



# Quelques travaux de l'INRA sur les viandes

**Les travaux du département Physiologie Animale et Systèmes d'Élevage (PHASE) de l'INRA sur les produits carnés présentés aux Journées d'Animation Scientifique 2018**

**Mots-clés :** Recherche, Viande, Produits carnés

**Auteurs :** Françoise Médale<sup>1</sup>, Béatrice Chabi<sup>2</sup>, Isabelle Cassar-Malek<sup>3</sup>, Mohammed Gagaoua<sup>3</sup>, Jean-François Hocquette<sup>3</sup>, Brigitte Picard<sup>3</sup>, Alice Cadéro<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Département PHASE, INRA, UMR NuMéa, Saint Pée sur Nivelles, France ; <sup>2</sup>UMR 866 DMEM, 2 place Viala 34060 Montpellier, France ; <sup>3</sup>UMR1213 Herbivores, Theix, 63122 Saint-Genès Champanelle, France ; <sup>4</sup>UMR1348 PEGASE, 16, Le Clos, 35590 Saint Gilles, France

\* E-mails des auteurs : [francoise.medale@inra.fr](mailto:francoise.medale@inra.fr) ; [beatrice.chabi@inra.fr](mailto:beatrice.chabi@inra.fr) ; [isabelle.cassar-malek@inra.fr](mailto:isabelle.cassar-malek@inra.fr) ; [mohammed.gagaoua@inra.fr](mailto:mohammed.gagaoua@inra.fr) ; [jean-francois.hocquette@inra.fr](mailto:jean-francois.hocquette@inra.fr) ; [brigitte.picard@inra.fr](mailto:brigitte.picard@inra.fr) ; [alice.cadero@ifip.asso.fr](mailto:alice.cadero@ifip.asso.fr)

Les Journées d'Animation Scientifique (JAS) sont organisées par le département PHASE de l'INRA pour faire le point sur ses activités de recherches : cet article est une compilation des plus récents résultats des recherches sur les produits carnés présentés aux JAS 2018.

## Résumé :

L'enjeu des recherches du département PHASE sur les produits animaux est de comprendre et de prédire les conséquences des conditions d'élevage sur l'élaboration des produits notamment carnés, leur quantité et leurs qualités sensorielles, nutritionnelles, technologiques et sanitaires. Il s'agit de trouver des compromis pour obtenir des produits de haute valeur dans des conditions de production répondant aux objectifs de multi-performances des systèmes, en faisant le pari que le mode de production va devenir un critère en soi de qualité du produit.

Les priorités scientifiques concernant les produits animaux sont focalisées sur les mécanismes de développement et fonctionnement des tissus ou organes producteurs (notamment le muscle), comme illustré dans les exemples 1 et 2 de cet article, sur le développement d'outils de prévision des qualités des produits notamment en lien avec les pratiques d'élevage (exemples 3 et 4) et l'identification de biomarqueurs de production les plus robustes dans des contextes variés (exemple 5). Sur les systèmes d'élevage, l'enjeu est de définir des combinaisons de solutions en termes de ressources, d'animaux et de pratiques d'élevage en fonction des milieux, pour conjuguer les performances productives, économiques, environnementales (exemple 6), et l'optimisation du bien-être et de la santé des animaux dans différents environnements.

## Abstract: Examples of meat research at INRA

The aim of the PHASE Division's research on animal products is to understand and predict the consequences of rearing conditions on the development of these products, particularly the quantity as well as the sensorial, nutritional, technological and health qualities of meat products. The ambition is to find compromises allowing to high value products under production conditions that meet the multi-performance objectives of the systems, whilst anticipating that the production conditions themselves will become a criterion of product quality. The scientific priorities concerning animal products are focused on the mechanisms of development and the functioning of the tissues or organs involved in production (notably the muscle) as illustrated in examples 1 and 2 of this article, on the development of tools for predicting the qualities of animal products especially in connection with farming practices (examples 3 and 4) and the identification of the most robust production biomarkers in a variety of contexts (example 5). For livestock systems, the challenge is to define combinations of solutions in terms of resources, animals and farming practices depending on the environment, to combine productive, economic and environmental performances (example 6) and optimization of the welfare and health of animals in different environments.

## INTRODUCTION

Le schéma stratégique du département PHASE (Physiologie Animale et Systèmes d'Élevage) en cours (2016-2020), a comme objectif général de produire les connaissances nécessaires à la transition des systèmes d'élevage vers la multi-performance, en mobilisant simultanément les principes de l'agroécologie (stimulation des processus naturels) et les approches de la biologie prédictive (modèles et outils d'aide au pilotage).

Les recherches du département PHASE sont réparties dans quatre champs thématiques (CT) qui structurent leurs travaux : les ressources alimentaires ; les animaux ; les produits animaux et les systèmes d'élevage.

