur : Manon Gicquel^{1,2,3}, Maëlle Philippe¹, Cécile Guillon-Kroon², Marie Raoult^{1,4}

¹ Evolution, 69 Rue de la Motte Brûlon, CS 30621, 35706 Rennes Cedex 7, France ; ² Terrena, Recherche et développement AEI (Agriculture Ecologiquement Intensive), Nutrition et santé animales, La Noëlle, BP 20199, 44150 Ancenis, France ; ³ Agrocampus Ouest, 65 Rue de Saint-Brieuc, 35000 Rennes, France ; ⁴ Ecole Supérieure d'Agricultures (ESA), 55 Rue Rabelais, BP 30748, 49007 Angers Cedex 01, France

* E-mail de l'auteur correspondant : marie.raoult@evolution-xy.fr

Cet article a été rédigé dans le cadre du stage de fin d'études Master 2 « Ingénierie Zootechnique, Agrocampus-Ouest, Rennes » du premier auteur.

Résumé :

Ces dernières années, des travaux nationaux et européens ont permis d'accéder à une meilleure connaissance des processus biologiques impliqués dans l'élaboration de la tendreté évaluée par des mesures sensorielles ou physiques (forces de cisaillement). Les techniques en « omique » permettent aujourd'hui d'estimer à un coût décroissant ces critères par lecture directe de l'ADN sur le génome ou par l'étude de l'expression des gènes sous forme de protéines.

L'approche de modélisation originale du MSA (Meat Standards Australia) développée en Australie semble prometteuse, du fait de sa prise en compte directe des préférences des consommateurs, des facteurs d'élevage et d'abattage des animaux, de la maturation et de la cuisson de la viande. Le modèle établi permet une prédiction de la qualité en bouche de la viande en fonction du type de muscle considéré et de la cuisson. La pertinence de cette approche a été démontrée dans de nombreux pays. Un tel modèle, pourrait être établi pour les races françaises en tenant compte du type d'animal et du muscle considéré. Cette information pourrait alors être utilisée afin d'élaborer un index de potentiel de qualité sensorielle pouvant être introduit dans les schémas de sélection génétique.

Abstract: Beef tenderness. Progress thanks to genomics and modelling

In recent years, national and international studies have led to a better understanding of biological processes involved in meat tenderness evaluated by sensorial or physical methods. Nowadays, "Omic" techniques enable decreasing the price of this assessment by reading the DNA, or studying the gene expression by studying proteins.

The original modelling approach of the MSA (Meat Standard Australia) developed in Australia seems very promising, since it takes into account the consumer's preferences, breeding and slaughtering factors, ageing and cooking. The established model allows predicting meat organoleptic quality according to the kind of muscle studied and its cooking. Many countries have demonstrated the relevance of this approach. Such a model could be investigated in France, taking into account the animal type and muscle. Then, this information could be used to create a sensorial quality selection index which could be introduced into genetic selection schemes.

INTRODUCTION

Dans la viande bovine, la tendreté est une des premières qualités recherchées par le consommateur. Néanmoins, ce critère de qualité est très complexe car beaucoup de facteurs interviennent dans son déterminisme. La tendreté est un paramètre très variable et est mal maîtrisé aujourd'hui. C'est cette inconstance qui entraîne l'insatisfaction des

consommateurs. Conscient de ce problème, la communauté scientifique se lance dans des programmes de recherche afin de combler le manque de connaissances. Cet article vise à exposer les dernières avancées de la recherche dans ce domaine afin de mieux évaluer et optimiser ce critère.

I. LES APPORTS DES APPROCHES GENOMIQUES, PROTEOMIQUES ET TRANSCRIPTOMIQUES

I.1. L'étude du génome au service de la tendreté

L'étude du génome peut permettre l'identification de nouveaux indicateurs biologiques caractéristiques de la tendreté. Le séquençage d'une femelle de race Hereford ainsi que le séquençage partiel d'autres individus a permis de mettre en évidence une variabilité de séquence correspondant à un grand nombre de polymorphismes dans l'ADN. L'objectif a ensuite été de mettre en lien ces polymorphismes génétiques avec des phénotypes d'intérêt. Ces avancées, largement mises à profit pour l'amélioration des populations laitières, n'ont pas été autant couronnées de succès dans les filières allaitantes pour deux raisons : d'une part, les performances ne sont pas systématiquement recueillies en abattoir (ou non individuellement), voire pas du tout pour les critères de qualité de viande ; d'autre part, l'insémination animale étant moins utilisée en production allaitante, il est plus difficile d'obtenir les structures familiales.

