



HAL
open science

Métabolisme protéino-énergétique chez l'oiseau : Mise en place, Régulations et Conséquences sur la robustesse et les performances des animaux

Sonia Metayer-Coustard

► To cite this version:

Sonia Metayer-Coustard. Métabolisme protéino-énergétique chez l'oiseau : Mise en place, Régulations et Conséquences sur la robustesse et les performances des animaux. Sciences du Vivant [q-bio]. Université de Tours, 2022. tel-04121364

HAL Id: tel-04121364

<https://hal.inrae.fr/tel-04121364>

Submitted on 7 Jun 2023

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

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

HABILITATION À DIRIGER DES RECHERCHES

Discipline Sciences de la Vie et de la Santé

Année universitaire : 2021 / 2022

présentée et soutenue publiquement par :

Mme METAYER COUSTARD Sonia

23 Novembre 2022

JURY :

Mme Isabelle LOUVEAU	Chargée de Recherche, HDR	INRAE, St Gilles
M. Thierry MOREAU	Professeur des universités	Université de Tours
M. Vincent OLLENDORFF	Chargé de Recherche, HDR	INRAE-Université de Montpellier
M. Stéphane PANSERAT	Directeur de Recherche	INRAE-Université de Pau et des Pays de l'Adour
M. Sergio POLAKOF	Directeur de Recherche	INRAE-Université Clermont Auvergne
Mme Sophie TESSERAUD	Directeur de Recherche	INRAE-Université de Tours

Table des matières

Table des matières	1
Remerciements	3
Curriculum Vitae	5
AVANT-PROPOS	8
POSITIONNEMENT DE MES RECHERCHES DANS LE CADRE DE L'ÉQUIPE MOQA ET DE L'UMR BIOLOGIE DES OISEAUX ET AVICULTURE (BOA)	9
I. Positionnement de mes recherches au sein de l'équipe MOQA	9
II. Positionnement de mes recherches au sein de l'UMR BOA	10
CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE ET ENJEUX SCIENTIFIQUES	12
I. Evolution de la consommation de viande de volaille	12
II. Production de viande de volaille	13
III. Etat de l'art	14
BILAN D'ACTIVITE (2006 - 2022)	16
I. Recherche et caractérisation des transporteurs de glucose (GLUTs) chez l'oiseau	16
II. Mécanismes de contrôle du glycogène musculaire et qualité des viandes	22
1. Régulation nutritionnelle	22
2. Régulation environnementale	24
3. Composante génétique	25
RECHERCHES ACTUELLES ET PERSPECTIVES	29
I. Programmation métabolique précoce et élaboration du phénotype des animaux : mécanismes impliqués et recherche de leviers pour réorienter précocement le métabolisme	29
II. Identification d'indicateurs et de biomarqueurs de la qualité du poussin	38
CONCLUSION	41
REFERENCES	42
RÉSEAUX DE RECHERCHE ET DE COLLABORATIONS	45
I. Collaborations au sein de l'unité ou de INRAE	45
1. Au sein de l'équipe MOQA	45
2. Au sein de l'UMR BOA	45
3. Collaborations INRAE	45
II. Collaborations nationales et internationales non-INRAE	46
ACTIVITÉS ET RESPONSABILITES COLLECTIVES	48
I. Activité d'animation	48
II. Activités collectives dans l'UMR BOA	48
ACTIVITÉS D'ENCADREMENT ET D'ENSEIGNEMENT	50
I. Activités d'encadrement	50

1.	Doctorat _____	50
2.	Contribution à la formation de doctorants de l'équipe et de l'unité _____	50
3.	Masters _____	50
4.	BTS et IUT _____	51
5.	Ecole d'ingénieur _____	51
II. Membre de comité de thèse _____		52
III. Activité d'enseignement _____		52
IV. Participation à des jurys _____		53
LISTE DES CONTRATS ET OBTENTION DE FINANCEMENTS _____		54
I. Projets institutionnels _____		54
II. Projets ANR _____		54
III. Crédits incitatifs du département PHASE _____		54
IV. Contrats de recherche avec un partenaire privé _____		55
V. Projets de Recherche d'Intérêt Régional (APR IR) _____		55
VI. Liste non exhaustive de projets déposés ces dernières années mais non retenus _____		55
1.	Appel à projets générique (AAPG) ANR _____	56
2.	Appel à projets European Research Area on Sustainable Animal Production Systems SusAn (ERA NET SusAn) _____	56
3.	Appel à projets USDA _____	56
4.	Appel à Projets institutionnels _____	57
5.	Appel à manifestations d'intérêt pour des projets collaboratifs _____	57
PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS _____		58
I. Etude bibliométrique _____		58
1.	Distribution des publications entre 2000 et 2022 _____	58
2.	Classification des publications selon leur impact factor _____	58
3.	Notoriété des revues et indicateurs d'articles _____	58
II. Liste de Publications _____		59
III. Communications dans des congrès nationaux et internationaux _____		64
1.	Communications orales invitées _____	64
2.	Communications orales _____	66
3.	Présentations affichées _____	70

Remerciements

Je voudrais adresser mes plus sincères remerciements aux membres du jury qui ont accepté avec enthousiasme de participer au jury de soutenance de mon Habilitation à Diriger des Recherches. L'expertise et la complémentarité de chacun promet une discussion des plus intéressantes.

Si je reviens un peu en arrière, je tiens à remercier très chaleureusement Jean-Louis Dacheux et Jean-Luc Gatti qui m'ont transmis leur passion pour la Recherche et ont su même après ma thèse se rendre disponibles pour m'accompagner et me soutenir dans mon parcours professionnel.

J'exprime mes plus vifs remerciements à Sophie Tesseraud, sans qui, j'en suis convaincue, je n'aurais pas rejoint l'UMR BOA, comme quoi la persévérance paye. Une fameuse sortie de piscine restera à jamais dans ma mémoire[^]

Je n'oublierai pas de remercier Cécile Berri et Anne Collin, qui comme Sophie, m'ont accueilli au sein de l'équipe avec bienveillance et gentillesse et avec lesquels les échanges aux quotidiens sont riches et fructueux. Mon parcours a été parsemé de très belles rencontres qui m'ont permis au fil du temps de tisser des liens et des collaborations qui ont conduit à un travail dont je suis fière aujourd'hui. Je n'oublierai pas de mentionner ainsi Michel Picard, Sabine Crochet, Marie-Thérèse Durand et Michel Derouet alliés des premières heures dans un début de carrière parfois compliqué.

Le départ des uns a permis l'arrivée des autres. J'ai ainsi pu faire la rencontre de nouveaux partenaires de paillasse ou de chantiers comme Estelle Cailleau-Audouin ou Thierry Bordeau, dont l'investissement, les compétences et les expertises ont été essentielles au bon déroulé de mon projet de recherche. Je n'oublie pas de remercier tous les autres membres de l'équipe MOQA qui sont d'un indéfectible soutien au quotidien et qui chacun à leur manière apporte leur pierre à l'édifice. Merci à toute l'UMR BOA et l'unité UE-PEAT, et notamment toutes les personnes avec qui j'ai collaboré, qui m'ont apporté leur aide et leur expertise.

Un grand merci à Edouard Coudert, mon premier doctorant, zen pour deux, dont la contribution aux travaux présentés dans ce rapport est essentielle et majeure, à Angélique Petit qui a dignement pris la relève et à tous les stagiaires qui ont apporté leur pierre à cet édifice de connaissances et ont contribué à des avancées majeures.

Merci à ma famille pour leur patience, leur soutien indéfectible au quotidien et leurs encouragements !

Liste des abréviations et acronymes

AAPG : Appel A Projets Générique
AQSeI : Adaptation, Qualité et Sélection
AlISE : Alimentation et systèmes d'élevage
AMI : Appel à Manifestation d'Intérêt
AMPK : AMP-activated protein Kinase
ANR : Agence Nationale de la Recherche
APR IR : Appel à Projets d'Intérêt Régional
ASTER : Aviculture, Système et TERritoire
UMT « BECOME » : Unité Mixte Technologique « Bien-être, Eleveurs, COnsommateurs, MarchEs »
BOA : Biologie des Oiseaux et Aviculture
CSE : Cellule souche embryonnaire
DOVE : Défenses de l'œuf, Valorisation, Evolution
GCR : Gonade, Conservation, Régénération
GLUT : Transporteur de glucose
GS : Glycogène synthase
GSK3 : Glycogène synthase kinase
ISP : Infectiologie, Santé Publique
ITAB : Institut Technique de l'Agriculture Biologique
ITAVI : Institut Technique de l'Aviculture
MOQA : Métabolisme, Qualité, Adaptation
PEGASE : Physiologie, Environnement et Génétique pour l'Animal et les Systèmes d'Élevage
PG : Potentiel Glycolytique
pHu : pH Ultime
PEPR : Programmes et Equipements Prioritaires de Recherche
PRC : Physiologie de la Reproduction et des Comportements
PST-ASB : Plateforme Scientifique et Technique-Analyse des Systèmes Biologiques
PYGM : Glycogène phosphorylase
RMN : Résonance Magnétique Nucléaire
SENsOr : Senseurs énergétiques et signalisation de la reproduction
SYSAAF : Syndicat des Sélectionneurs Avicoles et Aquacoles Français
UE-PEAT : Unité Expérimentale – Pôle d'Expérimentation Avicole de Tours
UMR : Unité Mixte de Recherche
UMT : Unité Mixte Technologique
USDA : United States Department of Agriculture, Département de l'Agriculture des Etats-Unis

Curriculum Vitae

METAYER-COUSTARD Sonia

Née le 11 novembre 1975

✉ Le Pont Clouet
37230 Saint Etienne de Chigny
☎ Professionnel 02 47 42 75 31
Personnel 02 47 40 78 28
Portable 06 66 17 65 08
💻 sonia.metayer-coustard@inrae.fr

Mariée
2 enfants

Diplômes

- 2001** *Doctorat en Sciences de la Vie, Université de Tours*, soutenue le 14 décembre 2001. Mention très honorable et félicitations du jury.
- 1998** *DEA de Physiologie de la Reproduction*, Université Paris VI.
- 1997** *Maîtrise de Biologie Cellulaire et Physiologie*, mention « Physiologie Animale », Faculté des Sciences et Techniques de Tours.
- 1996** *Licence de Biologie*, mention « Biologie Cellulaire et Physiologie », Faculté des Sciences et Techniques de Tours.
- 1995** *DEUG B – Sciences de la Nature et de la Vie*, Faculté des Sciences et Techniques de Tours.
- 1993** *Baccalauréat série C.*

Carrière scientifique et mobilité

- 2010** *Chargée de Recherches 1^{ère} classe.*
- 2007** *Mission longue durée INRA* (9 mois), Département de Physiologie Intégrative du Karolinska Institutet (Stockholm, Suède).
- 2006** *Chargée de Recherches 2^{ème} classe* sur le profil « Mécanismes régulant l'utilisation périphérique du glucose ». Affectation : UR83, INRA, Nouzilly (FRA).
- 2005** *Ingénieure de Recherches* dans le cadre d'un contrat avec ADISSEO. UR83, INRA, Nouzilly (FRA).
- 2001** *Ingénieure d'Etudes*, responsable scientifique des études concernant les interactions Nutrition-Reproduction dans le cadre du projet européen Broiler Breeder Paradox (BBP). UR83, INRA, Nouzilly (FRA).

Stages et expériences

- 2005** Stage post-doctoral. Sujet d'étude « *Rôle des acides aminés soufrés dans le métabolisme protéique* ». Equipe « Croissance et Métabolisme », UR83, INRA Nouzilly.
- 2001** Stage post-doctoral, responsable scientifique des études concernant les interactions Nutrition-Reproduction dans le cadre du projet européen Broiler Breeder Paradox (BBP). 35 mois. Equipe Nutrition et Métabolisme des Oiseaux, Station de Recherches Avicoles (SRA), INRA Nouzilly.
- 1998** Thèse en Sciences de la Vie « *Protéome épидidymaire : mise en évidence de protéases et rôle dans la maturation post-gonadique des spermatozoïdes* », soutenue en 2001. Equipe Gamète Mâle et Fertilité, Unité de Physiologie de la Reproduction et des Comportements (PRC), INRA Nouzilly.

- 1997 Stage de DEA de Physiologie de la Reproduction « **Etude de l'enzyme de conversion de l'angiotensine I dans le tractus génital de bélier, caractérisation enzymologique et analyse du mécanisme de sa libération** ». Equipe Gamète Mâle et Fertilité, Unité de Physiologie de la Reproduction et des Comportements (PRC), INRA Nouzilly.
- 1997 Stage de maîtrise « **Biosynthèse In Vitro de Protéines du Fluide Epididymaire chez le Cheval** ». Equipe Gamète Mâle et Fertilité, Unité de Physiologie de la Reproduction et des Comportements (PRC), INRA Nouzilly.

Formations post-recrutement

- 2022 Formation « **Lecteur Clariostar BMG et logiciel Mars** », 1 jour, INRAE Centre Val de Loire, Nouzilly.
- 2022 « **Rendez-vous Compétences : Remise à niveau Ethique et réglementation** », 2 heures. INRAE Centre Val de Loire, Nouzilly.
- 2021 Formation « **Sharepoint** », 1 jour, INRAE Centre Val de Loire, Nouzilly.
- 2021 Formation « **Zotero** », 2 heures, INRAE Centre Val de Loire, Nouzilly.
- 2021 « **Rendez-vous Compétences : La réhabilitation des animaux expérimentaux** », 2 heures. INRAE Centre Val de Loire, Nouzilly.
- 2021 Ecole des Doctorants et des Encadrants d'INRAE « **EDEN 21** », 4 jours, Satillieu, Ardèche.
- 2021 Formation « **Les 5 essentiels de la conduite de projet-2021** », CSP DOCENDI, 2 jours, Formation en ligne.
- 2020 Formation « **Biostatistiques** », 1 jour, organisée par le CNRS, en distanciel.
- 2019 Ecole technique « **Ethologie et bien-être en expérimentation animale** » 3 jours, Dienné, Poitou Charentes.
- 2017 Formation « **Bonnes pratiques d'hygiène et de fabrication dans un atelier de découpe de volailles. Maîtrise et gestion de la sécurité sanitaire des denrées alimentaires** », 1 jour, INRA Centre Val de Loire, Nouzilly.
- 2017 Formation « **L'œuf et l'embryon d'oiseau, bases théoriques et approches techniques pour le développement de modèles biologiques** » 1 jour, INRA Centre Val de Loire, Nouzilly.
- 2017 Formation « **Amélioration des attitudes physiques au poste de travail, prévention des risques liés à la manutention manuelle et aux gestes répétitifs** », 1 jour, organisé par UDEL/ Entreprise et formation, INRA Centre Val de Loire, Nouzilly.
- 2016 Formation « **Analyseur ARENA 20XT** », 4 jours, INRA Centre Val de Loire, Nouzilly.
- 2016 Ecole-chercheurs « **Nutrition périnatale : Enjeux et conséquences pour l'alimentation humaine et les pratiques d'élevage** », 4 jours, Lyon.
- 2014 Formation Application « **Protéomique, Phénotypage cellulaire et Imagerie Moléculaire** » (32 heures), INRA Nouzilly.
- 2014 Recyclage « **Prévention des risques radiologiques- Enseignement et recherche : sources non scellées** » 0,5 jour, INRA Nouzilly.
- 2013 Stage « **Analyse de la Qualité du poussin selon la grille Chick quality score** », 0,5 jour, INRA Nouzilly.
- 2013 Formation « **Phylogénie** », 1 jour, INRA Nouzilly.
- 2012 Formation « **Sensibilisation à l'hygiène alimentaire** », 3 heures, INRA Centre Val de Loire, Nouzilly.

- 2011 Formation « **Analyses statistiques OPTIMA** », 3 jours,
- 2008 Formation spéciale à « **L'Expérimentation Animale - niveau 1** » GRETA (70 heures), Vendôme.
- 2007 Ecole-chercheurs « **Stratégies et aspects pratiques de la préparation à l'identification des protéines** », 5 jours, Bois d'Amont, Haut Jura.