Quatre défis transversaux aux champs thématiques ont été définis. Ce sont les domaines prioritaires pour les 5 à 10 prochaines années sur lesquels sont orientés les animations et les moyens :

- Défi 1 : Des leviers pour orienter précocement les phénotypes et les produits et favoriser la coadaptation des animaux et du milieu
- Défi 2 : Des modèles et des outils pour anticiper et piloter les processus en élevage
- Défi 3 : La diversité pour accroître l'efficacité, la robustesse et la résilience des systèmes d'élevage
- Défi 4 : Perception des recherches sur l'animal et des modes de productions animales

Cet article est une présentation de quelques exemples de recherches du département PHASE sur les produits carnés présentées aux Journées d'Animation Scientifique en avril 2018. Elles concernent tout naturellement des travaux développés en grande partie dans le cadre des défis 1 et 2 et les champs thématiques sur les produits animaux et sur les systèmes d'élevage.

## I. CONTRIBUTION DE L'APOPTOSE ET DE L'AUTOPHAGIE AUX MECANISMES DE TRANSFORMATION *POST-MORTEM* DU MUSCLE

Rim Nassar, Barbara Vernus, Gilles Fouret, Bénédicte Goustard, François Casas, Lionel Tintignac, Isabelle Cassar-Malek, Brigitte Picard, Iban Seliez, Arnaud Chatonnet, Aline Hamade, Fadia Najjar, Anne Bonniou et Béatrice Chabi ont tout d'abord présenté un travail sur la contribution de l'apoptose (ou mort cellulaire) et de l'autophagie dans la transformation *post-mortem* du muscle en viande. Ce travail s'inscrit dans le défi 1 des recherches du département PHASE.

Dans le muscle des animaux producteurs de viande, un ensemble de processus enzymatiques et physico-chimiques conduit à la transformation *post-mortem* du muscle en viande. Associés aux caractéristiques structurales et métaboliques du tissu musculaire, *in fine* ces processus conditionnent en partie les qualités sensorielles de la viande. Il est clairement établi que les événements de protéolyse générés par les groupes enzymatiques cathepsines, calpaïnes et protéasome contribuent à la transformation *post-mortem* du muscle et participent à l'acquisition d'une de ces qualités sensorielles : la tendreté (Guillemin *et al.*, 2009). Des données antérieures (Ouali *et al.*, 2013 ; Garcia-Macia *et al.*, 2014 ; Picard et Gagaoua, 2017) suggèrent que d'autres mécanismes tels l'apoptose et l'autophagie, pourraient également contribuer à la transformation *post-mortem* du muscle. Leur cinétique

d'apparition n'a cependant pas été clairement établie en parallèle des autres événements protéolytiques. Pour répondre à cette question, nous avons mené une étude pilote de la maturation *post-mortem* du muscle chez la souris (souris contrôles et KO *Myostatine*). Nous avons suivi au cours d'une cinétique (0 à 48h *post-mortem*) des indicateurs de la maturation *post-mortem* du muscle (pH, dégradation des protéines myofibrillaires) et mesuré l'expression protéique et/ou l'activité de marqueurs et régulateurs de la protéolyse musculaire, de l'apoptose et de l'autophagie.

Nos résultats préliminaires montrent une protéolyse significativement plus importante dans le muscle des souris KO *Myostatine* (représentatif d'un muscle plus tendre par analogie avec les muscles de bovins culards). L'apoptose est présente dans les deux génotypes mais rapidement atténuée dans le muscle KO *Myostatine*. L'autophagie basale est réduite dans le muscle KO *Myostatine*. Cependant, tout en restant inférieur au niveau basal d'autophagie du muscle contrôle, le flux autophagique est induit lors du processus de maturation dans le muscle KO *Myostatine*. Ainsi, la contribution relative de l'autophagie et de l'apoptose dans la maturation *post-mortem* du muscle est dépendante du génotype. Ces résultats restent à confirmer dans des échantillons de viande de bovins culards *vs* des bovins contrôles présentant des potentiels de tendreté différents.

## II. UNE APPROCHE INTEGREE POUR COMPRENDRE LE DIALOGUE ENTRE TISSUS/ORGANES CHEZ LES RUMINANTS PRODUCTEURS

Isabelle Cassar-Malek, Mylène Delosière, Laurence Bernard, Céline Boby, Carole Delavaud, Denis Durand, Yannick Faulconnier, Christine Leroux, Anne Listrat, Brigitte Picard, José Pires et Muriel Bonnet ont présenté un travail s'inscrivant dans le défi 2 concernant le dialogue entre tissus et organes chez le ruminant en production.

Un enjeu pour l'élevage de ruminants est de prédire ou piloter les caractères phénotypiques liés à l'efficacité de production dans un contexte de diversification attendue des pratiques d'élevage (environnements changeants, diminution des intrants en compétition avec l'alimentation humaine, transition vers l'agroécologie). L'efficacité de production du

lait et de la viande dépend en partie du métabolisme des tissus et organes clés en production animale. Aussi, nos recherches contribuent à caractériser les phénotypes moléculaires de ces tissus et organes et à les relier à des phénotypes de performances de production, de qualité des produits lait-viande ou à des mécanismes adaptatifs. Ainsi, nous avons caractérisé les profils moléculaires (transcriptomique, protéomique, lipidomique ou approches ciblées) de la glande mammaire (Faulconnier *et al.*, 2017), du foie (Pawlowski *et al.*, 2016), des muscles (Cassar-Malek *et al.*, 2017a) et du tissu adipeux (Kasprić *et al.*, 2015), et les profils métaboliques (Pires *et al.*, 2015) dans diverses situations physiologiques ou en réponse à des conduites d'élevage.