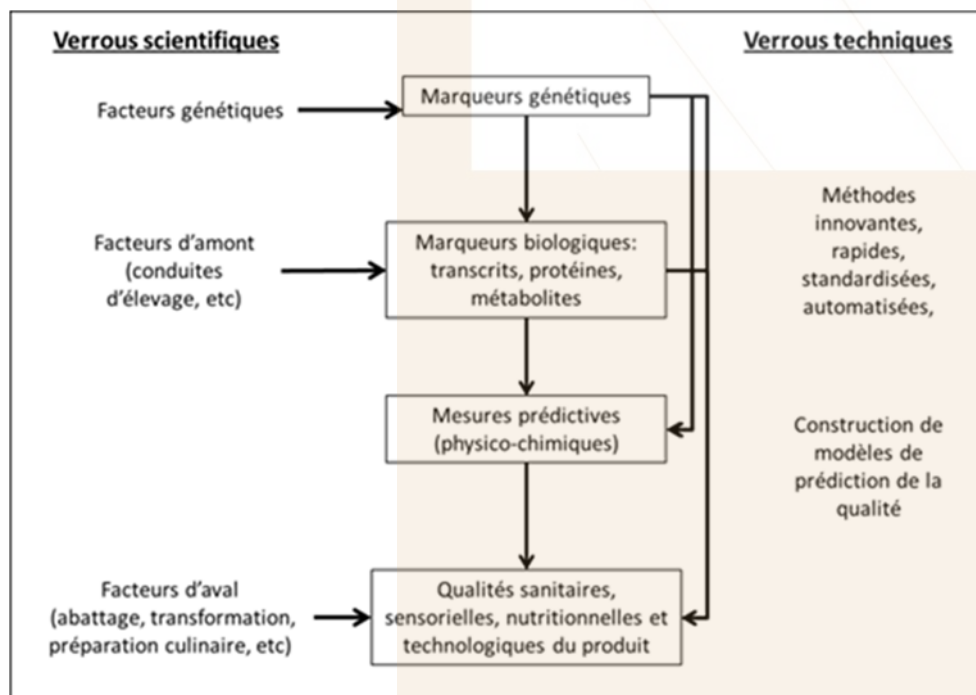
Les premières études menées sur la tendreté ont montré qu'elle présentait une variabilité génétique intra-race non négligeable, qu'elle soit mesurée par un jury de dégustation

ou par la force de cisaillement. Ce critère présente une héritabilité de l'ordre de 25%, et est donc potentiellement améliorable par sélection génétique si une mesure ou une estimation de la tendreté peu onéreuse et rapide pouvait être mise en place. Les notes de jutosité et de flaveur (peu héritables) sont étroitement liées à la tendreté, une sélection sur la tendreté aurait donc aussi un effet bénéfique sur ces critères (Renand et Allais, 2010).

Les techniques en « omique », sont actuellement des priorités de recherche pour maîtriser des phénotypes difficilement accessibles tels que ceux décrivant la qualité de la viande bovine (Hocquette et al., 2008). Génomique, transcriptomique, protéomique et métabolomique semblent prometteur, à terme, la possibilité d'évaluer de manière fiable et à moindre coût les critères de qualité de la viande tels que la tendreté.

La Figure 1 (Le Bihan-Duval et al., 2014) présente les stratégies d'estimation de la qualité de viande bovine permettant la construction de modèles de prédiction de la qualité des viandes.

Figure 1 : Stratégie de détermination ou d'estimation de la qualité des produits (Le Bihan-Duval et al., 2014)



I.2. Les programmes de recherche

D'importants projets de recherche mettant en œuvre ces techniques ont été conduits en Europe ces dernières années, notamment les projets européens PROSAFEBEEF,

GEMQUAL, etc. et les projets français QUALVIGENE, MUGENE, GENOTEND, PHENOTEND, etc.

1.2.1. Le projet GEMQUAL

Le projet européen GEMQUAL (genetics of meat quality) avait pour objectif l'identification des gènes contrôlant une partie de la variabilité des caractéristiques de la qualité des viandes bovines, de tester des gènes candidats et de confirmer les effets de QTL particuliers sur la qualité de la viande bovine. Il comprenait 9 partenaires issus de 5

1.2.2. Le projet MUGENE

Le projet MUGENE s'est appuyé sur une approche intégrée combinant la génétique, la génomique et la biologie musculaire pour gérer la qualité de la viande bovine selon le potentiel de croissance des animaux et les facteurs d'élevage. Son objectif était d'identifier des gènes responsables de la tendreté (mesurée par analyse sensorielle et par les forces de cisaillement), de la jutosité et de la flaveur de la viande bovine en vue de les intégrer au sein des schémas de sélection. Le résultat majeur de ce projet a été l'identification d'une relation négative entre l'expression du

1.2.3. Le projet QUALVIGENE

En parallèle, le projet QUALVIGENE a eu pour objectifs :

- l'analyse de la variabilité génétique de trois races bovines françaises : Charolais, Limousin et Blonde d'Aquitaine ;
- la recherche de marqueurs génétiques impliqués dans la qualité de leurs viandes et la validation de marqueurs génétiques découverts, déjà publiés et/ou brevetés faisant l'objet pour certains d'un test génétique commercialisé.

L'influence de plusieurs gènes sur la tendreté a ainsi été vérifiée, comme le gène de la μ -calpaïne (CAPN1), le gène de la calpastatine (qui inhibe la μ -calpaïne, CAST), le gène de la lysyl-oxydase, enzyme qui initie l'établissement des réticulations dans le collagène (LOX), et d'autres gènes liés au développement indirectement impliqués dans l'élaboration de la tendreté (gène de la myostatine GDF8 par exemple).