Activités d'enseignement et de formation

- 2019 Participation à la préparation d'une formation « **L'œuf embryonné aviaire. Bases théoriques et techniques d'inoculation et de prélèvement pour l'étude des interactions œuf/embryon et œuf/pathogène et le développement de modèles biologiques.** » *Intervention* : **S. Métayer Coustard** : Nutrition *in ovo*, une nouvelle stratégie alimentaire précoce au service de la production avicole.
- Depuis 2012- : Intervention en Master M2 Physiopathologies de Tours sur les « **Techniques d'étude du kinome et du phosphoprotéome** » dans le cadre de l'UE TC1 Signalisation Cellulaire et Techniques Associées du Master Sciences de la Vie et de la Santé de l'Université de Tours (2h de cours/an).

Contrats et Projets coordonnés

- 2018-2022 Projets « Recherche Technologique » CASDAR RT (42 mois) « **Chick'Tip, Un monitoring précoce de la qualité des poussins pour une production avicole plus durable** ».
- 2017 Crédit Incitatif PHASE 2017 « **INOVE : Recherche d'INDicateurs *in OVo* du statut Energétique de l'animal pour des applications en sélection et en élevage** ».
- 2013 Crédit Incitatif EMERGENCE PHASE 2013 « **Modification environnementale nutritionnelle précoce de l'embryon et impact sur l'élaboration des phénotypes à long terme** ».

Contributions collectives

- 2016 et 2020 Membre élue du **Conseil Scientifique du Département PHASE** (2 mandats de 4 ans)
- 2018 Membre du **Comité Scientifique du congrès IFRG-PDP de la WPSA** (Incubation and Fertility Research Group Fundamental Physiology and Perinatal Development in Poultry), participation à l'organisation du congrès du 28 au 30 août 2019, Tours.
- 2017 Membre de l'**UMT BIRD 3.0** « Aviculture Système et Territoire ».
- 2016 **25e Edition de la Fête de la Science**, INRA Centre Val de Loire, Nouzilly. Participation au stand « Chaud devant ! Comment améliorer la tolérance à la chaleur des poulets ? » (15-16 octobre 2016).
- 2012 Membre élue du **Conseil Scientifique du Centre INRA Val de Loire** (mandat de 4 ans).
- 2008 Membre des groupes assurance qualité « **Traçabilité des activités et échantillons** » et « **Produits et Réactifs** » (2 ans).
- 2006 Membre élue au **conseil de service de l'URA** (2 mandats de 2 ans).
- 2004 Participation à l'organisation du **séminaire Broiler Breeder Paradox** dans le cadre du congrès XXIIth World's Poultry Congress. Istanbul, Turquie, 8-13 juin 2004.
- 2002 Participation à l'organisation du congrès « **Joint European Winter Conference on Reproduction** », Tours, 19-21 décembre 2002.

AVANT-PROPOS

Après l'obtention de ma thèse en Sciences de la Vie en 2001 sur une thématique relevant de la Physiologie de la Reproduction, j'ai rejoint l'UMR BOA Biologie des Oiseaux et Aviculture (ex-URA) fin 2001, dans le cadre d'un projet Européen « Broiler Breeder Paradox ». Ce projet visait à étudier et comprendre, chez l'oiseau, les interactions « Nutrition-Reproduction » afin de trouver des alternatives aux restrictions alimentaires qui sont appliquées aux reproductrices. Ce projet m'a permis d'acquérir des connaissances et des compétences dans le domaine de la Recherche Avicole, de la Nutrition, du Métabolisme et de la Reproduction chez l'oiseau.

Suite à ce projet, j'ai étudié *in vitro* les effets de la méthionine et de ses différentes formes (isoformes, analogues et métabolites) sur le métabolisme protéique musculaire chez l'oiseau. Cette expérience a renforcé mes connaissances en métabolisme et signalisation cellulaire. J'ai été recrutée comme chargée de recherches en 2006 sur un profil dont l'objectif était de comprendre, chez les espèces aviaires, les mécanismes contrôlant l'utilisation périphérique du glucose depuis l'apport d'énergie à un muscle sous forme de glucose, le transport de glucose jusqu'à son utilisation par le muscle. J'ai commencé par rejoindre, pour une durée de neuf mois, le laboratoire dirigé par le professeur Juleen Zierath (Department of Molecular Medicine and Surgery, Karolinska Institutet, Suède) pour développer et renforcer les compétences nécessaires au développement de mon projet de recherche, et établir des connexions internationales avec des personnes compétentes dans mon domaine d'intérêt. Ce séjour m'a permis d'approfondir l'étude du métabolisme glucidique, ses régulations et ses dysfonctionnements, comme par exemple dans les cas d'insulino-résistance au niveau musculaire, caractéristique que l'on retrouve naturellement chez l'Oiseau.

Avec ce socle de connaissances et de compétences, j'ai pu aborder et développer mon projet de recherche au sein de l'équipe MOQA (Métabolisme des Oiseaux, Qualité et Adaptation) à l'UMR BOA.

POSITIONNEMENT DE MES RECHERCHES DANS LE CADRE DE L'ÉQUIPE MOQA ET DE L'UMR BIOLOGIE DES OISEAUX ET AVICULTURE (BOA)

I. Positionnement de mes recherches au sein de l'équipe MOQA

Les travaux de l'équipe MOQA (Métabolisme des Oiseaux, Qualité et Adaptation) visent à améliorer les connaissances sur les mécanismes contrôlant la croissance et le métabolisme pour maîtriser le développement de l'animal, sa composition corporelle, la qualité de sa viande et améliorer ses capacités d'adaptation aux conditions d'élevage. *In fine*, ces études contribuent à améliorer la santé et le bien-être des animaux tout en assurant la qualité de la production de volailles de chair. Ces travaux reposent sur un collectif caractérisé par des compétences très complémentaires (**Figure 1**).

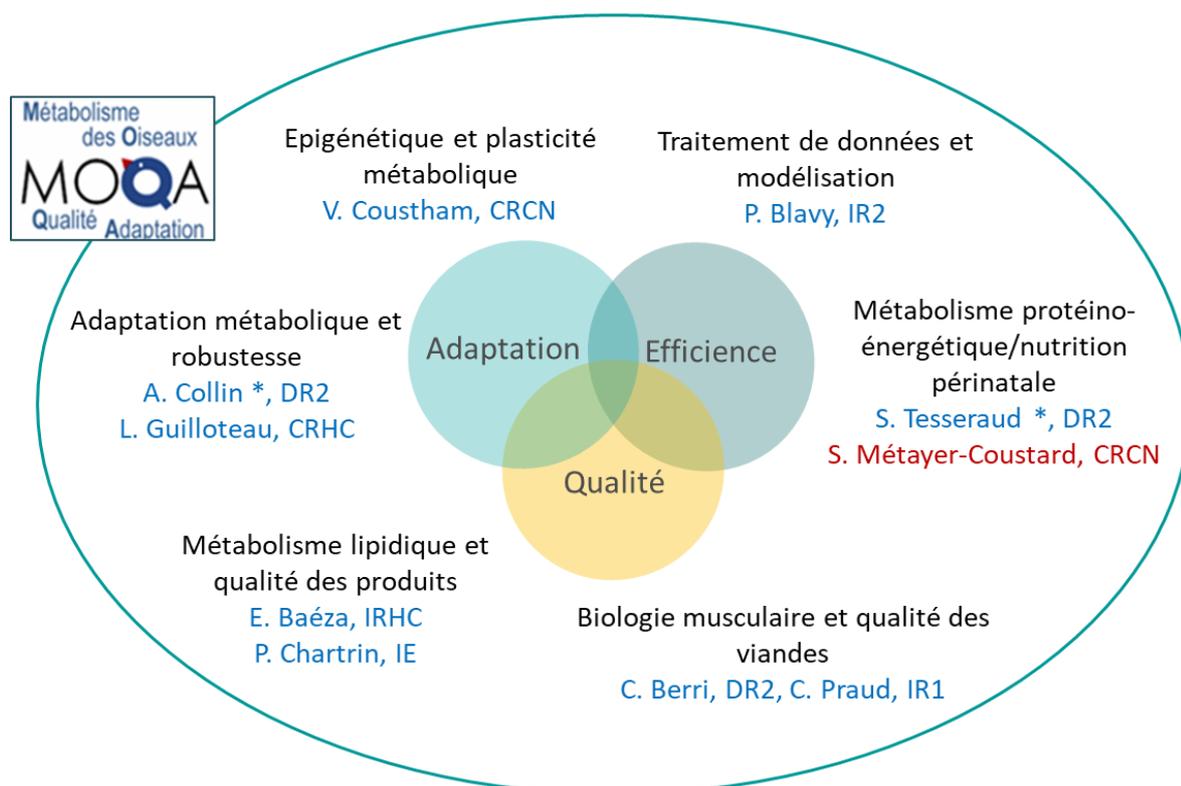


Figure 1 : Organigramme fonctionnel de l'équipe MOQA en 2021. * : Animatrices de l'équipe.

L'activité de l'équipe se structure autour de l'étude des métabolismes énergétique et protéique et de la biologie du muscle, au travers d'études moléculaires ciblées et à haut débit menées *in vivo* et *in vitro* sur la régulation de l'expression des gènes, de voies de signalisation intracellulaires et de paramètres

métaboliques ou hormonaux dont les variations régulent les phénotypes d'intérêt. Plus récemment et grâce à l'arrivée dans l'équipe de P. Blavy (IR en Modélisation et Biologie Intégrative), nous commençons à intégrer la biologie prédictive et la modélisation dans nos recherches.

Au sein de ce collectif, mes travaux concernent plus particulièrement les mécanismes régulant l'utilisation périphérique du glucose, ou son stockage sous forme de glycogène chez l'oiseau et plus largement le métabolisme protéino-énergétique. Plus précisément, l'objectif de mon travail de recherche au sein de l'équipe MOQA vise à comprendre chez les espèces aviaires les mécanismes contrôlant l'utilisation périphérique du glucose depuis le transport de glucose jusqu'à son utilisation par le muscle ou son stockage sous forme de glycogène. La recherche et la caractérisation d'un transporteur insulino-sensible de glucose chez les oiseaux a constitué mon premier axe de recherche, puisque chez les mammifères c'est un élément clé de régulation du métabolisme glucidique et que chez les oiseaux son existence restait controversée. Dans un second axe de recherche de ma thématique, je cherche à comprendre les interactions entre nutriments et programmation métabolique chez l'oiseau notamment dans la période périnatale, pendant laquelle les animaux présentent une plasticité métabolique. Mieux comprendre l'utilisation des nutriments par l'animal pendant la période périnatale et les conséquences à plus long terme permettrait d'identifier des facteurs qui serviraient de levier pour améliorer la qualité du poussin au démarrage, augmenter l'efficacité de son métabolisme et obtenir des animaux plus robustes pouvant s'adapter à des conditions d'élevage fluctuantes tout en favorisant l'élaboration de produits de qualité.

II. Positionnement de mes recherches au sein de l'UMR BOA

En termes de finalités, l'UMR BOA propose et évalue des innovations pour l'élevage et la sélection qui contribuent au développement de systèmes avicoles durables et à une alimentation de qualité. Les travaux de l'équipe MOQA y contribuent par la recherche d'un développement harmonieux des volailles, visant *in fine* la santé, le bien-être des animaux et la qualité de la viande. Ceci implique de mieux comprendre les équilibres entre fonctions de production, d'adaptation et de qualité des produits et d'évaluer les réponses multiples des animaux dans des environnements d'élevage de plus en plus diversifiés. C'est dans ce contexte que l'unité développe depuis plusieurs années des travaux visant à identifier de nouveaux indicateurs ou biomarqueurs d'intérêt avec un investissement croissant dans le phénotypage à haut débit. Les enjeux sont de mieux comprendre et modéliser les profils de réponse des animaux à différents stades de leur vie, afin d'évaluer les possibilités de programmation précoce des phénotypes et l'impact de changements de pratiques (variations alimentaires, accès à l'extérieur, etc.). Grâce aux compétences en biologie, aux approches permettant l'étude des caractères à

différents niveaux d'organisation (du gène au phénotype) et aux modèles animaux originaux, l'UMR BOA apporte les nombreuses connaissances et données nécessaires aux approches de biologie prédictive. L'expertise détenue par l'UMR BOA sur le modèle oiseau, ses compétences multiples en physiologie (nutrition, métabolisme, adaptation) et génétique, sa maîtrise des approches à haut-débit, associées à un environnement scientifique, technique et expérimental favorable, lui permettent d'aborder les questions scientifiques de manière intégrée et ainsi d'avoir une compréhension globale des systèmes et une meilleure appréhension des interactions entre les différentes fonctions animales.

Dans ce cadre, mes travaux, très concentrés initialement sur les objectifs premiers de l'équipe MOQA (croissance et qualité des produits) ont évolué. Ils ont pris une dimension plus large puisqu'aujourd'hui les projets que je coordonne (INOVE, Chick'Tip...) ou auxquels je participe, fédèrent souvent l'ensemble des équipes de l'unité afin de mieux comprendre les équilibres et compromis entre fonctions de production, adaptation et qualité des produits. Les collaborations avec les autres équipes de l'unité se sont ainsi renforcées au fil du temps afin de répondre aux orientations actuelles des recherches de l'unité. Les principales interactions que j'ai développées avec les 3 équipes actuelles de l'unité sont précisées dans la **Figure 2**.

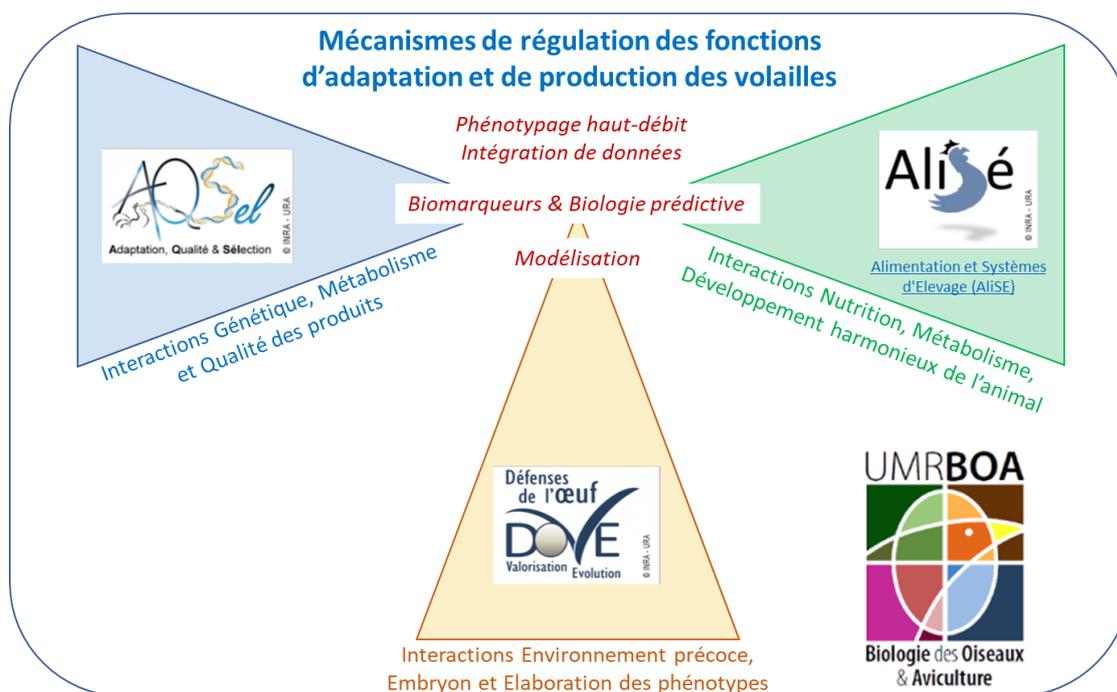


Figure 2 : Positionnement de mes recherches au sein de l'UMR BOA et interactions avec les différentes équipes de l'unité.

CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE ET ENJEUX SCIENTIFIQUES

I. Evolution de la consommation de viande de volaille

La consommation de viande de volailles progresse régulièrement depuis 2010 et elle est aujourd'hui la seconde viande la plus consommée après le porc en France (**Figure 3**). Le prix relativement bas comparé aux autres viandes et une innovation constante qui accompagne les nouvelles attentes des consommateurs (forte diversité de produits, nombreux produits transformés, etc.) permet d'expliquer son succès.