Cette démarche a été complétée *in silico* par le développement de services web d'analyses bioinformatiques et statistiques (Kaspric *et al.*, 2015), l'agrégation et l'intégration d'open data (Tournayre *et al.*, 2015), dont nous avons montré l'utilité pour comprendre les mécanismes de développement et leur régulation, et pour prédire le sécrétome des muscles et du tissu adipeux (Bonnet *et al.*, 2016) et de la glande mammaire (Bernard *et al.*, 2018). Ces répertoires de protéines tissulaires sont désormais utilisés pour identifier des organokines, des molécules de la matrice extracellulaire, des récepteurs et des voies de signalisation susceptibles de contribuer au dialogue inter-organes/tissus. Nous examinons le protéome (Delosière *et al.*, 2017 ; Cassar-Malek *et al.*, 2017b) et le miRNome (Mobuchon *et al.*, 2015) de fluides biologiques (plasma ou lait) pour valider le sécrétome

### III. L'ETUDE DU CONTINUUM PRATIQUES D'ELEVAGE DES BOVINS – CARCASSE – MUSCLE – VIANDE POUR UNE GESTION OPTIMALE DES QUALITES DES PRODUITS

Mohammed Gagaoua, Valérie Monteils et Brigitte Picard ont également présenté un travail s'inscrivant dans le défi 2 L'étude du continuum : pratiques d'élevage des bovins - carcasse – muscle – viande pour une gestion optimale des qualités des produits.

Les larges jeux de données individuelles que nous définissons « métadonnées » sont de nos jours de plus en plus nombreux et disponibles et sont d'une immense utilité dans l'ère des « Big Data ». En sciences animales, les métadonnées ont fait l'objet de peu d'exploitations approfondies en comparaison à d'autres disciplines. Dans un contexte d'évolution des demandes vis-à-vis de l'élevage, nous avons mis en place un projet qui vient en appui du projet Filière Bovins Engraissement Auvergne-Rhône-Alpes. Notre projet s'appuie sur un entrepôt de données individuelles allant de la phase d'élevage jusqu'aux qualités de la viande. L'étude de ce continuum est un défi prometteur dans un objectif de pilotage optimal des performances des bovins et des qualités de leurs produits. Ainsi, plusieurs approches statistiques ont été déployées pour répondre à cet objectif. Tout d'abord, l'analyse en composantes principales couplée à une méthode de classification (*K*-means), a permis un regroupement des bovins en différentes classes de conduites. Dans le cas de l'AOP Maine-Anjou, l'approche ACP-*K*-means a permis d'identifier 3 classes de pratiques : « herbe », « foin » et « enrubonné ». Les vaches âgées avec un type génétique plutôt viande, une finition à l'herbe, une activité importante et une bonne aptitude laitière ont les propriétés de carcasses les plus avantageuses pour les éleveurs. Cette étude a confirmé que la

tissulaire et évaluer le potentiel des organokines et des miARN comme indicateurs des mécanismes de production et d'adaptation. Cette démarche d'intégration et de prédiction de nos données, ou de données omiques publiques, permettra une meilleure compréhension du dialogue moléculaire entre les tissus et organes qui sous-tend la physiologie productive et adaptative des ruminants. Les verrous à lever sont la prédiction du réceptome ainsi que l'intégration statistique des jeux de données hétérogènes (omiques, zootechniques...) pour concilier les profils moléculaires des tissus et fluides et les phénotypes zootechniques. L'identification des molécules clés du dialogue entre tissus et organes contribuera à i) comprendre les mécanismes impliqués dans la construction des phénotypes et la priorisation des fonctions de production des ruminants et ii) à développer des outils de phénotypage.