Les gènes CAPN1 et CAST sont notamment commercialisés depuis plusieurs années par des sociétés telles que Neogen corporation¹ et Zoetis² au travers des tests Ingenuity®-tenderness et GeneSTAR ELITE TENDER® permettant d'évaluer la tendreté de la viande de bovins mesurée par la méthode des forces de cisaillement (Warner-Bratzler) (NBCEC, 2011).

Pour les races françaises, le gène CAST n'a finalement d'effet qu'en Blonde d'Aquitaine, le gène CAPN1 n'a d'effet qu'en race charolaise (Allais et al., 2011) et le gène

1.2.4. Les projets GENOTEND et PHENOTEND

D'autres programmes viennent compléter et poursuivre ces études, notamment les projets GENOTEND et PHENOTEND. Le projet GENOTEND a eu pour objectif la création d'une puce permettant d'analyser l'expression des gènes dans les muscles bovins pour prédire la qualité des viandes à partir de l'étude simultanée de 3000 gènes. Ce projet se base sur les résultats du projet MUGENE obtenus sur le muscle LD de bœufs et taurillons charolais. Le gène *DNAJ1* et les autres gènes de la famille des HSP tiennent une place importante parmi les gènes considérés (Hocquette et al., 2012). La puce GENOTEND est une puce à ARN, ces transcrits traduisent l'expression des gènes étudiés (approche « transcriptomique »). La puce PHENOTEND,

pays (Royaume-Uni, Danemark, Espagne, Italie et France), le projet portait sur l'étude de taurillons de 15 races différentes. Ce projet a été complété en France par deux projets nationaux, MUGENE et QUALVIGENE aux objectifs comparables.

gène *DNAJ1* et la tendreté sensorielle de la viande après 14 jours de maturation chez des taurillons et des bœufs Charolais. Ce gène code en effet pour une protéine chaperonne de la famille des *Heat Shock* protéines (ou protéines de stress), l'Hsp40. Dans le cadre de cette étude, l'expression de *DNAJ1* expliquait 63% de la variabilité de la tendreté sensorielle observée sur les quatorze taurillons ayant produit les viandes les plus dures et les plus tendres (Hocquette et al., 2007).

LOX ne semble pas avoir d'effet sur la tendreté dans les trois races. Il a également été trouvé que l'allèle Q204X du gène de la myostatine a un effet favorable sur les qualités de carcasse et les caractéristiques musculaires. De nombreuses différences ont également été trouvées entre races, entre types d'animaux et surtout entre les muscles (revue de Hocquette et al., 2011).

Plus récemment, en 2014, une publication dans Journal of Animal Science présente une localisation fine de toutes les régions du génome significativement impliquées dans les qualités sensorielles de la viande ayant été trouvées dans le cadre du projet QUALVIGENE (approche « génomique »). Des régions du génome impliquées dans la mise en place de la tendreté, de la couleur et des lipides intramusculaires, différentes dans les trois races, y sont décrits (Allais et al., 2014). La limite de cette étude est qu'elle ne se base que sur l'analyse du muscle long dorsal (LD), muscle ayant tout de même un fort intérêt commercial. Les régions du génome impliquées dans l'élaboration des qualités sensorielles d'autres muscles pourraient être très différentes. Certaines régions peuvent en effet avoir des effets inverses en fonction des propriétés contractiles et métaboliques des muscles considérés (Picard et al., 2014a). Les résultats prometteurs de QUALVIGENE ne sont donc pas directement utilisables en vue d'une sélection ayant pour objectif l'amélioration de la qualité sensorielle de carcasses entières.

quant à elle, se base sur la quantification de protéines marqueurs de la tendreté (approche « protéomique »). Son objectif était la création d'une puce à anticorps (test « dot-blot »), un outil de phénotypage permettant de disposer de données objectives sur le potentiel de tendreté d'animaux vivants jusqu'à leur abattage et leur commercialisation, muscle par muscle (Picard, 2013). L'abondance des protéines mesurée dans les muscles a été mise en relation avec la tendreté mesurée par un jury ou par les forces de cisaillement. Les équations obtenues permettent de prédire la tendreté avec une précision de 60 à 90% à partir de 4 à 8 protéines selon les types de bovins considérés (Picard et al., 2014b).

¹ Neogen Corporation (NASDAQ : NEOG) est une société Américaine ayant de multiples filiales et implantations à l'international, cette entreprise de haute technologie est spécialisée dans le développement et la commercialisation de kits de diagnostics innovants, dont les tests génétiques pour bovins de la marque Ingenuity® (<http://www.neogen.com/Corporate/index.html>)

² Zoetis est une société Américaine vendant des produits d'élevage dans 120 pays dont les tests génétiques de la marque GeneStar® (<https://www.zoetis.com/about-us.aspx>)

I.3. Les limites des approches « omiques »

Les projets GENOTEND et PHENOTEND se sont heurtés à des difficultés depuis longtemps identifiées et nécessitant encore des approfondissements en recherche : la forte influence des paramètres d'élevage sur la tendreté qui agissent en interaction avec les paramètres génétiques, ainsi que l'absence de standardisation pour la mesure des caractères notamment pour la détermination de la tendreté de la viande (Le Bihan-Duval et al., 2014) comme discuté ci-dessus.