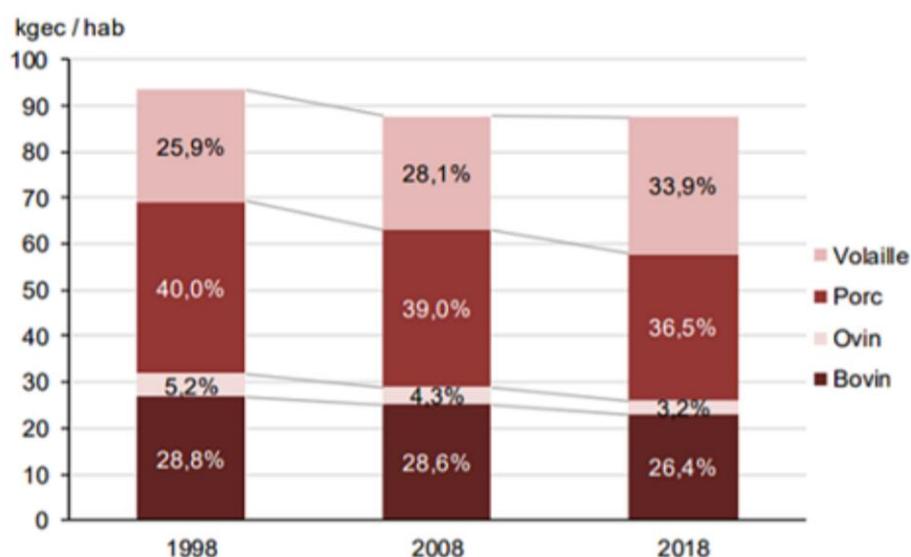


Figure 3 : Consommation individuelle française des viandes : comparaison entre 1998, 2008 et 2018 (Source : FranceAgriMer).

Depuis 2017, la viande de volailles est la viande la plus consommée dans le monde avec 118 millions de tonnes, devant la viande porcine avec 117 millions de tonnes. La consommation de viande de l'UE devrait passer de 69,8 kg à 68,7 kg par habitant/an d'ici 2030 pour plusieurs raisons : préoccupations sociales et éthiques croissantes, inquiétudes environnementales et climatiques, santé, population européenne vieillissante (**Figure 4**) ... Le remplacement en cours de la viande de porc par la consommation de viande de volaille ira encore plus vite, en raison d'une augmentation de la demande d'importation de viande de porc en Asie. D'autres tendances de la consommation de viande sont à considérer : l'évolution des modes d'alimentation (flexitariens, végétariens et végétaliens) ; l'importance croissante que les consommateurs attachent à l'origine de la viande et à la façon dont elle a été produite (biologique, bien-être animal, empreinte environnementale) ; et une transition de la viande fraîche vers une viande et des préparations plus transformées.

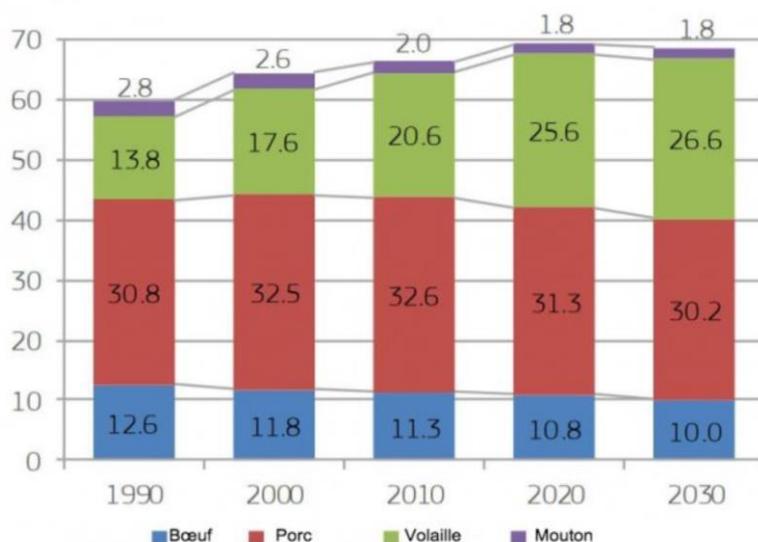


Figure 4 : Consommation de viande de l'UE par type de viande (kg par habitant) (Source : 3Trois3.com).

II. Production de viande de volaille

La population mondiale ne cesse de croître. Les besoins tant en céréales qu'en viande augmentent considérablement. L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) a publié un rapport qui montre une augmentation continue de la production mondiale de viande depuis plus de 20 ans. Celle-ci a été particulièrement portée par la hausse de la production de volaille (+128 %) et de porc (+47 %). La volaille affiche en effet la plus forte croissance au sein des productions de viande dans le monde ; depuis les années 2000, son taux de croissance annuel moyen est de +3,4 %, contre +1,6 % en viande porcine, +1,5 % en viande ovine et +0,95 % pour la viande bovine (Source ITAVI).

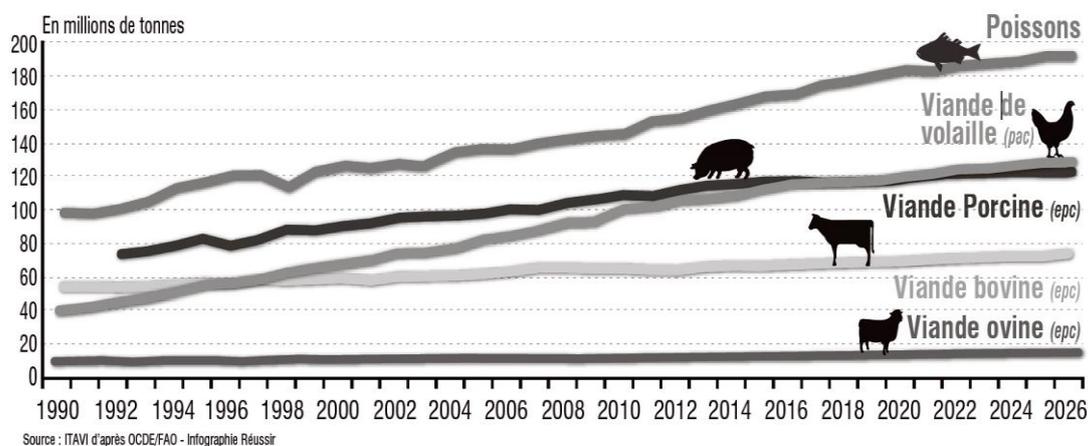


Figure 5 : Production mondiale de viande et de poissons sur la période 1990-2016 et projections OCDE à l'horizon 2027 (Source : ITAVI d'après OCDE/FAO- Infographie Réussir).

La volaille combine plusieurs avantages tels qu'un prix relativement bas comparé aux viandes ovine et bovine, une bonne valeur nutritionnelle, elle est rapide à produire et non concernée par les interdits religieux. La filière volaille est aujourd'hui, la première production de viande dans le monde.

III. Etat de l'art

Afin de répondre à une demande croissante au niveau mondial, les poulets de chair ont été sélectionnés pour une augmentation de leur vitesse de croissance, leur efficacité alimentaire et leur rendement en viande. L'augmentation de poids corporel de poulets de chair par an est de l'ordre de 3,3 % par an (Zuidhof *et al.*, 2014 ; **Figure 6**). Les poulets de chair standard atteignent un poids corporel de 1,5 kg en 30 jours, alors qu'il fallait 120 jours dans les années 50. La sélection avicole a largement contribué à ce succès avec toutefois une contrepartie négative concernant l'intégrité et le bien-être des animaux. Le squelette et les systèmes immunitaire et cardio-vasculaire n'ont pas suivi l'augmentation massive de la masse musculaire (Havenstein *et al.*, 2003, Tona *et al.*, 2003, Hocking 2010). Cette stratégie de sélection s'est inévitablement accompagnée d'effets indésirables tels qu'une fréquence plus importante de cas d'ascites, l'apparition de défauts de squelette et de viande, une certaine immunodéficience chez les animaux, une augmentation de leur sensibilité à des maladies infectieuses et de l'incidence de maladies métaboliques (Emmerson *et al.*, 1997 ; Decuyper *et al.*, 2003 ; Havenstein *et al.*, 2003).

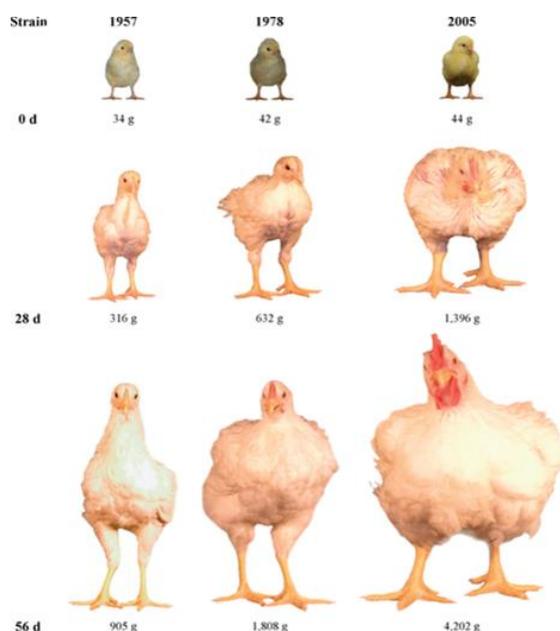


Figure 6 : Evolution de la taille des poulets de chair de 1957 à 2005 par la sélection génétique (Zuidhof *et al.*, 2014).

La sélection intense sur les performances de production conduit à des animaux plus efficaces mais, les poulets de chair modernes souffrent aujourd'hui d'un déficit

de robustesse et apparaissent « métaboliquement épuisés ». La sélection sur l'augmentation de la masse musculaire du muscle *Pectoralis major* (filet) a notamment conduit à une augmentation de la taille des fibres musculaires ainsi qu'à une diminution du nombre de capillaires sanguins et de leurs réserves en glycogène. Ces évolutions semblent être des facteurs prédisposant au développement de dystrophies musculaires (de type « White Striping » et « Wooden Breast ») qui affectent l'intégrité des muscles et la qualité de la viande et qui sont en fort développement chez le poulet (Petracci and Cavani, 2012 ; Kuttappan *et al.*, 2016 ; Petracci *et al.*, 2019 ; Soglia *et al.*, 2021) (**Figure 7**). La qualité des viandes de poulet reste par ailleurs très variable et impacte la compétitivité de la filière. En effet, la valeur du pH ultime (pHu), pH mesuré à 24h post-mortem et étroitement dépendant de la teneur du muscle en glycogène à la mort de l'animal, conduit à des défauts d'apparence, de conservation et impacte le rendement à la transformation. Il est donc essentiel de rechercher des objectifs d'élevage plus durables conciliant efficacité, bien-être animal et qualité des produits.

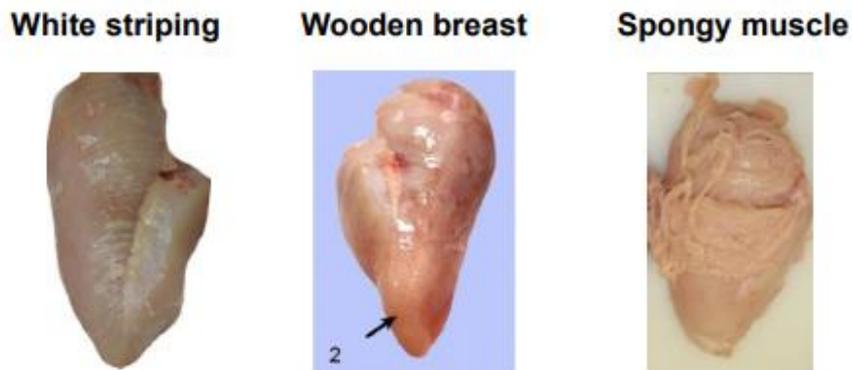


Figure 7 : Illustration des trois principaux défauts macroscopiques musculaires décrits pour la viande de volaille (photos C. Berri). « Le White Striping » est un défaut, caractérisé par des stries blanches, qui apparaît de plus en plus sur les filets de poulets issus des souches à croissance rapide et fort développement musculaire. Le « Wooden breast » est plus caractérisé par la présence d'excroissances et de zones pâles de consistance durcie dans le filet de poulet tandis que le « Spongy muscle ou muscle spaguetti » correspond à une myopathie musculaire caractérisée par une déstructuration du muscle avec la séparation des faisceaux de fibres dans les muscles *Pectoralis major*.

Les évolutions génétiques et des pratiques d'élevage (alliant intensification et souhaits de diminuer les intrants, notamment médicamenteux) rendent la phase de démarrage des animaux particulièrement critique et renforcent l'importance de la qualité du poussin, déterminant en grande partie la réussite du lot. Le statut énergétique, étroitement lié à la teneur en glycogène musculaire, apparaît comme un critère essentiel pour les performances, la qualité des produits, la santé et la robustesse des oiseaux depuis leur éclosion jusqu'à l'âge d'abattage. Il existe donc des enjeux forts, de connaissance et d'application pour l'élevage, à comprendre sa mise en place précoce, en interaction avec la génétique et l'alimentation.

BILAN D'ACTIVITE (2006 - 2022)

Comprendre les mécanismes impliqués dans la régulation de la croissance et de la composition corporelle est une question centrale puisqu'ils ont des répercussions sur l'efficacité des productions, la quantité de rejets azotés, mais aussi sur la qualité nutritionnelle et/ou technologique des produits. Dans ce contexte, le premier objectif de mon travail de recherche au sein de l'équipe MOQA visait à comprendre les mécanismes contrôlant l'utilisation périphérique du glucose depuis le transport de glucose jusqu'à son utilisation par le muscle ou son stockage sous forme de glycogène chez le poulet. Aujourd'hui, le statut énergétique, étroitement lié à la teneur en glycogène musculaire, apparaît comme un critère essentiel pour les performances et la qualité des produits mais au-delà de ces considérations, nos travaux démontrent aujourd'hui, un impact plus large de ce statut sur la santé et la robustesse des oiseaux depuis leur éclosion jusqu'à l'âge d'abattage.

I. Recherche et caractérisation des transporteurs de glucose (GLUTs) chez l'oiseau

J'ai commencé par rechercher et caractériser un transporteur insulino-sensible de glucose chez les oiseaux, puisque chez les mammifères c'est un élément clé de régulation du métabolisme glucidique et que chez les oiseaux son existence restait controversée. Le transport de glucose est médié par une famille de transporteurs de glucose (GLUT) qui sont soit constitutifs soit recrutés à la membrane plasmique suite à une stimulation par l'insuline (Byers *et al.*, 2017). Chez les mammifères, GLUT4 est le principal transporteur de glucose insulino-sensible au niveau musculaire. Chez l'oiseau, aucune séquence codant pour GLUT4 n'a pu être mise en évidence à ce jour alors qu'un transport de glucose insulino-sensible a pu être décrit. Alors que le transport de glucose dans la cellule est une étape limitante dans la régulation du métabolisme glucidique, aucun transporteur insulino-sensible n'avait été identifié ni caractérisé chez l'oiseau.

J'ai coordonné un premier projet sur crédit incitatif du Département PHASE (2008) qui avait pour objectif de rechercher un transporteur de glucose insulino-sensible type « GLUT4 » chez le poulet, incluant sa mise en évidence, sa caractérisation et l'étude de sa régulation. Dans le cadre de la thèse de Edouard Coudert, intitulée : « **Mécanismes régulant l'utilisation périphérique du glucose chez l'oiseau ; Focus sur le transport de glucose** », que j'ai encadrée avec S. Tesseraud (HDR responsable), nous avons cherché à comprendre comment le glucose entrait dans les cellules musculaires chez l'oiseau. Une étude phylogénétique et de synténie des transporteurs de glucose, menée en collaboration avec G. Pascal (Bioinformatique-

Genomique Comparative et Evolutive, INRAE, Castanet Tolosan, France), a confirmé l'absence de GLUT4 chez l'oiseau et a permis de mettre en évidence une séquence codant une séquence prédite de GLUT12 (gène *SLC2A12*) (**Figure 8**).