finition à « l'herbe » influence les propriétés des fibres musculaires aboutissant à des viandes plus rouges mais avec une tendreté et des teneurs en lipides intramusculaires (LIM) équivalentes aux types de finition « foin » ou « enrubonné » (Gagaoua *et al.*, 2017a,b ; Gagaoua *et al.*, 2018a). Dans une seconde étude, 480 jeunes bovins ont été étudiés en exploitant 13 paramètres liés à la période de finition (Gagaoua *et al.*, 2018b,c,d). L'utilisation simultanée des arbres de décision et de modèles de régression linéaire a mis en relation les données carcasse (état d'engraissement, %Muscle et %tissus adipeux des carcasses) ; muscle (activité isocitrate déshydrogénase, pH24h, Luminance (*L*\*), LIM et collagène total) et période de finition (poids initial à l'entrée en finition, durée de la période de finition, teneur en matière sèche ingérée, % de concentré et % de fourrage), et a mis en évidence leur potentiel pour proposer des outils terrains. Dans une troisième étude, des modèles mixtes ont été proposés pour étudier la relation entre les paramètres de la couleur de la viande de 887 animaux Charolais (différents sexes et expérimentations) avec les covariables liées à l'animal, au muscle et à la carcasse (Gagaoua *et al.*, 2018e). L'âge à l'abattage, l'état d'engraissement et le poids du gras des carcasses ont un rôle important sur la couleur rouge à l'inverse des paramètres liés à la muscularité des carcasses. L'ensemble de ces analyses de métadonnées permet de proposer aux différents acteurs de la filière des recommandations permettant de piloter conjointement les propriétés de carcasses et de viande recherchées.

### IV. PREDICTION DE LA QUALITE SENSORIELLE DE LA VIANDE BOVINE EN EUROPE EN S'INSPIRANT DU SYSTEME MEAT STANDARDS AUSTRALIA

Toujours dans le défi 2, Jean-François Hocquette et Isabelle Legrand de l'Institut de l'Elevage ont présenté un modèle de prédiction de la qualité sensorielle de la viande bovine.

L'Australie utilise un système innovant de prédiction de la qualité en bouche de la viande bovine appelé « Meat Standards Australia » (MSA) pour garantir un niveau de qualité au consommateur et inciter financièrement les opérateurs à modifier leurs pratiques pour améliorer la qualité sensorielle de la viande (revue de Hocquette *et al.*, 2014). Ce modèle combine des facteurs d'amont et d'aval pour prédire

la qualité sensorielle de la viande telle qu'estimée par des consommateurs « naïfs » (les acheteurs réels de viande). Nos travaux ont porté sur plus de 130 000 pièces de viande issues de plus de 400 carcasses et dégustées par plus de 19 000 consommateurs naïfs suite à des études en France (Legrand *et al.*, 2013), Irlande (Allen, 2015), Irlande du Nord (Devlin *et al.*, 2017) ou Pologne (Legrand *et al.*, 2017), pour apprécier la faisabilité et la pertinence d'un tel système en Europe.

Actuellement, le marché Européen de la viande bovine repose sur l'utilisation obligatoire de la grille EUROP pour noter la conformation et l'engraissement des carcasses.



Comme présenté à l'assemblée générale de « Culture viande », aucune relation majeure n'a été observée entre les notes de conformation et d'engraissement des carcasses et la qualité en bouche de la viande (Bonny *et al.*, 2016c).

Contrairement au cas australien, en Europe, nous consommons de la viande issue de bovins de races laitières et de mâles entiers. Les paramètres du système MSA n'expliquent pas complètement les différences de qualité de la viande entre les types de races et les sexes (Bonny *et al.*, 2016a). De plus, lorsqu'un animal vieillit, la viande qu'il produit tend à devenir plus dure. L'âge réel des animaux est enregistré en Europe alors qu'en Australie, la maturité physiologique est estimée à partir du score d'ossification. Nos travaux ont montré que le critère le plus pertinent pour les animaux jeunes en croissance est le score d'ossification alors que c'est l'âge réel pour les animaux âgés tels que les vaches de réforme (Bonny *et al.*, 2016b). Ainsi, des ajustements spécifiques pour les taurillons et les races laitières seraient à introduire dans un modèle européen inspiré du MSA, de même que l'utilisation des deux paramètres âge et ossification.

## V. DES BIOMARQUEURS AUX OUTILS DE PREDICTION DES PERFORMANCES DES RUMINANTS ET DE LA QUALITE DE LEURS PRODUITS

Les recherches dans le défi 2 ont également été illustrées par la présentation de Brigitte Picard., Laurence Bernard, Isabelle Cassar-Malek, Carole Delavaud, Mylène Delosière, Denis Durand, Marie-Pierre Ellies-Oury, Yannick Faulconnier, Dominique Gruffat, Christine Leroux, Anne Lustrat, José Pires et Muriel Bonnet

Un enjeu pour l'alimentation de demain est de disposer de ruminants multi-performants, c'est-à-dire efficaces pour la transformation d'un large spectre de ressources alimentaires, adaptables à des environnements changeants et productifs en termes de quantité et qualité. Aussi, nos recherches ont pour objectifs de proposer aux filières des outils essentiellement basés sur la quantification de molécules pour mesurer et/ou prédire des phénotypes liés à la multi-performance. Une première étape a consisté, à partir de méthodes ciblées (chromatographie, enzymologie, immunologie...) ou sans *a priori* (transcriptomique, protéomique, lipidomique) appliquées à des tissus (muscle, tissu adipeux, glande mammaire) ou des fluides biologiques (plasma, lait, liquide ruminal), à comparer des ruminants très divergents pour identifier des protéines, des ARNm, des miARN ou des acides gras (AG) potentiellement marqueurs des qualités du lait, de la viande, de l'efficacité alimentaire, ou des capacités d'adaptations. La deuxième étape a permis de quantifier la relation entre phénotype moléculaire et phénotype animal grâce à des méthodes haut débit comme la spectroscopie