L'analyse de l'influence des facteurs de production sur l'expression des gènes ou l'abondance des protéines biomarqueurs est cruciale. Cette analyse, qui permettra l'adoption de conduites d'élevage plus favorables à la tendreté et plus durables, est en cours (Hocquette et al., 2015).

II. APPORTS DE LA MODELISATION, EXEMPLE DU MEAT STANDARDS AUSTRALIA (MSA)

II.1. La modélisation

Une approche actuellement plébiscitée au niveau international pour prédire des critères de qualité de la viande tels que la tendreté est la modélisation. La modélisation consiste en l'élaboration d'un modèle qui est une représentation mathématique, graphique ou informatique des objets et des relations entre ceux-ci dans un domaine restreint du monde réel, qui est l'objet d'un questionnement. La modélisation est un moyen d'explicitier la complexité afin de mieux comprendre le fonctionnement d'un système et de prendre des décisions le concernant. En fonction des objectifs du modèle construit (souvent multiples et liés entre eux), il sera possible d'établir à partir de cette représentation des équations permettant de

II.2. Le système MSA, une approche originale et pertinente

Le système de prédiction Australien de la qualité de la viande MSA est basé sur des milliers d'évaluations sensorielles de consommateurs non entraînés. Il se base sur une approche hédonique permettant de connaître la satisfaction des consommateurs de la qualité en bouche d'environ 40 muscles de la carcasse cuisinés de différentes manières : au grill, rôti, au wok, bouilli, en ragout, en shabu shabu (viande émincée) qui sont des méthodes de cuisson courantes soit en Europe, en Amérique ou en Asie.

Différentes caractéristiques des carcasses ainsi notées sont enregistrées de la production à l'abattage et durant la transformation : le type génétique limité au pourcentage de sang zébu, l'utilisation ou non d'hormones de croissance, le passage par un centre d'allotement ou un marché aux bestiaux (ce qui favorise le stress), l'indice d'ossification (estimation de la maturité physiologique, l'âge n'étant pas connu à l'abattoir en Australie), le pH ultime (mesuré sur le muscle long dorsal (LD)) et la température, le poids de carcasse, l'épaisseur de gras sous cutané, la couleur de la viande et du gras (sur le muscle LD), le persillé (sur le muscle LD), la surface de la noix d'entrecôte, la méthode de suspension des carcasses (par le tendon d'Achille ou pelvienne), l'application éventuelle d'une stimulation électrique et le temps de maturation (Moëvi et al., 2008a et MLA, 2015).

Par ailleurs, la plupart des études « omiques » que nous venons d'exposer sont basées sur l'analyse du seul muscle LD. Il est cependant important de s'intéresser à la tendreté par pièce de boucherie et de ne pas généraliser les résultats à partir d'un seul muscle, ce qui est souvent fait dans la littérature (Chriki, 2013). Ces avancées génétiques ne permettent donc pas d'appréhender la variabilité globale de la tendreté des différents muscles de la carcasse perçue par les consommateurs.

Pour pouvoir prédire la tendreté de la viande de manière fiable, il semble donc important de combiner ces approches génomiques apportant une information sur le potentiel génétique de l'animal avec des approches plus globales tenant compte des paramètres d'élevage, d'abattage et de transformation, tout en ne négligeant pas les particularités du muscle étudié et son mode de cuisson.

prédire une (des) variable(s) d'intérêt à partir de plusieurs critères accessibles et mesurables, de faire un diagnostic, de contrôler, de décider, de tester une hypothèse (etc.)... La pertinence et la précision du modèle établi sont validées statistiquement, un domaine de validité est délimité pour chaque critère défini (INRA, 2005)

Le système MSA (« Meat Standards Australia ») est à ce jour le modèle de prédiction de la tendreté de la viande le plus complet. Une de ses originalités est qu'il est fondé sur l'évaluation directe de la satisfaction des consommateurs non entraînés (par opposition aux experts en analyse sensorielle), et de s'intéresser à chaque type de muscle en fonction de sa méthode de cuisson.

Les caractéristiques sensorielles étudiées lors de tests hédoniques sont la tendreté, mais aussi la jutosité, l'appréciation de la flaveur et l'appréciation globale des viandes testées (les consommateurs donnant une note de 0 à 100 pour chaque échantillon). Il est ensuite demandé aux consommateurs d'affecter l'échantillon dans l'une des quatre classes suivantes : insatisfaisant (non commercialisé en l'état), bon au quotidien (3 étoiles), meilleur que la « viande de tous les jours » (4 étoiles), ou premium (5 étoiles). Les notes de tendreté, jutosité, flaveur et appréciation globale de 0 à 100 sont ensuite combinées pour former une nouvelle variable statistique, le « MQ4 », combinaison des 4 notes qui résume le mieux l'information collectée. A partir des multiples informations sur la carcasse et du MQ4 calculé, un modèle permettant de prédire la classe de qualité apprécié par le nombre d'étoiles (3, 4, 5 ou 0) attribué par les consommateurs pour chaque muscle et chaque type de cuisson a été établi. La meilleure combinaison pour prédire le MQ4 en Australie est depuis 2008 : $0.3 \times \text{note de tendreté} + 0.1 \times \text{note de jutosité} + 0.3 \times \text{note de flaveur} + 0.3 \times \text{note d'appréciation globale}$. Les limites optimales de MQ4 permettant de distinguer les 4 classes étaient en 2008 46.5 entre les classes 2 et 3, 64 entre les classes 3 et 4 et 76.5 entre les classes 4 et 5 sur l'échelle de 100.