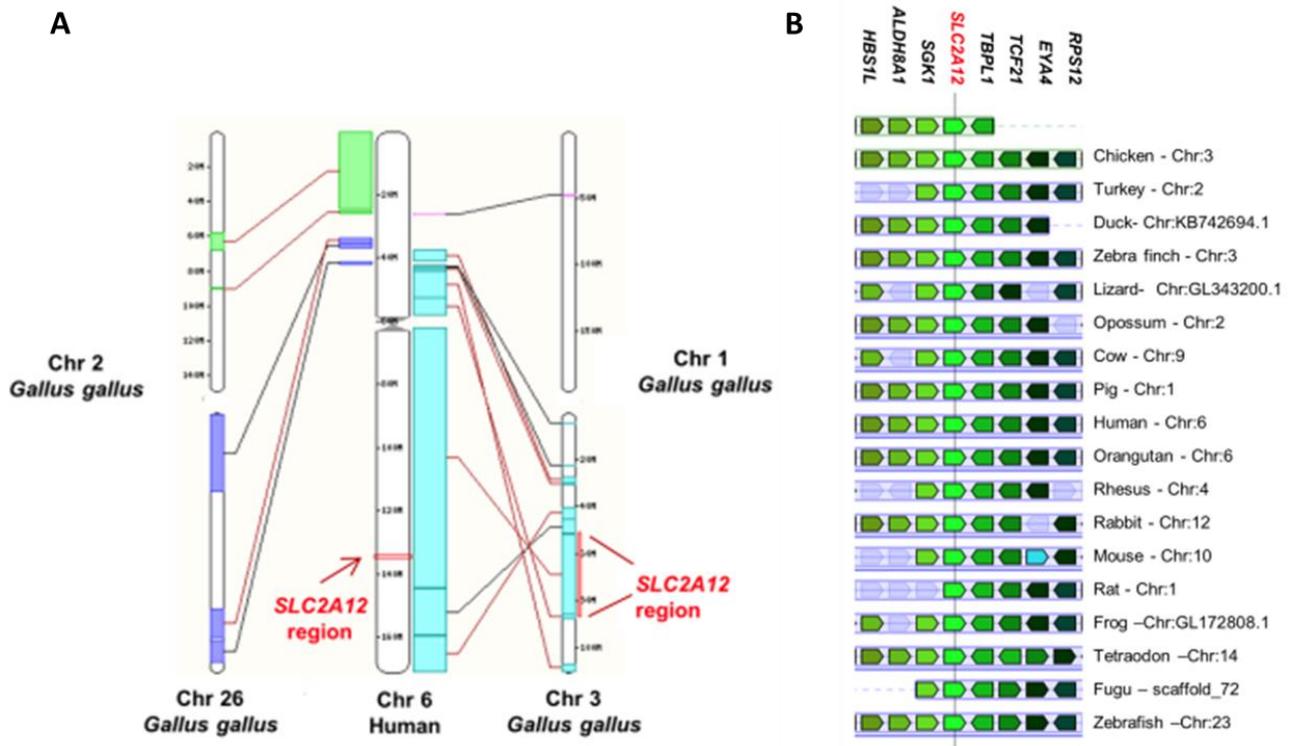


Figure 8 : Cartes comparatives de la région génomique de *SLC2A12*. **(A)** Région génomique de *SLC2A12*. Synténie entre le chromosome 6 humain (Chr 6) et les chromosomes 1, 2, 3 et 26 du poulet (Chr 1, Chr 2, Chr 3 et Chr 26) selon Ensembl (<http://www.ensembl.org>). Les flèches indiquent les régions *SLC2A12*. **(B)** Arrangement des gènes de la région génomique englobant *SLC2A12* selon le navigateur de génome Genomicus (<http://www.genomicus.biologie.ens.fr>, version de la base de données Genomicus : 79.01 / Web-code version : 2014-09-19), [45].

Ce transporteur a été décrit chez les mammifères comme un second transporteur de glucose insulino-sensible. Nous avons ainsi mis en évidence l'expression de GLUT12 chez l'oiseau, déterminé la distribution tissulaire de la protéine et montré sa translocation à la membrane sous stimulation insulinique *in vivo* et *in vitro* [45, 111, 161].

Nous savons désormais que chez l'oiseau, trois GLUTs principaux sont exprimés au niveau du muscle, principal tissu insulino-sensible : GLUT1, GLUT8 et GLUT12. Le premier est constitutif et régule le niveau basal de glucose tandis que les deux autres sont considérés comme potentiellement insulino-sensibles. Leur caractérisation n'était que partielle et aucune étude globale n'avait été faite pour déterminer leurs expressions respectives en fonction du développement embryonnaire de l'oiseau, ni même en fonction du type métabolique du muscle. Nous avons donc quantifié l'expression des transporteurs de glucose GLUTs majeurs au

niveau musculaire à la fois en fonction du développement embryonnaire de l'oiseau et en fonction du type métabolique de muscle. Les trois transporteurs de glucose présentent des profils d'expression différents en fonction du type de muscle. GLUT1 est majoritairement exprimé dans les muscles lents oxydatifs, GLUT8 dans les muscles lents oxydatifs et mixtes oxydo-glycolytiques, alors que GLUT12 est davantage exprimé dans le *Pectoralis major* et le *Sartorius* qui sont respectivement des muscles rapides glycolytiques et mixtes. Ces profils d'expression diffèrent également en fonction de l'âge (**Figure 9**).

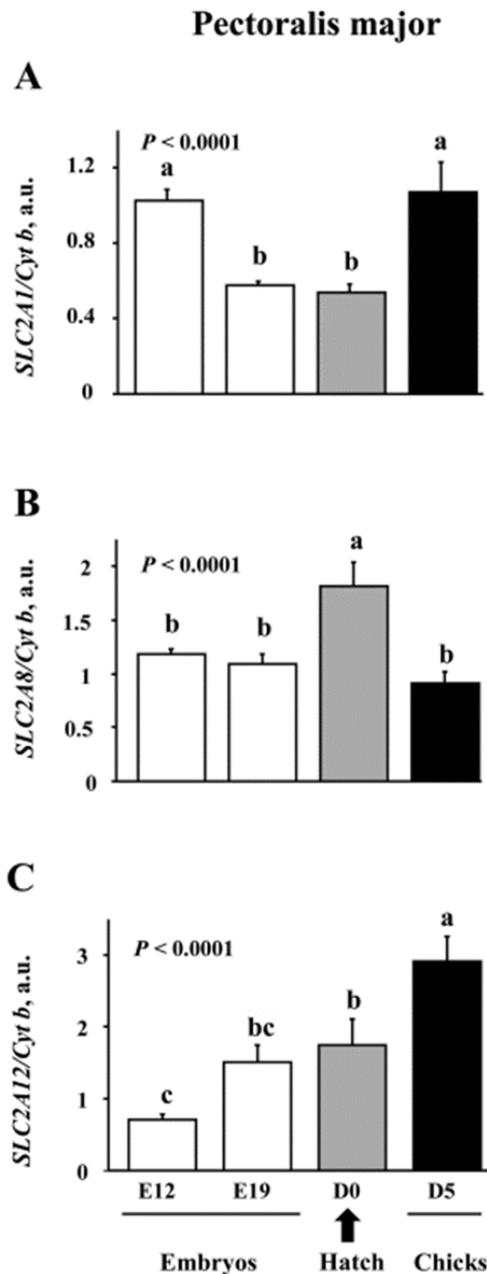


Figure 9 : Expression relative de *SLC2A1* (A), *SLC2A8* (B) et *SLC2A12* (C) au cours de l'ontogenèse dans le muscle squelettique *Pectoralis major*. L'expression relative des gènes a été déterminée par qRT-PCR en temps réel pendant l'embryogenèse (E12 et E19), à l'éclosion (D0) et 5 jours après l'éclosion (D5). Les données sont exprimées en moyennes \pm SEM (n = 10). Les valeurs moyennes sans lettre commune (a, b, c) diffèrent entre les groupes. ($P \leq 0,05$). u.a. : unité arbitraire, [53].

GLUT1 est plus exprimé au début de l'embryogénèse puis après l'éclosion, GLUT8 est fortement exprimé à l'éclosion, tandis que l'expression de GLUT12 augmente pendant l'embryogénèse jusqu'à 5 jours après l'éclosion.

Les effets du jeûne ou de la privation d'insuline ont également été étudiés sur l'expression des gènes *SLC2A1*, *SLC2A8* et *SLC2A12* dans le muscle *Pectoralis major* en utilisant un modèle de poulet précédemment décrit et caractérisé par Dupont et al. (2008). L'expression de *SLC2A1*, *SLC2A8* et *SLC2A12* a été mesurée 5h après l'injection ou après le jeûne (**Figure 10**). Le jeûne et l'immuno-neutralisation de l'insuline ont diminué l'expression de *SLC2A1*, *SLC2A8* et *SLC2A12* (diminution de 30 à 50% selon le transporteur par rapport aux niveaux observés chez les animaux nourris).

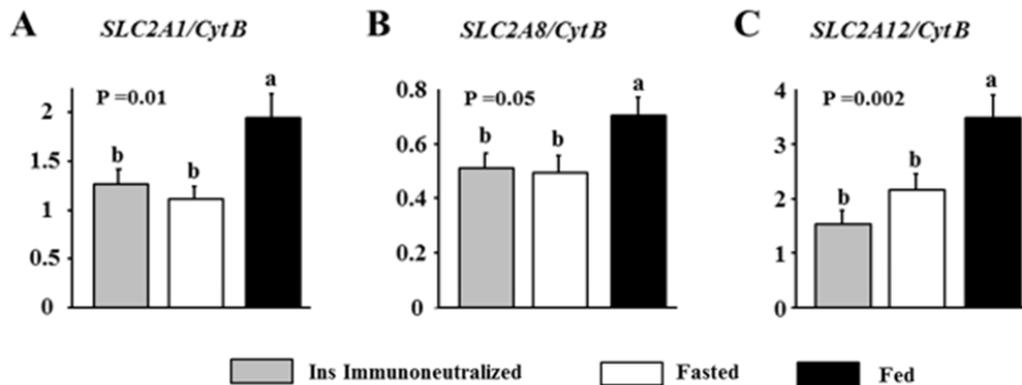


Figure 10 : Abondance relative de *SLC2A1*, *SLC2A8* et *SLC2A12* dans le muscle *Pectoralis major* de poulets à jeun, immuno-neutralisés à l'insuline ou nourris. L'expression relative des gènes (corrégée pour l'ARNm du cytochrome b (Cytb)) a été déterminée par RT-PCR dans des muscles prélevés sur des poulets de 17 jours. Les poulets ont été soit nourris (nourris), soit à jeun pendant 5 h (à jeun), soit immuno-neutralisés à l'insuline par 3 injections consécutives d'un anticorps anti-insuline réalisées chez des poulets nourris (groupe immuno-neutralisé à l'insuline). Les données sont exprimées en moyennes \pm SE (n = 7). Les valeurs moyennes sans lettre commune (a,b) diffèrent entre les groupes ($P \leq 0,05$) [53].

Après l'éclosion, GLUT12 est principalement détectée sous une forme tronquée, peut-être non-fonctionnelle, qui pourrait expliquer en partie la baisse de sensibilité à l'insuline du muscle chez l'oiseau avec l'âge qui avait été décrite par Lu et al. 2007 (**Figure 11**).

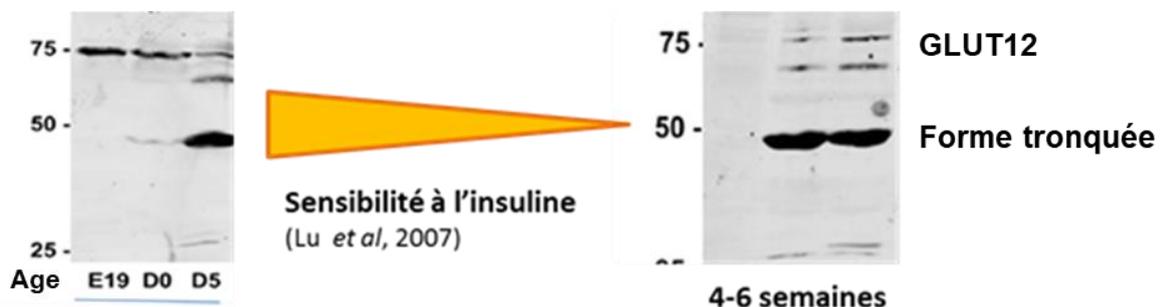


Figure 11 : Immunodétection de la protéine GLUT12 dans le muscle *Pectoralis major* à différents âges (embryonnaire (E19), à l'éclosion (D0), après 5 jours d'élevage puis à l'âge d'abattage). Après l'éclosion, GLUT12 est principalement détectée sous une forme tronquée, (non fonctionnelle ?) qui pourrait expliquer en partie la baisse de sensibilité à l'insuline du muscle chez l'oiseau avec l'âge qui avait été décrite par Lu et al., 2007 (Adapté de la thèse de E. Coudert, 2016).

Notre étude montre des expressions spatio-temporelles différentes des trois transporteurs de glucose chez l'oiseau et met en avant la complexité des régulations du métabolisme glucidique chez l'oiseau [53, 115, 165]. Un important travail reste à faire pour comprendre les patrons d'expression des différents GLUTs et les conséquences physiologiques des différences observées. Est-ce en relation avec la vitesse de croissance des muscles, leur type métabolique, leur localisation dans l'animal ?

Enfin, nous avons étudié la fonctionnalité et la régulation des trois transporteurs de glucose majeurs dans le muscle ou les myoblastes de poulet. Par des approches *in vitro*, nous avons cherché quel(s) transporteur(s) pouvait(en)t être responsable(s) du transport insulino-sensible de glucose dans le muscle chez l'oiseau [113, 166]. Pour cela, nous avons étudié la réponse des trois GLUTs à l'insuline depuis l'expression de leur gène jusqu'à la translocation (ou la présence pour GLUT1) de la protéine à la membrane plasmique.

Nos approches de stimulation *in vivo* (**Figure 12**) comme *in vitro* montrent que seule la protéine GLUT12 est enrichie à la membrane plasmique suite à une stimulation insulinique. Les protéines GLUT1 et GLUT8 n'ont pas pu être mises en évidence au niveau de la membrane dans les mêmes conditions.

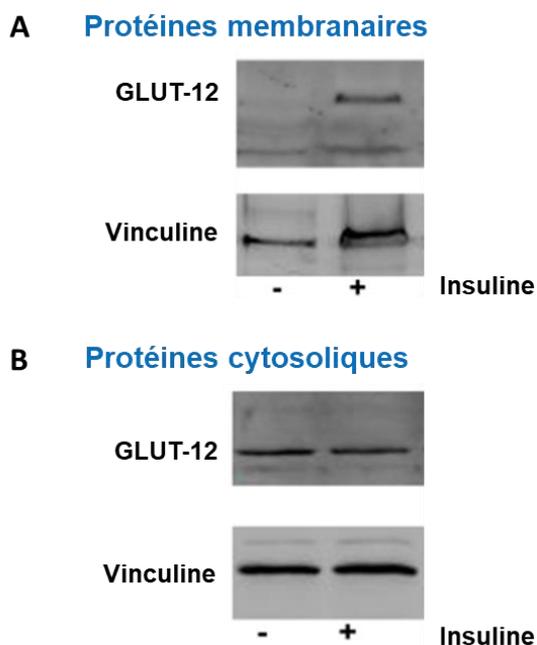


Figure 12: Translocation de GLUT12 à la membrane cellulaire après stimulation par l'insuline. **(A)** un Western blot représentatif montre la teneur en GLUT12 dans les fractions membranaires préparées à partir de muscle de la patte d'animaux sans injection d'insuline (-) ou 1 heure après l'injection d'insuline (1U/kg) (+). **(B)** un Western blot représentatif montre la teneur en GLUT12 dans les protéines cytosoliques correspondantes utilisées comme contrôle de la teneur en GLUT12 cytosolique. La vinculine a été utilisée comme contrôle de charge pour les deux fractions.

Cette translocation de GLUT12 est inhibée par des inhibiteurs spécifiques de la PI3K (LY294002 et wortmannin) *in vitro* (**Figure 13**). Les mécanismes de translocation semblent donc similaires à ceux décrits pour GLUT4 chez les mammifères. Une augmentation du transport de glucose (2DG6P) est observée au

même temps de stimulation sans que l'expression et la quantité des trois différents GLUTs ne soient modifiées. GLUT12 pourrait donc jouer le rôle de GLUT4 au niveau des tissus insulino-sensibles aviaires.