## VI. MODELISATION DE L'ATELIER D'ENGRASSEMENT PORCIN POUR PREDIRE SES RESULTATS ECONOMIQUES ET SES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

Florence Garcia-Launay et ses collaborateurs de l'INRA et de l'IFIP (Alice Cadéro, Alexia Aubry, Ludovic Brossard, Jean-Yves Dourmad, Yvon Salaun) ont présenté un travail s'inscrivant dans le défi 2 mais concernant les systèmes d'élevage et intitulé « Modélisation de l'atelier d'engraissement porcin pour prédire ses résultats économiques et ses impacts environnementaux ».

Concernant les consommateurs européens, il n'y a pas d'effet majeur de leurs caractéristiques sociologiques sur l'évaluation de la qualité de la viande. En effet, le poids relatif de la tendreté, de l'appréciation de la saveur, de la jutosité et de l'appréciation globale dans le score synthétique de qualité est comparable entre les groupes sociologiques étudiés. De plus, par rapport à une viande moyenne, les consommateurs sont prêts à payer 1,5 fois plus cher pour une viande de très bonne qualité et jusqu'à 2 fois plus pour une viande exceptionnelle (Bonny *et al.*, 2017).

La société Beauvallet de Limoges s'appuie sur certains facteurs majeurs du modèle MSA (persillé, suspension pelvienne des carcasses et maturation) pour promouvoir sa marque « Or Rouge » récemment créée, qui met en avant une viande tendre et goûteuse.

En conclusion, un système de prédiction de la qualité en bouche de la viande bovine similaire au système MSA serait pertinent en Europe pour mieux satisfaire les consommateurs et générer une plus-value pour la filière et notamment les éleveurs.

proche infra-rouge (SPIR) ou des puces protéiques (Reverse Phase Protein Array). Ainsi, des premières équations de prédiction ont pu être proposées. Par exemple, la tendreté et l'adiposité d'une carcasse bovine peuvent être prédites à partir de 4 protéines musculaires et 2 paramètres zootechniques (80% de prédictions correctes) (Picard *et al.*, 2017). De même, des équations basées sur la SPIR prédisent la teneur en collagène, en lipides intramusculaires, ou la composition en AG majeurs des viandes et leur susceptibilité à la peroxydation ( $R^2$  supérieur à 0,8 et 0,9 pour les AG saturés / monoinsaturés et les AGPI totaux respectivement, Mourot *et al.*, 2015). La dernière étape initiée concerne le développement d'outils rapides, faciles d'utilisation, peu coûteux destinés aux professionnels. Ils sont basés sur la quantification de molécules par différentes méthodes de type microfluidique, biopuce ou SPIR, mais aussi sur l'analyse d'image (Meunier *et al.*, 2014), pour évaluer les caractéristiques ciblées de l'animal ou du produit. Ces outils seront à valider comparativement à des méthodes de référence en cours de développement telles que la spectrométrie de masse ciblée sur les protéines (Delavaud *et al.*, 2016). Dans la continuité, ces outils seront utilisés pour évaluer l'impact de nouvelles pratiques d'élevage sur l'efficacité des ruminants producteurs. Enfin, l'intégration des connaissances par des méthodes statistiques multivariées (Ellies *et al.*, 2016) sera essentielle pour quantifier les compromis entre performances et qualités selon les conduites d'élevage.

Les ateliers d'engraissement porcins doivent réduire leurs impacts environnementaux. Une piste d'amélioration réside dans la conduite individuelle, en particulier pour programmer les départs à l'abattoir. Les chercheurs ont développé un modèle capable i) de simuler les performances individuelles des porcs en interaction avec les pratiques de l'éleveur et la

conduite de l'élevage et ii) d'évaluer les résultats techniques, économiques et environnementaux de l'atelier (Cadéro *et al.*, 2017). Les pratiques représentées dans le modèle ont été choisies à partir d'enquêtes en élevage (conduite en bandes, pratiques d'allotement et d'alimentation, pratiques de départ à l'abattoir et de gestion des porcs les plus légers). Un modèle individu-centré a été adapté du modèle InraPorc®. Les impacts environnementaux ont été calculés à partir des résultats de chaque porc par Analyse de Cycle de Vie. Le modèle a été étudié avec i) 8 simulations visant à évaluer l'intérêt de l'approche individu-centré pour estimer les résultats de l'atelier (Cadéro *et al.*, 2018a) et ii) une évaluation par comparaison entre valeurs prédites et observées dans 21 ateliers d'engraissement (Cadéro *et al.*, 2018b). Les simulations avec variabilité inter-individus reproduisent mieux le fonctionnement de l'atelier, en particulier pour le

## CONCLUSIONS

Comprendre les mécanismes biologiques contrôlant les qualités sensorielles, nutritionnelles, technologiques et sanitaires des produits carnés nécessite, parmi d'autres, des approches plutôt fondamentales. Cet article illustre ce type d'approches par un exemple qui porte sur la contribution de l'apoptose (ou mort cellulaire) et de l'autophagie dans la transformation *post-mortem* du muscle en viande.