Le nombre d'étoile prédit à l'aide de ce modèle est une information communiquée aux distributeurs, voire aux

consommateurs pour chaque combinaison « muscle, type de cuisson et durée de maturation ».

La prise en compte du type de muscle et de la méthode de cuisson est un des points forts de cette méthode. En effet, en tenant compte de ces paramètres, il est possible de prédire plus de 70% de la variabilité de la tendreté de la viande de bœuf par de telles approches intégratives

II.3. Expertise scientifique et professionnelle

Au vu de ses multiples avantages, ce système a fait l'objet d'une étude visant à juger son intérêt et la pertinence en France (expertise scientifique et professionnelle, Moëvi et *al.*, 2008a), en vue d'une éventuelle utilisation en France. D'après cette étude, le système MSA semble être le système d'objectivation des qualités sensorielles de la viande bovine le plus finalisé à ce jour, spécialement en matière de tendreté. La logique proposée par le système MSA d'une segmentation de marché par la tendreté est perçue comme d'avenir pour les filières viande. Ce système semble basé sur une approche scientifique rigoureuse, pertinente, encadrée et contrôlée. L'intérêt de cette démarche originale est qu'elle s'appuie sur une vérité observée, la satisfaction objectivement mesurée des consommateurs (ce qui est l'objectif final). Le système MSA semble relativement souple, ouvert, accessible pour les entreprises australiennes souhaitant

II.4. Applicabilité dans d'autres pays

La création de la base de données d'analyse sensorielle nécessaire à l'élaboration des équations de prédiction semble très lourde par rapport aux bénéfices potentiels qu'apporterait la démarche dans d'autres pays, en particulier dans les pays comme la France qui disposent déjà de multiples signes officiels de qualité. Compte tenu des fortes différences rencontrées au niveau des systèmes de production et des types d'animaux consommés (différentes races, catégories d'âge, de poids, de sexe...), une calibration du modèle semblerait nécessaire avant son application dans chaque pays et pour chaque type de production.

Des études ont montré que le système MSA était applicable dans d'autres pays moyennant quelques pondérations et ajustements. Il est possible, grâce à des essais sensoriels, de confronter les notations de consommateurs australiens et étrangers sur des produits identiques afin de corriger des biais systématiques observés (Thompson et *al.*, 2008). En France, les consommateurs se comportent de manière relativement similaire aux consommateurs australiens pour l'évaluation de la viande de bœuf, bien que les modes de cuissons utilisés soient différents (l'évaluation des qualités sensorielles ne semble pas dépendre pas du degré de cuisson lorsque la viande est consommée selon les préférences des consommateurs de chaque pays). Cette forte concordance des réponses entre consommateurs français et australiens suggère que le système de prédiction australien pourrait être utilisé en

utilisant de nombreux facteurs de la production au consommateur. Les caractères mesurés *post-mortem* semblent avoir plus d'importance que les facteurs *ante-mortem* pour contrôler la tendreté. Cependant, toutes ces informations doivent être combinées afin d'améliorer la prédiction de la tendreté de la viande de bœufs (revue de Hocquette et *al.*, 2014).

entrer dans la démarche. Enfin, cette démarche est puissante en termes de communication. Les consommateurs disposent, en effet, d'un index synthétique de qualité, relativement simple (trois niveaux d'étoiles) (Moëvi et *al.*, 2008a). Ce programme jugé très intéressant mérite réflexion en France.