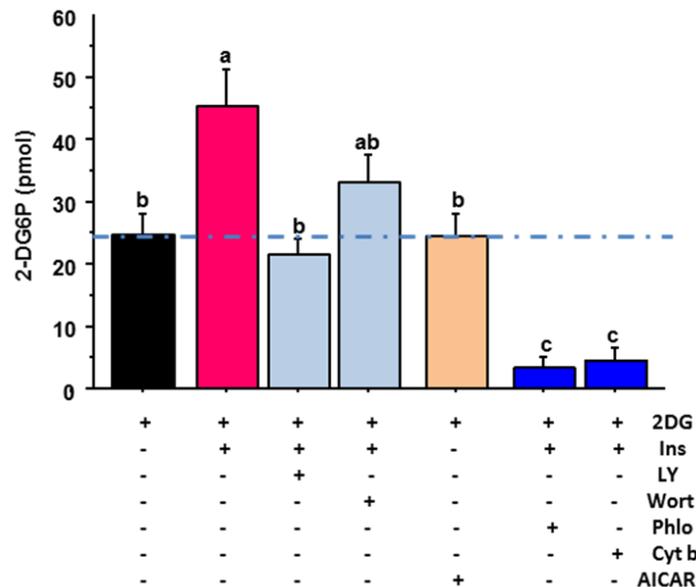


Figure 13 : Captage de 2-déoxyglucose par les myotubes à 6 jours de différenciation en présence de différents activateurs/inhibiteurs. Cette mesure a été réalisée avec le kit colorimétrique de chez Abcam (Glucose Uptake Assay Kit, ab136955). Les cellules ont été stimulées au total pendant 40' avec 0,1µM d'insuline. Le 2DG n'est ajouté que pendant les 20 dernières minutes. Inhibiteurs et activateurs utilisés : phlorétine (Phlo) (22 min ; 0,5 µM) ou cytochalasine B (Cyt b) (40 min ; 0,1 µM) ; LY294002 (LY) (40 min ; 50 µM) ou wortmannin (Wort) (80 min ; 0,1 µM) ; Aicar (40 min ; 1mM). (N=3). Le seuil de significativité est fixé à P<0.05 (Extrait de la thèse de E. Coudert, 2016).

Nous avons identifié et caractérisé un nouveau transporteur de glucose chez les oiseaux, GLUT12. Il est exprimé dans les muscles, son expression est régulée *in vivo* par l'insuline et il peut être transloqué à la membrane suite à une stimulation insulinique. *In vitro*, une augmentation du transport de glucose est mesurée sur le même pas de temps que la translocation de GLUT12. Comme pour GLUT4 chez les mammifères, la voie de signalisation de la PI3K est impliquée dans la translocation de GLUT12. L'expression des trois GLUTs musculaires (1, 8 et 12) varie avec l'âge des animaux mais aussi avec leur statut nutritionnel ou insulinique, le type métabolique et/ou la fonction du muscle. L'ensemble de nos résultats explique en partie le métabolisme glucidique atypique des oiseaux.

II. Mécanismes de contrôle du glycogène musculaire et qualité des viandes

Des travaux complémentaires en génétique et en physiologie, réalisés chez le poulet au sein de l'UMR BOA dans le cadre d'étroites collaborations entre les équipes AQSel et MOQA, ont permis de montrer le rôle central du métabolisme du glycogène dans le déterminisme de la qualité technologique des viandes (Berri *et al.*, 2005) et d'en identifier des marqueurs métaboliques ou moléculaires (Beauclercq *et al.*, 2016 ; Berri *et al.*, 2019 pour revue). Je me suis plus attachée à décrypter les mécanismes qui conduisent précocement à l'orientation métabolique des oiseaux, conduisant ainsi à plus ou moins de réserves énergétiques musculaires [59, 62]. Ces travaux ouvrent des perspectives pour moduler la qualité de la viande par l'alimentation, les conduites d'élevage ou la sélection génétique. Ils s'inscrivent pleinement dans le Défi 2 du schéma stratégique du département PHASE (2016-2020) « Des modèles et des outils pour anticiper et piloter les processus en élevage ». J'ai participé à la réflexion, à l'élaboration et à la réalisation de plusieurs programmes sur les facteurs influençant les réserves musculaires en glycogène en collaboration avec les différents membres de l'équipe MOQA mais aussi avec des scientifiques d'autres équipes de l'unité, notamment l'équipe AQSel, et d'autres UMRs INRAE (PRC Nouzilly, ISP Nouzilly, PEGASE Rennes). Dans le cadre des études qui vont suivre, je me suis principalement attachée à étudier les mécanismes de régulation du métabolisme du glycogène et des principales voies de signalisation impliquées dans la synthèse ou le stockage de glycogène, et à évaluer les conséquences de différentes stratégies nutritionnelles sur la croissance, la composition corporelle et la qualité des produits.

1. Régulation nutritionnelle

Outre la voie de signalisation de l'insuline [13, 16-19, 21, 34-35, 40], j'ai exploré d'autres voies de signalisation régulant le métabolisme glucidique. Dans un modèle d'alimentation séquentielle, qui consiste à nourrir les animaux avec deux aliments (variant en protéines et/ou en énergie) distribués en alternance sur 48h, j'ai montré une régulation des cascades protéine kinase B/glycogène synthase kinase/glycogène synthase [Akt/GSK3/GS] et AMP-activated protein kinase/glycogène synthase [AMPK/GS] accompagnée d'une variation de la teneur en glycogène musculaire et de potentiel glycolytique (PG) (**Figure 14**). Ce dernier traduit la quantité de lactate susceptible d'être produite au cours de la glycolyse post-mortem. Cette valeur, exprimée en "équivalent lactate" reflète le niveau de glycogène musculaire à l'abattage et est calculée selon la formule proposée par Monin et Sellier (1985).

Ces résultats obtenus avec le modèle d'alimentation séquentielle sont originaux. En effet, les variations d'état de phosphorylation des kinases de la voie AMPK et celles du glycogène musculaire étaient enregistrées 5 heures après le changement d'aliment, démontrant une régulation à court terme du métabolisme du glycogène avec les régimes mixtes pauvres en énergie et riches en protéine (E-P+) et les régimes riches en énergie et pauvres en protéines (E+P-). Ces stratégies nutritionnelles, affectant également le métabolisme protéique mais pas la croissance de l'animal [31], apportent un degré de liberté quant à la formulation des régimes destinés aux animaux, et laissent entrevoir des baisses possibles de coût de l'aliment distribué. Ceci a ouvert des perspectives intéressantes en termes de contrôle de la qualité de la viande puisque l'on est capable de moduler par la teneur en protéines du régime la teneur du muscle en glycogène [33].

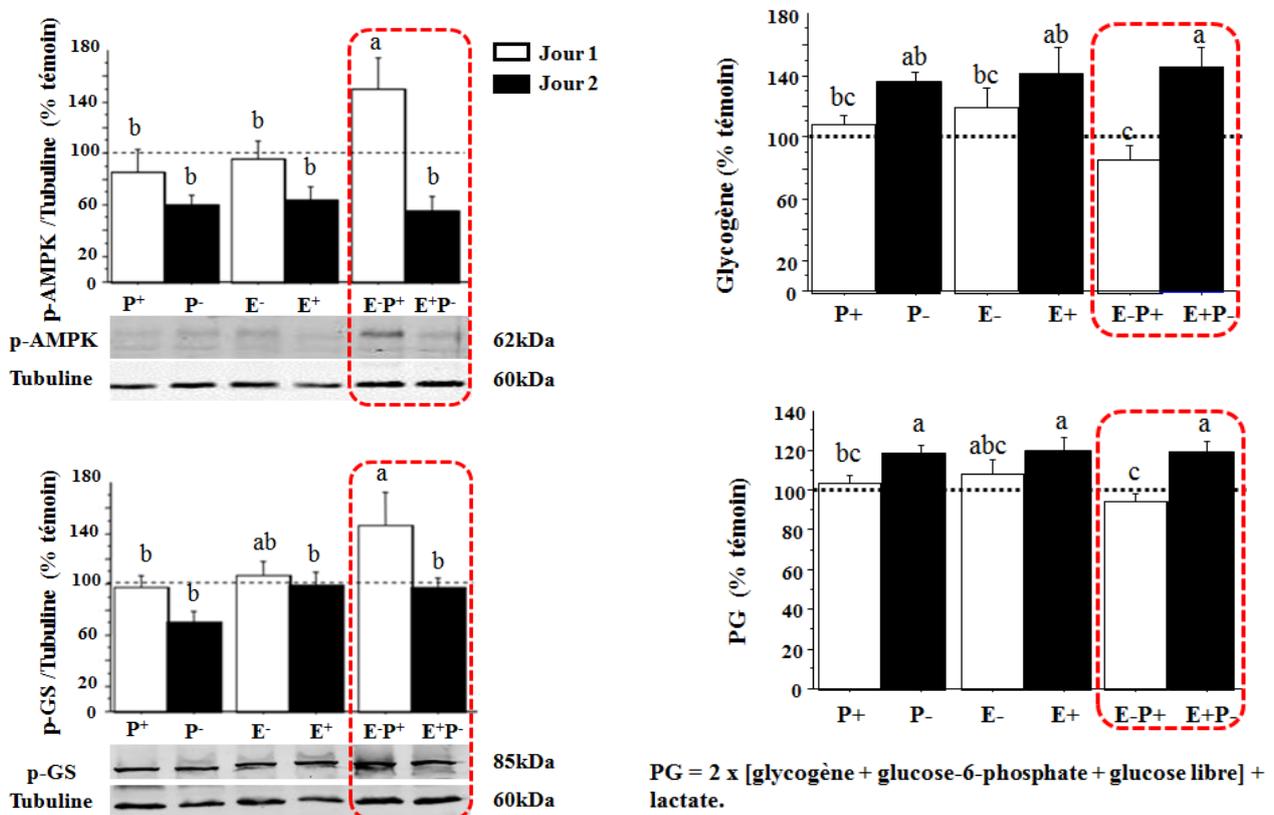


Figure 14 : Effets d'une distribution en alternance sur 48h de régimes variant en protéines et en énergie sur une des voies de signalisation conduisant à la synthèse de glycogène dans le muscle *Pectoralis major*, le taux de glycogène musculaire et le potentiel glycolytique. Régime reçu le jour de l'abattage : P+ régime riche en protéines, P- régime pauvre en protéines ; E+ régime riche en énergie ; E- régime pauvre en énergie ; E-P+ régime riche en protéines et pauvre en énergie ; E+P- régime pauvre en protéines et riche en énergie.

Dans la continuité de ces travaux, nous avons évalué une autre stratégie alimentaire en modifiant la composition en acides aminés du régime distribué aux animaux seulement trois jours avant leur abattage pour essayer d'induire des

modifications de la teneur en glycogène du muscle [43]. En suivant cette nouvelle stratégie alimentaire, nous avons réussi à induire des modifications de l'état de phosphorylation de la GS impliquée dans la voie de signalisation du stockage du glycogène. Au final, des différences de pH ultime et de la couleur de la viande ont bien été enregistrées sans réelles conséquences sur les performances de croissance de l'animal. L'apport qualitatif en acides aminés a donc aussi des effets sur le métabolisme du glucose. Dans ce cas, un déséquilibre entre la lysine et les autres acides aminés a fait que les autres acides aminés en excès ont été catabolisés et utilisés en tant que substrats énergétiques avant stockage sous forme de glycogène.

2. Régulation environnementale

Des facteurs autres que nutritionnels peuvent également moduler le métabolisme des animaux. En effet, l'exposition d'animaux à la chaleur perturbe certaines voies de signalisation et l'expression de gènes impliqués dans les métabolismes protéino-énergétique et impacte négativement le développement des animaux. L'analyse des paramètres glucidique et insulinique suggère des changements du métabolisme du glucose sous l'effet de la chaleur [26].

Un modèle d'acclimatation précoce des embryons à la chaleur a été développé par A. Collin pour essayer d'induire des modifications métaboliques chez l'oiseau qui restent pérennes et qui lui permettent d'être plus robuste face à des challenges thermiques (ANR Jeunes Chercheurs et Jeunes Chercheuses ThermoChick 2009-2013, projet dans lequel j'étais impliquée à 35%). Ce projet visait à identifier les réponses métaboliques modifiées par le conditionnement précoce des animaux à la chaleur et d'en évaluer les conséquences au niveau du fonctionnement mitochondrial, de la thermotolérance des animaux, du développement du muscle, de la croissance et de la qualité de la viande. Je suis intervenue pour analyser les modifications du métabolisme glucidique induites par un conditionnement précoce des animaux à la chaleur et sélectionner dans un second temps des marqueurs métaboliques modifiés par ce traitement thermique [37, 42, 48-49]. Des modifications d'expression de gènes et d'activation de voies de signalisation cellulaires impliqués dans les métabolismes protéino-énergétique au niveau du muscle pectoral d'animaux de 34 jours ainsi que des différences de paramètres plasmatiques glucidique et insulinique ont pu être mises en évidence. Elles laissent supposer des régulations du métabolisme chez les oiseaux acclimatés différentes de celles des animaux contrôles, une utilisation différente des nutriments, et une capacité des animaux à répondre plus favorablement face à un stress thermique. Dans ce modèle, le traitement thermique *in ovo* n'a cependant eu aucune conséquence sur les critères de qualité de la viande au niveau du *Pectoralis major*.

3. Composante génétique

Pour aller plus loin dans la compréhension des mécanismes de stockage du glycogène impactant la qualité de la viande, notre équipe s'est associée à la mise en place d'une sélection divergente sur le pH ultime (pHu) réalisée par l'équipe AQSel. Le pH ultime définit l'amplitude de la chute du pH avant et après abattage. Il est mesuré au niveau du muscle *Pectoralis major* le lendemain de l'abattage. Des études ont permis de démontrer que ce pH ultime est le résultat des réserves en glycogènes du muscle au moment de l'abattage. Cette sélection a permis de générer deux lignées de poulet (pHu+ et pHu-) qui divergent spécifiquement sur le pHu et présentent des caractéristiques de qualité technologiques, sensorielles et métaboliques très différentes. Après 5 générations de sélection, la teneur en glycogène du filet était augmentée de 17% dans la lignée à faible valeur de pH (pHu-) par rapport à la lignée à forte valeur de pH (pHu+) à l'âge d'abattage de 6 semaines (Alnahhas *et al.*, 2014). Ces lignées constituent un modèle original pour étudier le contrôle génétique et physiologique des caractéristiques de qualité de la viande associées aux variations du glycogène musculaire et du pH de la viande chez le poulet. Les deux lignées ont des profils métaboliques très différents, avec une activation de la voie glycolytique dans la lignée pHu- et du catabolisme des acides aminés et de l'oxydation des lipides dans la lignée pHu+. Des analyses métabolomiques menées dans le cadre d'une collaboration avec L. Nadal-Desbarats de l'Université de Médecine de Tours (Département d'analyse chimique et métabolomique de la plateforme PST-ASB, Plateforme Scientifique et Technique-Analyse des Systèmes Biologiques) et transcriptomiques, réalisées au niveau sanguin et/ou musculaire ont permis d'identifier les réorientations métaboliques importantes associées à la sélection mais aussi d'identifier des premiers biomarqueurs de qualité de viande [51].

Dans la continuité de ce travail, je me suis attachée à caractériser ces deux lignées à des stades plus précoces : pendant le développement embryonnaire, à l'éclosion puis après une semaine de démarrage pour déterminer si la divergence entre ces deux lignées était déjà actée à l'éclosion ou bien si elle résultait d'une utilisation différente des nutriments par les deux lignées post-éclosion [59, 120-121, 169]. Leur caractérisation phénotypique et métabolique (poids, rendement musculaire, paramètres plasmatiques, voies de signalisation, dosage de glycogène musculaire...) a montré que les animaux bien que non différents à l'éclosion au niveau de leur poids et rendements en filet, présentaient déjà des différences métaboliques entre les deux lignées, probablement liées à des différences dans l'utilisation ou la disponibilité des nutriments *in ovo*.

Cinq jours d'élevage suffisaient à ce qu'ils expriment pleinement leur

phénotype. A 5 jours, la variation de pH ultime entre lignées est comparable à celle observée à 6 semaines, alors que des différences de glycogène musculaire et des variations plasmatiques de teneur en glucose, triglycérides et acide urique sont observées dès l'éclosion (**Figure 15**).