Les études sur le développement et le fonctionnement des tissus ou organes producteurs (notamment le muscle) ont été illustrées par des recherches visant à identifier des molécules clés du dialogue entre tissus et organes et à les relier à des caractéristiques de performances de production, de qualité des produits lait-viande ou à des mécanismes adaptatifs.

Le développement d'outils de prévision des qualités des viandes en lien avec les pratiques d'élevage a été illustré par l'analyse de bases de données collectives. Dans le premier exemple, il s'agit d'une base de données françaises dont l'objectif est l'étude du continuum « carcasse – muscle – viande » pour une gestion optimale des qualités des viandes bovines par les pratiques d'élevage. Dans le second exemple,

## Remerciements :

La direction du département PHASE tient à remercier l'ensemble des chercheurs qui ont contribué au succès des journées d'animation scientifique 2018, dans leur ensemble, ainsi que les collègues de la cellule de direction (en particulier J. Sepchat, S. André et V. Binoit) pour la qualité de l'organisation.

## Références :

- Allen P. (2015). Testing the MSA palatability grading scheme on Irish beef. *Viandes et Produits Carnés*, VPC-2015-31-1-5.
- Bernard L., Bonnet M., Delavaud C., Delosière M., Ferlay A., Fougere H., Graulet B. (2018). Milk fat globule in ruminant: Major and minor compounds, nutritional regulation and differences among species. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 120. 1700039, DOI: 10.1002/ejlt.201700039.
- Bonnet M., Tournayre J., Cassar-Malek I. (2016). Integrated data mining of transcriptomic and proteomic datasets to predict the secretome of adipose tissue and muscle in ruminants. *Molecular BioSystems*, 12, 2722-2734.
- Bonny S.P.F., Hocquette J.F., Pethick D.W., Farmer L.J., Legrand I., Wierzbicki J., Allen P., Polkinghorne R.J., Gardner G.E. (2016a). The variation in the eating quality of beef from different sexes and breed classes cannot be completely explained by carcass measurements. *Animal*, 10, 987–995.
- Bonny S.P.F., Pethick D.W., Legrand I., Wierzbicki J., Allen P., Farmer L.J., Polkinghorne R.J., Hocquette J.F., Gardner G.E. (2016b). Ossification score is a better indicator of maturity related changes in eating quality than animal age. *Animal*, 10, 718–728.
- Bonny S.P.F., Pethick D.W., Legrand I., Wierzbicki J., Allen P., Farmer L.J., Polkinghorne R.J., Hocquette J.F., Gardner G.E. (2016c). European conformation and fat scores have no relationship with eating quality. *Animal*, 10, 996–1006.
- Bonny S.P.F., Gardner G.E., Pethick D.W., Legrand I., Wierzbicki J., Allen P., Farmer L.J., Polkinghorne R.J., Hocquette J.F. (2017). Untrained consumer assessment of the eating quality of European beef: 2. Demographic factors have only minor effects on consumer scores and willingness to pay. *Animal*, 11, 1399–1411.
- Cadéro A., Aubry A., Brossard L., Dourmad J.Y., Salaün Y., Garcia-Launay F. (2017). Modélisation des performances technico-économiques et environnementales de l'atelier d'engraissement porcin à l'aide d'un modèle dynamique, mécaniste et stochastique. *Journées de la Recherche Porcine*, 49, p.151-156, Paris, France.

pois d'abattage moyen, le nombre de départs à l'abattoir par bande et la marge de l'atelier. Le modèle a été calibré pour les 21 élevages enquêtés en 6 étapes. L'erreur de prédiction du modèle après calibration est inférieure ou égale à 2% de la moyenne pour le poids moyen d'abattage, le gain moyen quotidien, l'indice de consommation et le taux moyen de muscle des pièces. Le pourcentage de porcs abattus dans la gamme optimale de paiement reste moins bien prédit, en raison d'un manque d'information sur les pratiques d'alimentation et/ou sur la fiabilité de l'estimation du poids de chaque porc par l'éleveur. Ce modèle est en cours d'intégration dans un premier outil d'aide à la décision associé à une base de données de 480 simulations, à destination des conseillers en élevage. Une version future de l'outil permettra de faire directement les simulations souhaitées avec le modèle.

il s'agit d'une base de données européennes exploitée selon la méthodologie du « Meat Standards Australia » mise au point en Australie pour garantir un niveau de qualité sensorielle de la viande bovine au consommateur et inciter financièrement les opérateurs à modifier leurs pratiques pour améliorer cette qualité.

L'identification de biomarqueurs dans des contextes variés doit permettre à terme de disposer d'animaux multi-performants, c'est-à-dire efficaces pour la transformation de ressources alimentaires variées, adaptables à des environnements changeants et produisant des produits de qualité.