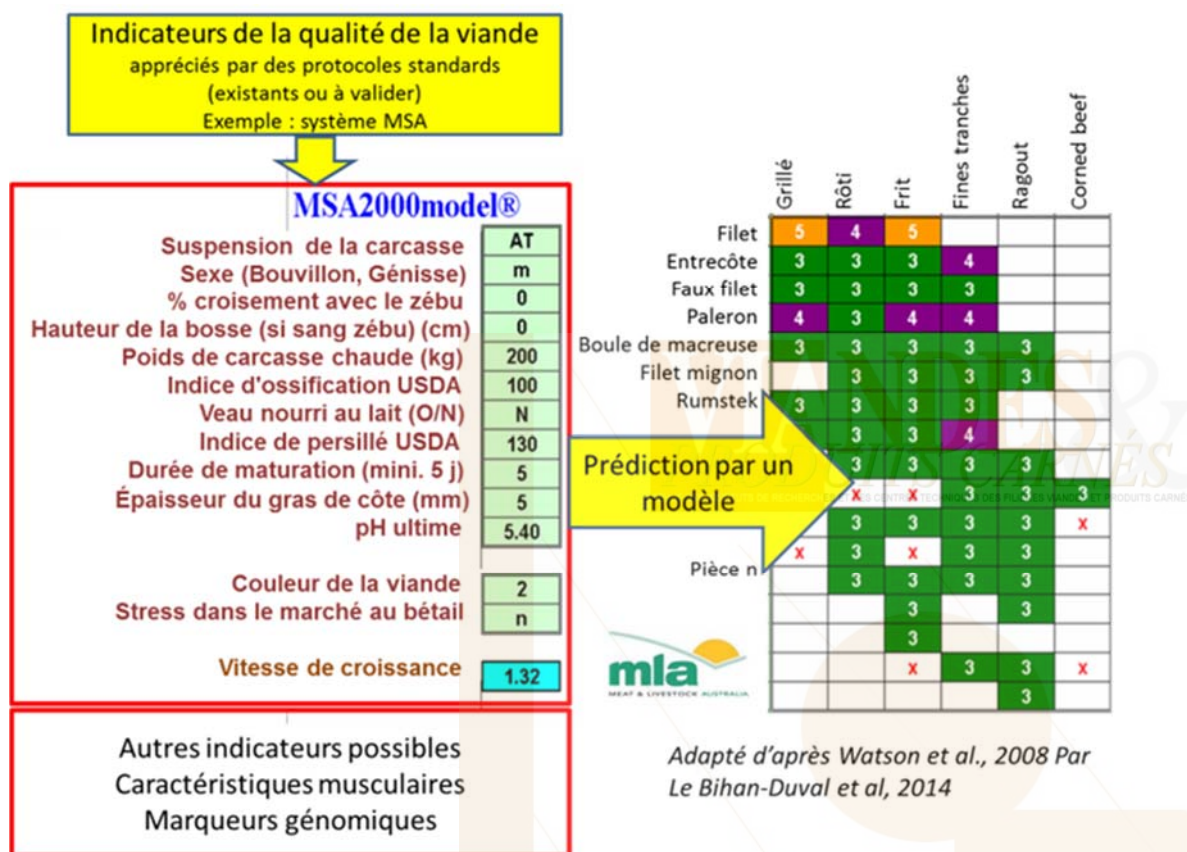
Ce système ne semble cependant pas toujours être utilisé de manière optimale. Le système MSA a initialement été conçu pour fournir une information sur la qualité de la viande aux consommateurs. Les distributeurs ne sont pas tenus de la présenter aux consommateurs. Certains l'utilisent comme garantie d'approvisionnement de qualité, mais ne transmettent pas les niveaux de qualité proposés, ni les préconisations concernant la méthode de cuisson des morceaux qu'ils commercialisent (Moëvi et *al.*, 2008b).

France pour un classement en 3 classes de qualité, bien que des études complémentaires seraient nécessaires afin d'en améliorer la précision, la pertinence et d'élargir son champ d'application à d'autres types de productions (Legrand et *al.*, 2011 ; Legrand et *al.*, 2013).

Le système MSA a également été testé dans d'autres pays ou régions du monde : Corée du Sud (Thompson et *al.*, 2008), Etats-Unis (Smith et *al.*, 2008), France (Legrand et *al.*, 2013), Japon (Polkinghorne et *al.*, 2011), Afrique du Sud (Thompson et *al.*, 2010), Nouvelle Zélande, Irlande du Nord, (Farmer et *al.*, 2009), Pologne (Guzek et *al.*, 2015) et la République irlandaise (Brandon et *al.*, 2006). La conclusion générale est que, moyennant quelques ajustements dans le modèle, les consommateurs apportent des réponses comparables quelle que soit leur nationalité et que, donc, le système MSA est potentiellement utilisable dans tous ces pays.

Afin d'augmenter la capacité de prédiction d'un tel modèle, il est envisageable d'y ajouter les informations sur les propriétés physiques/biologiques/biochimiques des muscles considérés, la variabilité des viandes pouvant être expliquée en partie par la variabilité des caractéristiques musculaires. Ces informations étant difficiles d'accès (mesures coûteuses et contraignantes), la possibilité de les obtenir indirectement par l'analyse du génome est un des grands sujets de recherche actuels (Figures 1 et 2).

Figure 2 : Démarche de prédiction de la qualité de la viande bovine
(adaptée de Watson et al., 2008 cité par Le Bihan-Duval et al., 2014)



CONCLUSIONS

Face à l'importance de la demande des consommateurs et à l'intérêt des différents acteurs de la filière pour ce critère, de nombreuses études ont été menées pour prédire la tendreté de la viande de carcasses entières de bovins. Nécessitant de lourds moyens financiers, les études les plus complètes sont le plus souvent réalisées dans le cadre de projets collaboratifs entre chercheurs de plusieurs pays et/ou entre professionnels et chercheurs. Les travaux nationaux et européens menés ces dernières années ont permis d'accéder à une meilleure connaissance des processus biologiques impliqués dans l'élaboration de la tendreté mesurée par des jurys d'experts (méthode sensorielle) ou par les forces de cisaillement. Les techniques en « omique » ouvrent la possibilité d'estimer à moindre coût ces critères par lecture directe du génome, en utilisant les marqueurs candidats d'après leur fonction biologique ou de nouveaux marqueurs découverts grâce à ces techniques.