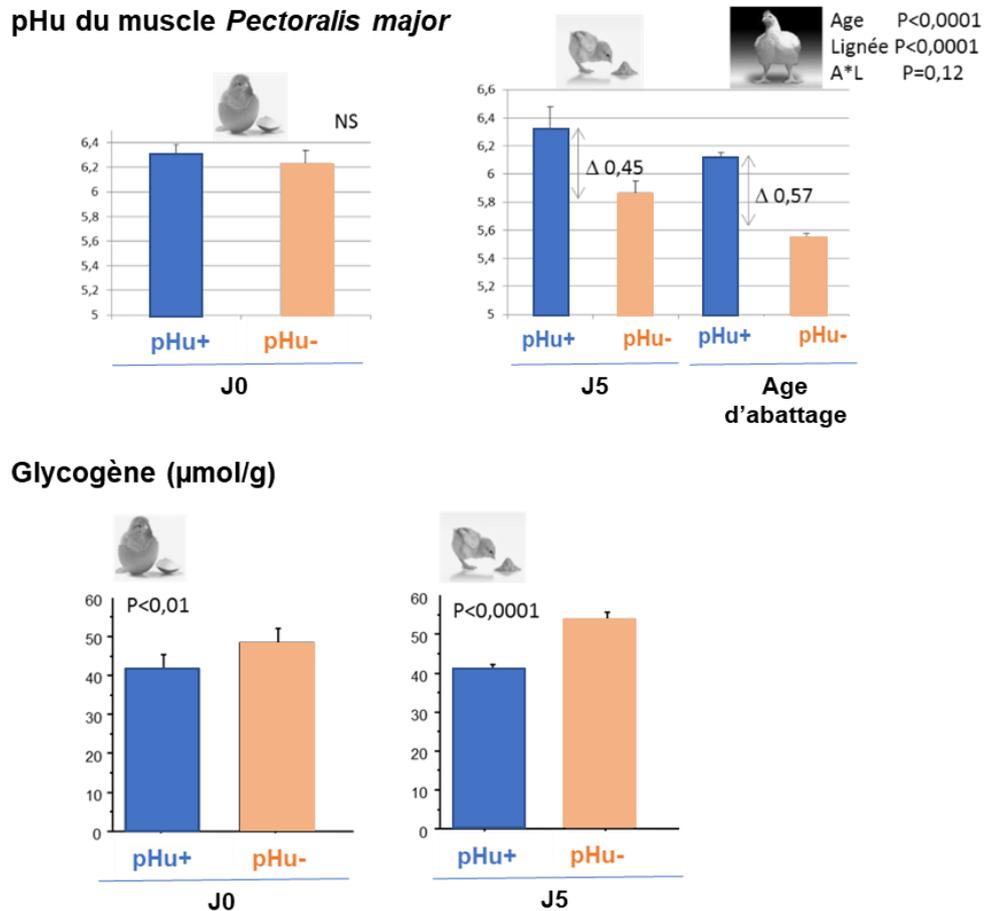


Figure 15 : pH ultime quantifié dans le *Pectoralis major* d'animaux issus des lignées divergentes pHu+ et pHu- à l'éclosion, après une semaine de démarrage (J5) puis à l'âge d'abattage (en haut). Dosage du glycogène musculaire ($\mu\text{moles/g}$) dans les muscles *Pectoralis major* d'animaux issus des lignées divergentes pHu+ et pHu- à l'éclosion et après 5 jours d'élevage (J5).

La différence de teneur en glycogène effective à l'éclosion, est-elle déjà établie en amont avant l'éclosion ou est-elle la résultante d'une utilisation ou stockage différent du glycogène lors de ce processus très énergivore ?

Pour répondre à cette question, nous avons caractérisé les lignées pHu+ et pHu- sur des stades embryonnaires plus précoces (E16) en mesurant le potentiel glycolytique du muscle *Pectoralis major* à trois stades (E16, J0 et J5) d'une part (**Figure 16**) et en focalisant nos études sur les voies de synthèse et de dégradation du glycogène impliquant respectivement la glycogène synthase (GS) et la glycogène phosphorylase (PYGM) d'autre part.

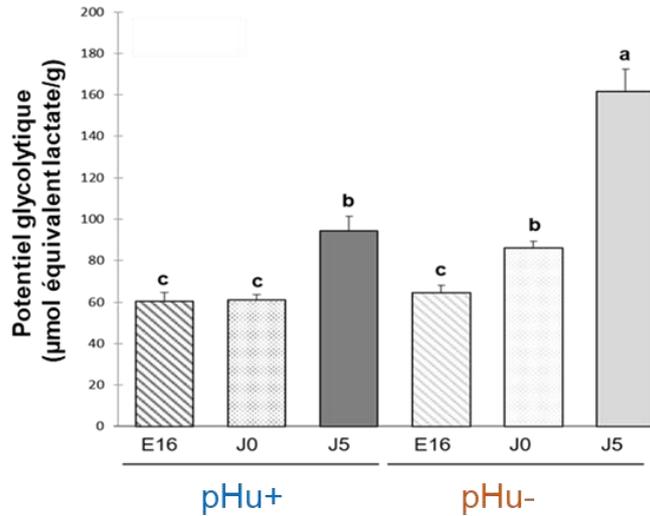


Figure 16 : Mesure du potentiel glycolytique (PG) dans les muscles *Pectoralis major* d'animaux issus des lignées divergentes pHu+ et pHu- à 16 jours de développement embryonnaire (E16), à l'éclosion (J0) et après 5 jours d'élevage (J5).

Nous avons pu montrer une différence significative de la quantité de PYGM et de son activité spécifique dans le *Pectoralis major* de poussins de 5 jours d'âge, l'enzyme étant plus exprimée et plus active chez les pHu+ (**Figure 17**). Par conséquent, il est clair que la teneur plus faible en glycogène musculaire résulte en partie d'une dégradation plus intense du glycogène dans le *Pectoralis major* de la lignée pHu+, vraisemblablement à des fins énergétiques.

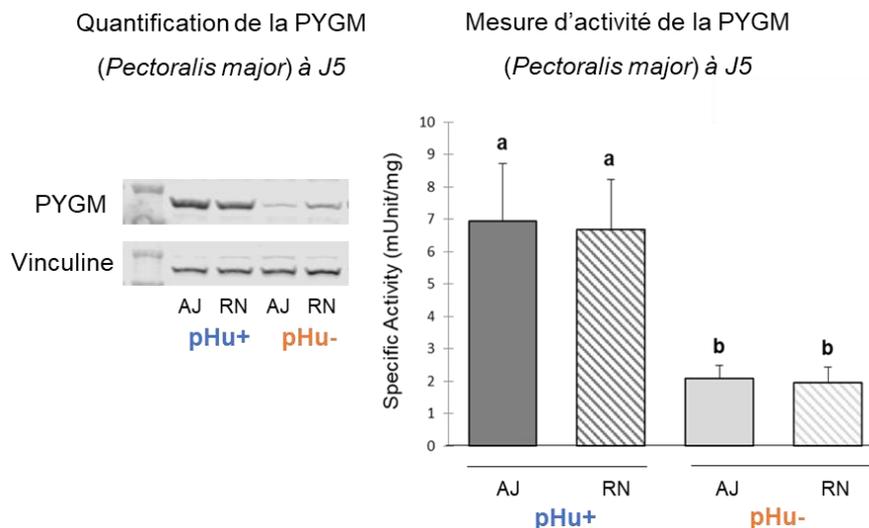


Figure 17 : Quantification de la glycogène phosphorylase (PYGM) musculaire et de son activité spécifique mesurées dans le muscle *Pectoralis major* de poussins pHu+ et pHu- à 5 jours d'âge.

La démarche ciblée que j'ai principalement développée jusqu'à maintenant a permis

(1) d'aider à la compréhension des mécanismes régulant l'utilisation et/ou le stockage du glucose sous forme de glycogène par l'animal

(2) de mesurer les conséquences de ces régulations sur le statut énergétique, la croissance de l'animal, sa composition corporelle et la qualité de sa viande

(3) de constater qu'à l'éclosion, dans le modèle génétique des pHu, le phénotype lié au statut énergétique est déjà établi et que par conséquent la compréhension de l'élaboration de ce phénotype nécessite des approches et des études plus en amont au cours du développement embryonnaire.

RECHERCHES ACTUELLES ET PERSPECTIVES

En lien avec mes récents résultats, je focalise actuellement mes recherches sur la période périnatale. En effet, la régulation du métabolisme y est particulièrement plastique et réactive à l'environnement avec des impacts à long terme, et d'autre part cette période est identifiée comme critique par les acteurs de la filière avicole en termes de viabilité, qualité du poussin, croissance initiale et santé des animaux. Le développement de l'embryon dépend de l'environnement dans lequel il baigne et des nutriments disponibles. Cet environnement peut être modulé et influencer le développement physiologique et morphologique des embryons, avec pour conséquence des effets sur l'élaboration du phénotype des poussins (Ho *et al.*, 2011). Des liens entre la nutrition parentale, la composition de l'œuf et le comportement ultérieur des animaux (Aigueperse *et al.*, 2013), leurs performances (Bergoug *et al.*, 2013), et leur sensibilité aux maladies ont été établis.

I. Programmation métabolique précoce et élaboration du phénotype des animaux : mécanismes impliqués et recherche de leviers pour réorienter précocement le métabolisme

Le statut énergétique des animaux est un critère essentiel pour les performances des oiseaux depuis leur éclosion jusqu'à leur abattage. En effet, l'éclosion est une étape critique, très énergivore, qui a des conséquences sur les taux d'éclosion, de morbidité et de mortalité et à plus long terme sur la santé, la croissance et la qualité du produit final. Le modèle des lignées pHu+ et pHu- (cf pages 26) nous a permis de mettre en évidence une relation entre les réserves énergétiques musculaires des animaux et l'orientation du métabolisme des oiseaux avec, entre autres, des conséquences importantes sur le développement de défauts musculaires, la qualité de la viande, et plus récemment sur les performances de reproduction de ces animaux. La lignée pHu+, qui présente très peu de réserves énergétiques, représente bien les poulets de chair modernes, qui apparaissent métaboliquement épuisés. La sélection sur l'augmentation de la masse musculaire du muscle *Pectoralis major* (filet) a notamment conduit à une augmentation de la taille des fibres musculaires ainsi qu'à une diminution de la teneur en glycogène. Comme montré dans le bilan, nous avons montré que l'orientation du métabolisme dans les lignées pHu+ et pHu- est très précoce puisqu'à l'éclosion les animaux présentent déjà des phénotypes différents [59].

Suite à ce constat et au fait que les composants de l'œuf soient la principale source de nutriments pour l'embryon, une caractérisation fine de l'environnement de l'embryon (vitellus et liquide de l'amnio) a été réalisée pour les deux lignées pHu+ et

pHu-. Elle vise à établir si :

- une différence de composition de l'œuf peut expliquer et impacter l'orientation métabolique différente que prennent ces deux lignées très précocement d'une part,

- l'œuf peut être une source d'indicateurs ou de biomarqueurs pertinents et précoces du statut énergétique des animaux d'autre part.

Cette étude a été financée dans le cadre d'un crédit incitatif du département PHASE (INOVE : recherche d'INDicateurs in OVo du statut Energétique de l'animal pour des applications en sélection et en élevage, 2017). Ce projet, que j'ai coordonné, a fédéré trois des quatre équipes de l'UMR BOA (AQSel, DOVE et MOQA). Il nous a permis pour la première fois d'établir de fortes interactions avec l'équipe DOVE autour d'une thématique sur l'embryon et son milieu environnant et les conséquences des interactions embryon / environnement sur l'élaboration de son phénotype ultérieur. Ce projet intégrait un défi méthodologique de développement d'un phénotypage précoce grâce à l'analyse de fluides par des approches haut-débit en RMN pour permettre de futures recherches sur l'orientation précoce des phénotypes et participer à la définition de nouveaux critères de sélection. Dans ce cadre, une solide collaboration a été établie avec la plateforme PST-ASB, Plateforme Scientifique et Technique-Analyse des Systèmes Biologiques de l'Université de Médecine de Tours (L. Nadal-Desbarats), collaboration qui perdure au travers de nouveaux projets. L'ensemble des travaux présentés ci-contre sont développés dans le cadre de la thèse de Angélique Petit que j'encadre.

1. Comparaison des différentes sources de nutriments disponibles dans l'œuf pour les lignées pHu+ et pHu-

La présente étude vise à évaluer dans quelle mesure l'environnement nutritionnel de l'embryon peut contribuer aux différences métaboliques observées entre les deux lignées à l'éclosion. Les deux principales sources de nutriments dans l'œuf disponibles pour les embryons sont le vitellus et plus tard le liquide de l'amnio (fluide amniotique) (**Figure 18**).

Juste avant l'incubation (E0), le vitellus de la lignée pHu+ présente un pourcentage de lipides plus élevé que celui de la lignée pHu- (32,9 % contre 27,7 %). Bien que la spectroscopie RMN-1H ait montré de nets changements dans la composition du vitellus entre E0 et E10, il n'y a pas d'effet lignée. En revanche, l'analyse par RMN-1H réalisée sur le liquide amniotique au 10^{ième} jour embryonnaire (E10) a permis de distinguer clairement les deux lignées (**Figure 19A**). Au moins 13 métabolites permettent de classer différenciellement les lignées pHu+ et pHu- (**Figure 19B**). Le liquide amniotique des pHu+ est plus riche en leucine, isoleucine, 2-oxoisocaproate, citrate et glucose, alors que la choline et l'inosine sont plus abondantes dans la lignée pHu-. L'abondance plus importante dans l'amnio des lignées pHu+ d'acides

aminés comme la leucine, qui présente entre autres un rôle signal permettant l'activation de la synthèse protéique, permet d'expliquer en partie le rendement musculaire supérieur observé dans cette lignée.

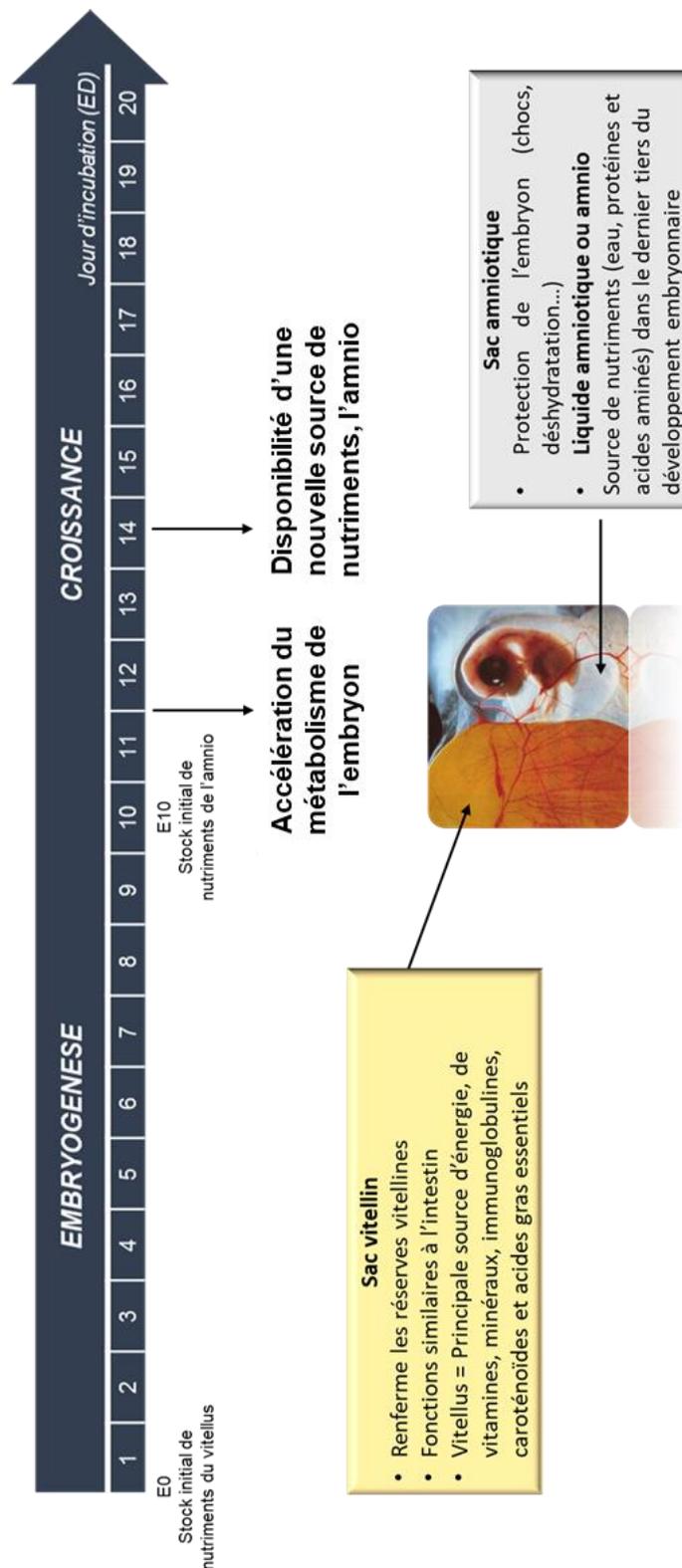


Figure 18 : Schéma illustrant les différents compartiments embryonnaires de l'œuf et les différentes sources de nutriments disponibles pour l'embryon en développement.