Sur les systèmes d'élevage, des recherches sont conduites par des approches de modélisation (notamment en élevage porcin) pour prédire les résultats économiques et les impacts environnementaux des systèmes d'élevage.

La finalité des recherches est de proposer des outils et des méthodes pour prédire quantité et qualité des produits en fonction des conditions de production pour des systèmes alimentaires sains et durables.

- Cadéro A., Aubry A., Brossard L., Dourmad J.Y., Salaün Y., Garcia-Launay F., (2018a). Modelling interactions between farmer practices and fattening pig performances with an individual-based model. *Animal*, 12, 1277-1286.
- Cadéro A., Aubry A., Dourmad J.Y., Salaün Y., Garcia-Launay F. (2018b). Towards a decision support tool with an individual-based model of a pig fattening unit. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147, 44-50.
- Cassar-Malek I., Boby C., Picard B., Reverter Gomez A., Hudson N. (2017a). Molecular regulation of high muscle mass in developing Blonde d'Aquitaine cattle fetuses. *Biology Open*, bio.024950. DOI : 10.1242/bio.024950
- Cassar-Malek I., Delosière, M., Bernard L., Boudon S., Bazile J., Bonnet M. (2017). Quest for low invasive biomarkers of ruminant traits. Presented at Post-genomic era of Molecular Biology: Proteomics ERA II, Zagreb, HRV (2017-11-14 - 2017-11-16).
- Delavaud C., Read T., Pires J., Chilliard Y., Leroux C., Chambon C., Viala D., Pinguet J., Richard D. (2016). Elaboration d'un système de dosage multi-hormonal par spectrométrie de masse afin d'étudier la régulation des hormones impliquées dans la régulation du partage des nutriments chez la vache laitière peripartum. *In: Journées d'Animation des Crédits Incitatifs du Département de Physiologie Animale et Systèmes d'Élevage (JACI Phase 2016)*, Tours, France (2016-04-05 - 2016-04-06). Page 36.
- Delosière M., Cassar-Malek I., Bernard L., Delavaud A., Viala D., Bonnet M. (2017). Development of proteomic methods on milk for ruminant phenotyping. National Congress of Mass Spectrometry, Metabolomic and Proteomic Analyses, Marne-La-Vallée, 03-05/10/2017.
- Devlin D.J., Gault N.F.S., Moss B.W., Tolland E., Tollerton J., Farmer L.J., Gordon A.W. (2017). Factors affecting eating quality of beef. *Advances in Animal Bioscience*, 8, s1, s2-s5.
- Ellies-Oury M.-P., Cantalapiedra-Hijar G., Durand D., Gruffat D., Listrat A., Micol D., Ortigues-Marty I., Hocquette J.-F., Chavent M, Saracco J., Picard B. (2016). An innovative approach combining animal performances, nutritional value and sensory quality of meat. *Meat Science*, 122, 163-172.
- Faulconnier Y., Bernard L., Boby C., Domagalski J., Chilliard Y., Leroux C. (2017). Extruded linseed alone or in combination with fish oil modifies mammary gene expression profiles in lactating goats. *Animal*, 1-12. doi:10.1017/S1751731117002816
- Gagaoua M., Monteils V., Couvreur S., Picard B. (2017a) Identification of biomarkers associated with the rearing practices, carcass characteristics, and beef quality: An integrative approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65, 8264-78.
- Gagaoua M., Picard B., Couvreur S., Le Bec G., Aminot G., Monteils V. (2017b) Rearing practices and carcass and meat properties: a clustering approach in PDO Maine-Anjou cows. *In: Proceedings of the 63<sup>rd</sup> International Congress of Meat Science and Technology* (eds. by Troy D, McDonnell C, Hinds L & Kerry J), pp. 97-8. Wageningen Academic Publishers, Cork, Ireland.
- Gagaoua M., Monteils V., Couvreur S., Picard B. (2018a). Mise en relation des pratiques d'élevage avec les propriétés des carcasses et de la viande. *Viandes et Produits Carnés*, VPC-2018-34-1-4, 1-9.
- Gagaoua, M., Picard, B., Soulat, J. & Monteils, V. (2018b). Clustering of sensory eating qualities of beef: consistencies and differences within carcass, muscle, animal characteristics and rearing factors. *Livestock Science*. 214, 245-258.
- Gagaoua M., Monteils V., Hocquette J-F., Picard B. (2018c). Understanding of beef tenderness variability based on the continuum data using Chemometrics: A proof-of-concept study. *In: Proceedings of the 64<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology*, pp. 1-2. 12<sup>th</sup> to 17<sup>th</sup> August, Melbourne, Australia.