Les puces GENOTEND et PHENOTEND permettent potentiellement de prédire à moindre coût la tendreté des muscles (mesurée par jury d'experts ou par les forces de cisaillement) à partir de l'expression des gènes ou des protéines liées à leurs propriétés biologiques. Une sélection pourrait donc être mise en place sur le critère de tendreté. Il convient dorénavant de réfléchir à mettre en phase la proposition de reproducteurs à haut potentiel pour la tendreté avec les objectifs économiques des éleveurs : une différenciation sur la qualité de la viande des animaux devra au préalable être réfléchiée par les acteurs de la filière viande, de l'amont à l'aval.

Cette connaissance approfondie des mécanismes biologiques impliqués dans l'élaboration de la tendreté

mériterait d'être mise en relation avec le modèle original du MSA, qui s'appuie directement sur les préférences des consommateurs, intègre des facteurs d'élevage, d'abattage et de transformation des animaux, et permet une prédiction de la qualité de la viande en fonction du type de muscle considéré et de la cuisson. Un tel modèle, plus précis, pourrait être établi pour les races françaises en tenant compte du type d'animal et du muscle considéré.

Le modèle MSA est en effet le modèle le plus précis qui existe aujourd'hui pour prédire la tendreté, et plus généralement la qualité sensorielle de la viande bovine. De plus, son caractère opérationnel a été démontré puisque plus de la moitié des bovins abattus par an en Australie sont classés par ce système par les professionnels de la filière. Plus récemment, la pertinence du système MSA a été démontrée dans de nombreux pays de sorte qu'il existe aujourd'hui un groupe de chercheurs européens qui réfléchit à une stratégie de construction d'une base de données européenne de tests consommateurs afin de construire un système de prédiction européen comparable au système MSA par sa méthodologie.

Enfin, le modèle MSA de prédiction de la qualité sensorielle de la viande apporte de nouvelles stratégies pour les généticiens. En effet, le potentiel d'un muscle à produire une viande de qualité pondéré par son poids permet de construire un potentiel génétique de chaque animal à produire une viande de qualité toutes choses égales par ailleurs (c'est-à-dire à même durée de maturation, à même cuisson, etc). Cet index de potentiel de qualité peut éventuellement être introduit dans les schémas de sélection génétique.

Références :