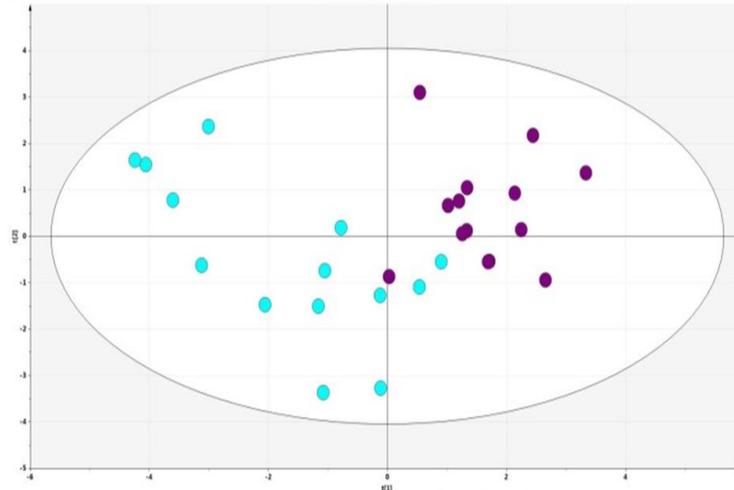
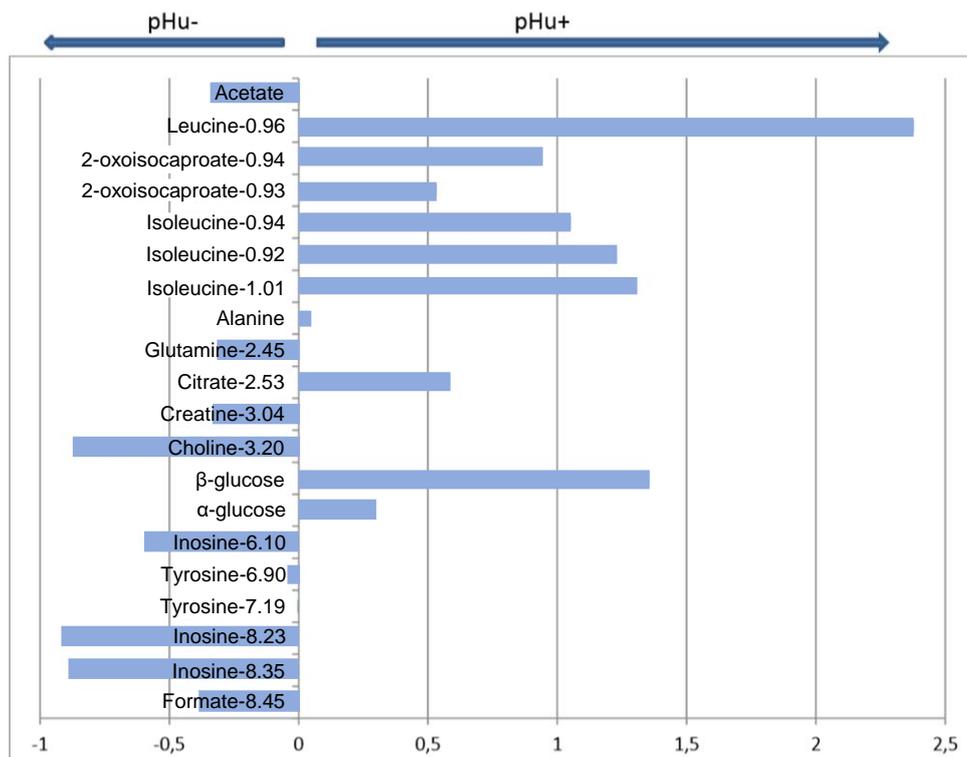
A**B**

Figure 19 : Analyse PLS-DA à partir du spectre 1H-RMN du liquide amniotique des œufs pHu+ et pHu- **(A)**. pHu+ est représenté par des points violets et pHu- par des points bleus. Les caractéristiques de performance descriptive et prédictive des modèles sont les suivantes : $R^2Y = 0,754$; $Q^2 = 0,605$; $CV-ANOVA = 0,00011$. Graphique de contribution donnant les métabolites discriminants dans le liquide amniotique entre pHu+ et pHu- au jour 10 du développement embryonnaire **(B)** [62].

Nos résultats mettent en évidence des différences quantitatives et qualitatives dans les métabolites et les nutriments potentiellement disponibles pour les embryons en développement, ce qui pourrait contribuer aux différences métaboliques et développementales observées après l'éclosion entre les lignées pHu+ et pHu- [62, 125].

Les nutriments disponibles dans l'œuf pour les embryons sont différents qualitativement et quantitativement. Le métabolisme des embryons est-il lui aussi différent *in ovo* entre les lignées pHu+ et pHu- ? Si oui, à partir de quel stade ?

2. Appréciation indirecte du métabolisme des embryons *in ovo*

Pour répondre à cette question, le liquide chorioallantoïque issu d'œufs des 2 lignées a été analysé par RMN-1H à trois stades du développement embryonnaire (E10, E14 et E17), stades auxquels l'embryon a accès à différentes sources de nutriments [174]. Ce liquide est considéré comme un compartiment qui stocke les déchets du métabolisme des embryons et une zone de stockage pour de nombreux acides aminés libres et autres composés importants pour la nutrition des embryons en fin de développement. L'objet de cette analyse en cinétique était de nous renseigner sur la fenêtre à partir de laquelle le métabolisme des embryons des deux lignées diverge. Le caractère innovant de ce volet réside également dans l'identification de biomarqueurs précoces présents dans l'environnement de l'embryon.

L'analyse de l'ensemble des stades et lignées montre que le facteur âge est plus discriminant que le facteur lignée et que la variabilité augmente en fin d'incubation (**Figure 20**).

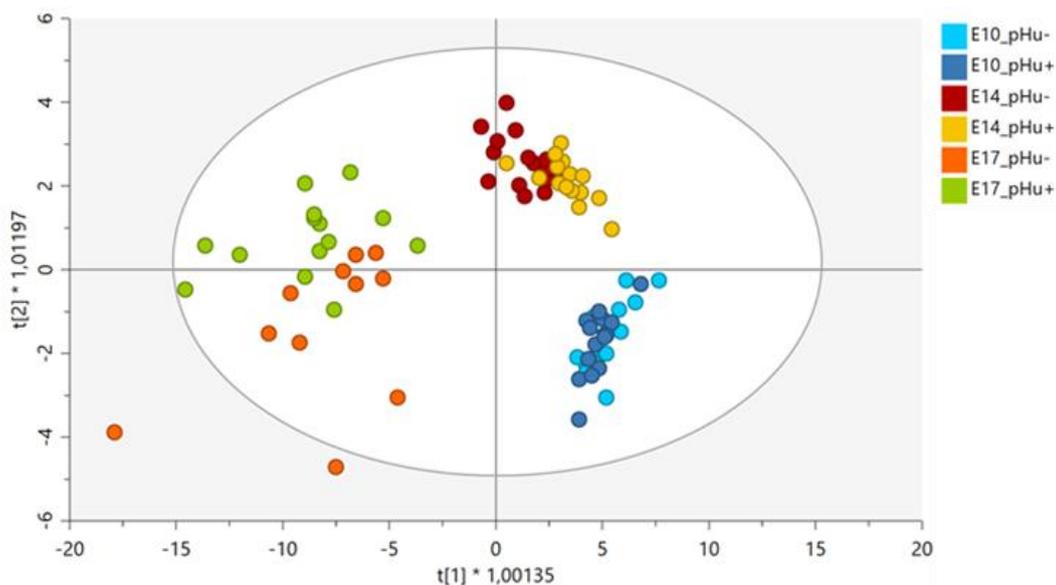


Figure 20 : Score plot obtenu par analyse supervisée OPLS-DA à E10, E14 et E17 chez les pHu+ et pHu-.

Les analyses de métabolomique ont ensuite été réalisées pour chaque âge

(Figure 21). Le modèle obtenu à E10 pour les deux lignées comprend 18 variables représentant 16 métabolites. Il explique 92% de la variation entre les 2 groupes (R²Y) et discrimine clairement les lignes pHu+ et pHu-. A E14, le modèle comprend 14 métabolites et il explique 68% des variations entre les deux lignées. A E17 le modèle comprend 35 variables représentant 25 métabolites et il explique 70% de la variation entre les deux lignées.

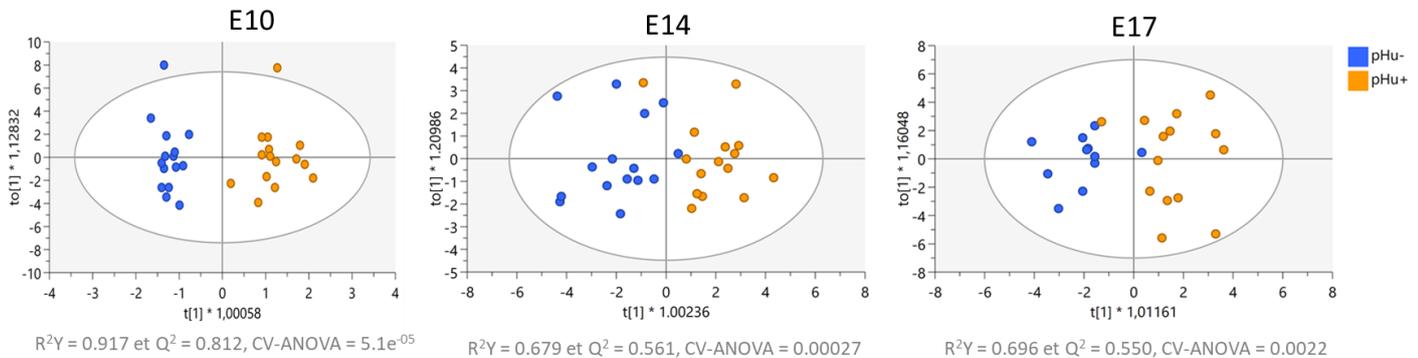


Figure 21 : Scores plots obtenus par analyse supervisée OPLS-DA à E10, à E14 et à E17 permettant de discriminer les pHu+ et pHu-.

Notre approche indirecte nous a permis de mettre en évidence une signature métabolique différente entre les embryons pHu+ et pHu- dès E10. Les pHu+, qui présentent une moindre capacité à stocker de l'énergie, présentent une signature métabolique dans le liquide allantoïque qui traduit le recours de cette lignée à des processus variés pour produire de l'énergie (catabolisme des acides aminés, oxydation des lipides, glycolyse anaérobie et respiration mitochondriale).

3. Ontogénèse du métabolisme protéino-énergétique de l'embryon

En parallèle et toujours pour comprendre la mise en place de l'orientation métabolique de ces deux lignées, l'ontogénèse des principales voies de signalisation et régulateurs du métabolisme protéino-énergétique, est explorée au cours du développement embryonnaire et post-éclosion. Pour cela, des prélèvements de tissus (foie, muscle *Pectoralis major*) et de sang ont été effectués aux stades embryonnaires E12, E14 et E18 (définis en amont selon la littérature et les résultats préliminaires), à l'éclosion (J0) puis à 8 jours d'âge (3 groupes en fonction du statut alimentaire des animaux : à jeun, réalimenté et nourri). Une liste de gènes candidats en lien avec le métabolisme lipidique, protéique, glucidique ainsi que le développement musculaire a été définie pour mesurer leur niveau d'expression par fluidigm. Des dosages ciblés seront réalisés sur le sang de ces mêmes individus (concentrations en glucose, acide urique, marqueurs du statut redox...) pour compléter la caractérisation métabolique précoce des lignées pHu. En fonction des résultats obtenus, nous analyserons plus en détail les protéines majeures impliquées dans les voies de signalisation d'intérêt (synthèse/dégradation du glycogène,

synthèse protéique/protéolyse...) et l'activation de ces voies de signalisation.

Pour caractériser plus précocement ces deux lignées, une collaboration a été développée avec S. Rival-Gervier de l'Institut Cellule souche et Cerveau INSERM, INRAE, U1208, USC1361 de Lyon dans le cadre du projet incitatif du département PHASE « COMODES » pour « Contrôles précoces du phénotype lié aux réserves en glycogène musculaire et leur modélisation par différenciation de cellules souches embryonnaires (CSE) pluripotentes de poulet ». Les animaux pHu+ sont aussi des animaux qui présentent le plus de White Striping à l'abattage (Alnahhas *et al.*, 2016), défaut qui implique des processus de dégénérescence et régénération de différents types cellulaires. Ces données suggèrent que ces deux lignées pHu peuvent potentiellement diverger dès les stades très précoces du développement embryonnaire, notamment au cours de la somitogenèse et la mise en place du dermomyotome, qui est à l'origine du dermatome et des muscles striés squelettiques. Les objectifs de cette collaboration sont d'une part d'identifier des différences dans le développement précoce de ces deux lignées lors de la somitogenèse et la formation du dermomyotome et d'autre part d'établir le protocole de différenciation musculaire des CSE de poulet pour obtenir un modèle *in vitro* mimant les observations *in vivo*. Pour répondre à ces objectifs, nous analysons les premières étapes de la différenciation des précurseurs musculaires lors de la différenciation des somites, la mise en place du dermomyotome, l'apparition des premiers précurseurs musculaires, la migration de ces précurseurs et leur différenciation dans les muscles naissants. L'expression des gènes impliqués dans la myogénèse (PAX3, MYF5, MYOG, MYOD, PAX7...) est analysée dans les embryons entiers ou sous forme de coupes, aux stades de la somitogenèse, de la mise en place du dermomyotome et de l'apparition des premières fibres (de 20h à 4j d'incubation). Dans un second axe du projet, l'équipe de S. Rival-Gervier tente de dériver de nouvelles CSE à partir des deux lignées pHu+ et pHu- à partir de protocoles maîtrisés dans leur équipe. Cette approche permettra de disposer de cellules avec le génotype des lignées pour ensuite les différencier dans la voie myogénique. Une fois le protocole de différenciation mis en place et l'établissement de cellules ES pHu+ et pHu-, nous pourrons étudier *in vitro* la divergence entre les deux lignées au cours de la différenciation. Les résultats préliminaires étant prometteurs, cette étude dépassera certainement le cadre de cet API et pourra faire l'objet d'un projet de plus grande envergure.

4. Modulation à long terme des phénotypes par l'alimentation précoce et régulation du métabolisme protéino-énergétique

La période périnatale (fin de gestation chez les mammifères, début de vie) est connue comme une période de sensibilité particulière aux variations nutritionnelles, métabolique, endocrine et environnementale, qui conditionne les comportements, les

capacités d'adaptation et les performances des animaux aux stades ultérieurs jusqu'à l'âge adulte. Elle nous semble donc propice à des interventions pour orienter les phénotypes et les produits. Des travaux récents ont montré qu'il était possible de modifier le métabolisme des oiseaux par des apports exogènes en nutriments (substrats énergétiques : glucose, acides gras, acides aminés) à des moments clés de l'embryogénèse par des injections *in ovo* et/ou l'alimentation maternelle (Uni *et al.*, 2005 ; Kornasio *et al.*, 2011 ; Kadam *et al.*, 2012 ; [55, 61, 80, 82] pour revues). Ces pratiques modifient durablement le métabolisme des embryons et induisent des différences de performances des poussins à l'éclosion (poids, stock de glycogène, poids relatif du *Pectoralis major*), et ces modifications restent pérennes jusqu'à l'âge d'abattage des animaux. Cependant, les mécanismes d'orientation précoce du métabolisme à ces périodes restent largement méconnus.