- Gagaoua M., Monteils V., Picard B. (2018d). Chemometrics and supervised learning for cows shear force prediction using the continuum data from farmgate to meat. *In: Proceedings of the 64<sup>th</sup> International Congress of Meat Science and Technology*, pp. 1-2. 12<sup>th</sup> to 17<sup>th</sup> August, Melbourne, Australia.
- Gagaoua M., Picard B., Monteils V. (2018e). Associations among animal, carcass, muscle characteristics, and fresh meat color traits in Charolais cattle. *Meat Science*, 140, 145-56
- García-Macia M., Sierra V., Palanca A., Vega-Naredo I., de Gonzalo-Calvo D., Rodríguez-González S., Oliván M., Coto-Montes A. (2014). Autophagy during beef aging. *Autophagy*, 10, 137-143.
- Guillemin N., Cassar-Malek I., Hocquette J.F., Jurie C., Micol D., Listrat A., Levéziel H., Renand G., Picard B. (2009). La maîtrise de la tendreté de la viande bovine : un futur proche. I. Approche biologique et identification de marqueurs. *INRA Productions Animales*, 22, 331-344.
- Hocquette J.F., Van Wezemael L., Chriki S., Legrand I., Verbeke W., Farmer L., Scollan N.D., Polkinghorne R.J., Rødbotten R., Allen P., Pethick D.W. (2014). Modelling of beef sensory quality for a better prediction of palatability. *Meat Science*, 97, 316-322.
- Kaspric N., Picard B., Reichstadt M., Tournayre J., Bonnet M. (2015). ProteINSIDE to easily investigate proteomics data from ruminants: Application to mine proteome of adipose and muscle tissues in bovine foetuses. *Plos One*, 10 (5), e0128086.
- 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, 524-529.
- Legrand I., Hocquette J.-F., Polkinghorne R.J., Wierzbicki J. (2017). Comment prédire la qualité de la viande bovine en Europe en s'inspirant du système australien MSA? *Innovations Agronomiques*, 55, 171-182.
- Meunier B., Bonnet M., Picard B., Ortigues I., Agabriel J., De La Torre Capitan A., Sepchat B., Micol D. (2014). L'imagerie appliquée a la mesure de composition en tissus de la 6<sup>ème</sup> côte du bovin. *In: 15<sup>èmes</sup> Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes*. Viandes et Produits Carnés, Numéro hors série, p. 119-120.
- Mobuchon L., Marthey S., Le Guillou S., Laloë D., Le Provost F., Leroux C. (2015). Food deprivation affects the miRNome in the lactating goat mammary gland. *PLoS One*, 10(10):e0140111. doi: 10.1371/journal.pone.0140111
- Mourot B.P., Gruffat D., Durand D. (2015). Breeds and muscle types modulate performance of Near-Infrared Reflectance Spectroscopy to predict the fatty acid composition of bovine meat. *Meat Science*, 99, 104-112.
- Ouali A., Gagaoua M., Boudida Y., Becila S., Boudjellal A., Herrera-Mendez C.H., Sentandreu M.A. (2013). Biomarkers of meat tenderness: present knowledge and perspectives in regards to our current understanding of the mechanisms involved. *Meat Science*, 95, 854-70.
- Pawlowski K., Leroux C., Faulconnier Y., Boby C., De La Foye A., Durand D., Pires J. (2016). Liver transcriptome modifications by nutrient restriction in early lactation Holstein cows challenged with intramammary lipopolysaccharide. *In: 2016 JAM, Joint Annual Meeting "Animals and Science: Big Solutions for Grand Challenges"* (p. 58-59). Salt Lake City, USA (2016-07-19 - 2016-07-23). *Journal of Animal Science*, 94.
- Picard B., Al Jammal M., Ellies-Oury M.-P., Gagaoua M., Couvreur S., Pécot M., Aminot G., De Koning L., Valais A., Bonnet M. (2017) Biomarkers of tenderness and intramuscular fat in five muscles from French PDO Maine-Anjou: I- Muscle type effect. *In: Proceedings of the 63<sup>rd</sup> International Congress of Meat Science and Technology* (eds. by Troy D, McDonnell C, Hinds L & Kerry J), pp. 427-428. Wageningen Academic Publishers, Cork, Ireland. DOI: 10.3920/978-90-8686-860-5
- Picard B., Gagaoua M. (2017). Chapter 11 - Proteomic Investigations of Beef Tenderness. *In Proteomics in Food Science: From Farm to Fork*. Editor: Michelle L Colgrave. pp. 177-97. Academic Press. Doi: 10.1016/B978-0-12-804007-2.00011-4
- Pires J., Chilliard Y., Delavaud C., Rouel J., Pomiès D., Blanc F. (2015). Physiological adaptations and ovarian cyclicity of Holstein and Montbéliarde cows under two low-input production systems. *Animal*, 9, 1986-1995.
- Tournayre J., Cassar-Malek, I., Reichstadt, M., Picard B., Kaspric, N. Bonnet M. (2015). Fat&MuscleDB: A database to understand tissue growth processes contributing to body or muscle composition. Presented at JOBIM 2015 - Journées Ouvertes Biologie Informatique Mathématiques, Clermont-Ferrand, FRA (2015-07-06 - 2015-07-09).