- Allais S., Journaux L., Leveziel H., Payet-Duprat N., Raynaud P., Hocquette J.F., Lepetit J., Rousset S., Denoyelle C., Bernard-Capel C., Renand G. (2011). Effects of polymorphisms in the calpastatin and μ -calpain genes on meat tenderness in 3 French beef breeds. *Journal of Animal Science*, 89, 1-11.
- Allais S., Leveziel H., Hocquette J.F., Rousset S., Denoyelle C., Journaux L., Renand G. (2014). Fine mapping of quantitative trait loci underlying sensory meat quality traits in three French beef cattle breeds. *Journal of Animal Science*, 92, 4329-4341.
- Brandon K., Allen P., Polkinghorne R., Gee A., Lau J., Drennan M. (2006). Testing the meat standards Australia (MSA) model on Irish beef. *Proceeding of the 52nd International Congress of Meat, Science and Technology*, 619-620.
- Chriki S. (2013). Méta-analyses des caractéristiques musculaires afin de prédire la tendreté de la viande bovine. INRA Centre de Recherche de Clermont-Ferrand, Theix UMRH 1213 : Unité Mixte de Recherches sur les Herbivores, Équipe AMUVI : Animal Muscle Viande 63122 Saint-Genès Champanelle : Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II.
- Farmer L.J., Devlin D.J., Gault N.F.S., Gee A., Gordon A.W., Moss B.W., Polkinghorne R., Thompson J., Tolland E.L.C., Tollerton I.J. (2009). Effect of type and extent of cooking on the eating quality of Northern Ireland beef. *Proceedings of the 55th International Congress of Meat Science and Technology*, Copenhagen, 7-33.
- Guzek D., Glabska D., Gutkowska K., Wierzbicki J., Wozniak A., Wierzbicka A. (2015). Influence of cut and thermal treatment on consumer perception of beef in polish trials. *Pakistan Journal of Agricultural Science*, 52, 1-6.
- Hocquette J.F., Bernard C., Cassar-Malek I., Lepetit J., Micol D., Jurie C., Meunier B. (2007). Mise en évidence de marqueurs de tendreté de la viande bovine par des approches de génomique fonctionnelle (projet MUGENE). *Rencontres Recherches Ruminants*, 14, 117-120.
- Hocquette J.F., Bernard-Capel C., Vidal V., Jesson B., Levéziel H., Renand G., Cassar-Malek I. (2012). The GENOTEND chip: a new tool to analyse gene expression in muscles of beef cattle for beef quality prediction. *BMC Veterinary Research*, 8, 135.
- Hocquette J.F., Boichard D., Cassar-Malek I., Laville E., Renand G., Levéziel H., Picard B. (2008). Des avancées en génomique fonctionnelle et positionnelle chez les bovins à viande : programmes en cours et potentialités. *Viandes et produits carnés, hors-série 12ièmes Journées « Sciences du Muscle et Technologies des Viandes »*. Tours, 9 octobre 2008, 101-108.
- Hocquette J.F., Leroux C., Picard B., Boichard D., Renand G. (2015). Génomique et qualité des produits lait et viande. *Bulletin des GTV*, 77, 57-62.
- Hocquette J.F., Picard B., Cassar-Malek I., Renand G., Allais S., Capel C. (2011). La génomique : un travail de longue haleine. *Satellite 3T (Actualité, Technicité, Nouveauté) des 3R*, Paris. 8 décembre 2011. Disponible à l'adresse : <http://prodinra.inra.fr/record/196112>, consulté le 14/04/15.
- INRA (2005). La modélisation à l'INRA. Disponible à l'adresse : http://www7.inra.fr/internet/Projets/agroBI/Rapport_Modelisation_2005_INRA.pdf, consulté le 10/06/15.
- Le Bihan-Duval E., Talon R., Brochard M., Gautron J., Lefevre F., Larzul C., Baeza E., Hocquette J.-F. (2014). Le phénotypage de la qualité des produits animaux : enjeux et innovations. *INRA Productions Animales*, 27, 3, 223-234.
- Legrand I., Hocquette J.F., Polkinghorne R.J., Turin F., Pethick D.W. (2011). Prédire la qualité sensorielle de la viande bovine à l'aide du système australien MSA (Meat Standards Australia). *Rencontres Recherches Ruminants*, 18, 173-176.
- Legrand I., Hocquette J.F., Polkinghorne R.J., Pethick D.W. (2013). Prediction of beef eating quality in France using the Meat Standards Australia system. *Animal*, 7, 3, 524-529.
- MLA, 2015. Grading | Meat & Livestock Australia. (2015). Disponible à l'adresse : <http://www.mla.com.au/Marketing-beef-and-lamb/Meat-Standards-Australia/MSA-beef/Grading>, consulté le 15/04/15.
- Moëvi I., Hocquette J.F., Jurie C., Micol D. (2008a). Le système australien de prédiction de la qualité sensorielle de la viande bovine MSA : Présentation, expertises scientifique et professionnelle. *Rencontres Recherches Ruminants*, 15, 97-100.
- Moëvi I., Hocquette J.F., Polkinghorne R.J., Pethick D.W. (2008b). 17 08 32 010 : Expertise du système australien de prédiction de la qualité de la viande bovine (MSA), quelles perspectives pour la filière française ? *Compte rendu final n° 17 08 32 010*. Institut de l'élevage, département techniques d'élevage et qualité, service qualité des viandes. Collection Résultats.
- NBCEC (2011). Overview : Summary of NBCEC validations for commercially-available DNA-tests for complex (quantitative or multigenic) traits in beef cattle. Disponible à l'adresse : <http://www.nbcec.org/validation/overview.html>, consulté le 10/06/15.
- Picard B. (2013). Des biomarqueurs pour évaluer la tendreté de la viande. *Inra science et impact* Disponible à l'adresse : <http://www.phase.inra.fr/Toutes-les-actualites/Des-biomarqueurs-pour-evaluer-la-tendrete-de-la-viande>, consulté le 15/04/15.
- Picard B., Gagaoua M., Micol D., Cassar-Malek I., Hocquette J.F., Terlouw C.E.M. (2014a). Inverse Relationships between Biomarkers and Beef Tenderness According to Contractile and Metabolic Properties of the Muscle. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62, 40, 9808-9818.
- Picard B., Micol D., Dunoyer N., Hardit V., Denoyelle C., Renand G., Cassar-Malek I., Journaux L., Capel C. (2014b). Des biomarqueurs aux équations de prédiction des qualités sensorielles de la viande de vaches de réforme. In: 15ièmes Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes (p. 125-126). *Viandes et Produits Carnés*.
- Polkinghorne R., Nishimura T., Neath K.E., Watson R. (2011). Japanese consumer categorisation of beef into quality grades, based on Meat Standards Australia methodology. *Animal Science Journal*, 82, 325-333.
- Renand G. et Allais S. (2010). Chapitre 12 : La sélection des bovins pour une amélioration génétique de la qualité de la viande. *Muscle et viande de ruminant. Versailles : Éditions Quae*, 153-163.
- Smith G.C., Tatum J.D., Belk K.E. (2008). International perspective: Characterisation of United States Department of Agriculture and Meat Standards Australia systems for assessing beef quality. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48, 1465-1480.

Thompson J.M., Polkinghorne R., Hwang I.H., Gee A.M., Cho S.H., Park B.Y., Lee J.M. (2008). Beef quality grades as determined by Korean and Australian consumers. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 48, 1380-1386.

Thompson J.M., Polkinghorne R.J., Gee A., Motiang D., Strydom P., Mashau M., Ng'ambi J., Dekock R., Burrow H. (2010). Beef palatability in the Republic of South Africa: implications for niche-marketing strategies. *ACIAR Technical Reports* 72.