Je cherche d'une part à identifier les effecteurs les plus efficaces et les fenêtres d'intervention les plus propices pour réorienter le métabolisme des embryons précocement et d'autre part à comprendre les mécanismes par lesquels l'environnement d'élevage précoce affecte le développement des organes et des fonctions. L'identification de nutriments capables de moduler la programmation embryonnaire des oiseaux constitue un axe de recherche que j'ai amorcé dans le cadre d'un crédit incitatif en 2013 financé par le département PHASE « Modification environnementale nutritionnelle précoce de l'embryon et impact sur l'élaboration des phénotypes à long terme » dont j'ai été la coordinatrice [167]. Cette étude m'a permis d'initier ce nouveau champ d'investigation et de développer techniquement des approches de nutrition *in ovo* afin d'acquérir des résultats préliminaires pour proposer un projet ANR de plus grande envergure (OPTIMISM, OPTImisation in MetabolISM proposé en 2014 et 2015). Ces projets visaient à enrichir les connaissances sur la compréhension des interactions entre nutrition, programmation métabolique et élaboration du phénotype à long terme. Bien que très bien perçus et notés par 3 des 4 reviewers, ces deux soumissions n'ont pas abouti, et se sont notamment heurtées à des débats relevant de considérations éthiques sur l'opportunité d'injecter dans l'œuf des nutriments supplémentaires, sachant qu'à l'heure actuelle les animaux, qui présentent des vitesses de croissance fortes, développent aussi de plus en plus de défauts musculaires (white striping, wooden breast, muscle spaghetti...) comparables pour certains d'entre eux à des dystrophies musculaires. Cependant, notre objectif n'est pas d'identifier des nutriments qui favorisent encore la croissance des animaux, mais plutôt qui optimisent le métabolisme des animaux, améliorent la qualité du poussin et sa survie sur la semaine de démarrage et permettent un développement plus harmonieux de l'animal, en favorisant aussi sa robustesse et la qualité des produits.

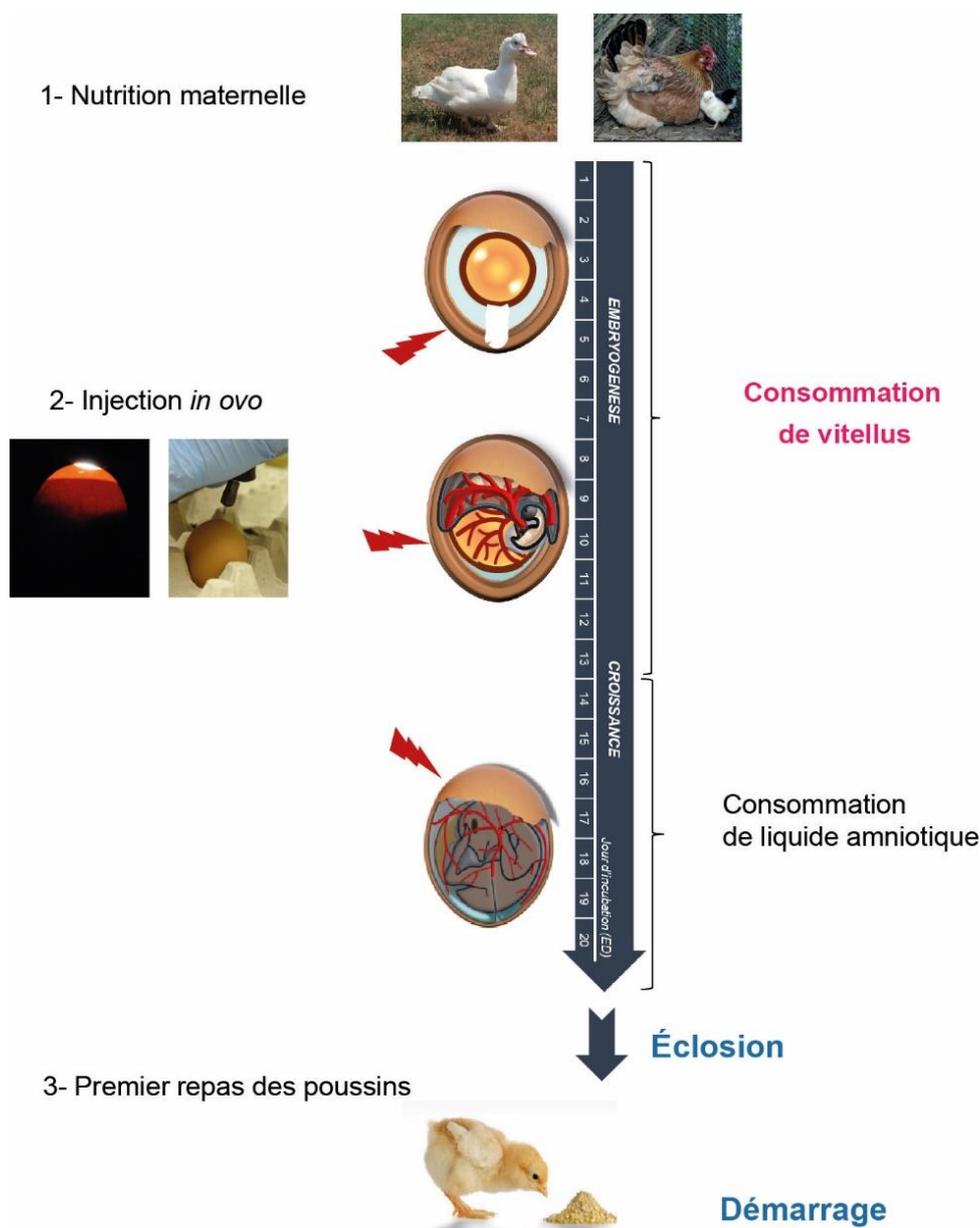


Figure 22 : Évènements nutritionnels précoces susceptibles de moduler la programmation métabolique et le phénotype des animaux [55].

Après avoir caractérisé l'ontogénèse des voies métaboliques et identifié les nutriments cibles et la fenêtre d'intervention, nous déterminerons la stratégie nutritionnelle précoce à adopter pour orienter le métabolisme protéino-énergétique (**Figure 22**). Notre objectif premier serait par exemple d'augmenter les réserves énergétiques de poussins déficitaires en glycogène musculaire (pHu+ ou autre souche à croissance rapide). Pour atteindre cet objectif, comme preuve de concept les injections *in ovo* pourraient être privilégiées mais en fonction de leur faisabilité, l'alimentation maternelle et l'alimentation durant la première semaine d'âge restent autant de possibilités pour orienter le métabolisme des poussins. Concernant, cette dernière possibilité, le projet PRESAGE déposé à l'appel à projets 2022

FranceAgriMer visera à repenser la nutrition protéique avec des aliments diversifiés et digestibles pour la santé, le bien-être et la robustesse du jeune poussin. Ces études auront pour finalité d'enrichir les connaissances sur la compréhension des interactions entre nutrition, programmation métabolique et élaboration des phénotypes à long terme. Cette approche devrait permettre l'adaptation des animaux à de nouvelles conditions d'élevage (reproducteurs élevés au sol, animaux plein air...).

II. Identification d'indicateurs et de biomarqueurs de la qualité du poussin

La phase de démarrage des poussins, cruciale pour le devenir des animaux, est particulièrement délicate à gérer et démontre l'importance de la qualité du poussin à l'éclosion [83, 85]. L'amélioration de la robustesse des animaux au jeune âge passe par le développement de nouveaux indicateurs et biomarqueurs de la qualité du poussin. Dans le cadre de l'UMT BIRD 3.0 " Aviculture, Système et Territoire" dont je fais partie, le projet Chick'Tip a été financé dans l'appel à projets CASDAR « Recherche Technologique 2017 ». Ce projet, coordonné par A. Travel (ITAVI), pour lequel je suis la responsable scientifique INRAE, a pour objectif d'identifier des indicateurs et biomarqueurs relatifs à la robustesse des volailles. Le projet Chick'Tip combine phénotypage à haut débit et méthodes intégrées d'analyse de données pour revisiter la mesure de la qualité des poussins et proposer un outil partagé par les acteurs de la sélection, de l'accoupage et de l'élevage.

Dans ce projet, des modèles génétiques et environnementaux contrastés ont été utilisés dans l'objectif de maximiser la variabilité des réponses individuelles en termes de qualité de poussin (**Figure 23**). Cette qualité a été scorée à l'éclosion (J0), avant leur mise en place en bâtiment (J1) puis à J7 afin d'établir des profils de qualité de poussins sur la semaine de démarrage. En parallèle, les œufs à couver, embryons et poussins sont caractérisés finement par des indicateurs d'état (morphologiques, anatomiques) et de performances (croissance) mais également par des biomarqueurs du métabolisme, de développement osseux, de l'immunité... Les approches ont été développées via des analyses sans à priori (1H-RMN, spectrométrie de masse) ou plus ciblées sur des matrices différentes plus ou moins invasives (tissus, sang, fèces).

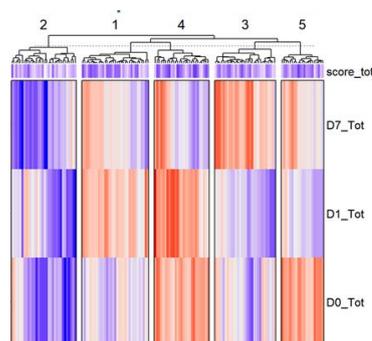
L'ensemble de ces mesures fait actuellement l'objet d'une analyse statistique multivariée et intégrative dans l'objectif d'identifier les indicateurs et biomarqueurs les plus pertinents pour prédire la qualité et la robustesse des poussins (**Figure 24**). Ces indicateurs et biomarqueurs prédictifs de la qualité des poussins pourront ensuite être validés en population pedigree afin de proposer de nouveaux critères de sélection.

**Environnement précoce X
Origine génétique**



**Score de qualité à J0, J1
et J7**

**Classification des poussins
selon leur score à J0, J1 et J7**



**Création d'une variable synthétique
⇒ 3 profils**

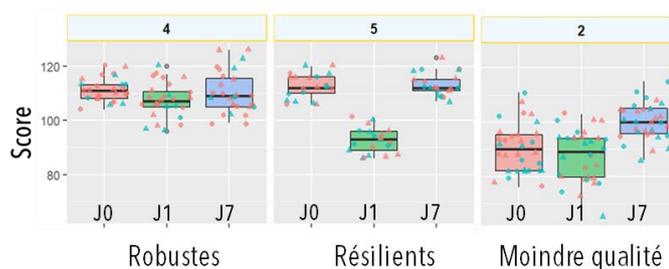


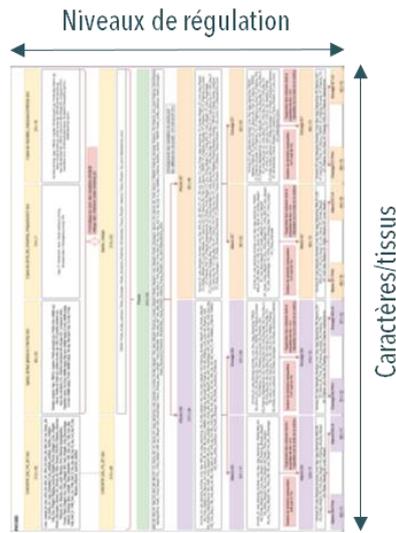
Figure 23 : Stratégie développée dans le projet Chick'Tip pour catégoriser les poussins au cours de leur semaine de démarrage.

Ainsi ce projet Chick'Tip vise à revisiter la réponse adaptative du métabolisme du poussin grâce à l'intégration de multiples données phénotypiques et biologiques. Une approche de modélisation permettra d'établir, à partir des différentes études réalisées, des profils de réponse des animaux aux conditions périnatales d'élevage et de prédire les effets de leviers d'orientation précoces des phénotypes.

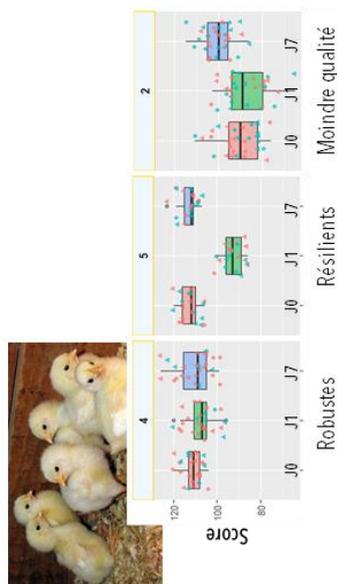
Il est pour cela nécessaire d'améliorer le traitement informatique des données acquises en routine et/ou à haut débit par l'écriture de codes et la programmation, de trouver les formalismes adaptés pour modéliser les données et les connaissances, de construire des modèles qui font le pont entre les données physiologiques et phénotypiques et les profils de réponses à l'échelle de l'animal.

A terme, l'ensemble de ces travaux vise clairement à concevoir et à évaluer de nouvelles pratiques d'élevage, en particulier pendant la période périnatale, à même de favoriser le développement harmonieux des volailles de chair, et à aider à prédire les conséquences de pratiques d'élevages ou de sélection sur la qualité de la production, la robustesse et la santé des animaux.

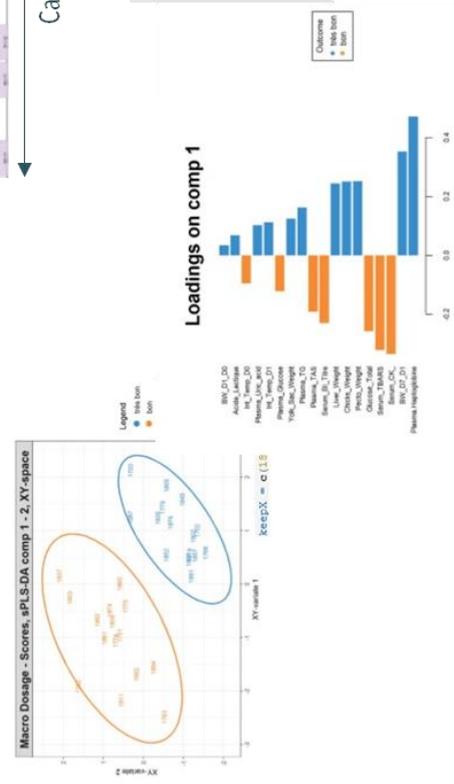
Phénotype multicritères, multi-tissulaire et profond (→ moléculaire)



Faire le lien entre la réponses des animaux et les régulations mises en jeu



Evaluer les réponses multiples → équilibres entre fonctions (production, adaptation, qualité)



Identifier des biomarqueurs ou indicateurs prédictifs

Figure 24 : Stratégie déployée dans le projet Chick'Tip pour identifier des biomarqueurs et indicateurs précoces de la qualité du poussin et à plus long terme de la robustesse des animaux.

CONCLUSION

Mon parcours scientifique m'a permis d'acquérir un socle de connaissances et une expertise large sur la physiologie de l'oiseau (Reproduction-Nutrition-Métabolisme). Après avoir dans un premier temps apporté mon expertise dans les programmes de recherche des autres scientifiques de l'équipe, j'ai pu proposer mes propres projets avec le réseau de collaborations que j'ai mis en place. Aujourd'hui, ces projets fédèrent de nombreuses personnes de l'unité et d'ailleurs.

Dans l'avenir, je souhaite préserver mon identité de « Physiologiste » et continuer à mettre en œuvre des approches mécanistiques (ciblées ou sans *à priori*), réalisées *in vivo* et *in vitro*. J'ai toutefois conscience que la recherche évolue énormément notamment quand il s'agit des productions animales. Devant la pression sociétale, il faut aujourd'hui prendre davantage en considération le bien-être des animaux en élevage, leur santé et leur robustesse et il devient essentiel de rechercher des compromis entre fonctions adaptatives et productives. Il ne suffit donc plus d'étudier un mécanisme dans un tissu et il faut repenser nos approches à l'échelle de l'animal, en évaluant l'impact de nos stratégies (alimentaire pour ma part) sur différentes fonctions (immunité, bien-être, croissance, reproduction, qualité du produit), et ce, à l'échelle de la carrière de l'animal, voire de sa descendance. L'orientation métabolique précoce et ses conséquences sur le statut énergétique resteront le fil conducteur de mes travaux. Je continuerai ainsi les études des mécanismes moléculaires contrôlant les réserves énergétiques mais je l'aborderai dans un tout autre dimensionnement en commençant par la caractérisation du statut énergétique des reproducteurs et de l'alimentation du jeune. Mes futurs travaux participeront ainsi à l'évaluation des impacts de nouveaux modes d'élevage et de sélection favorisant le bien-être des reproducteurs et des jeunes (*reproduction au sol, élevage en plein air*).

Le positionnement de mes recherches s'inscrit parfaitement dans le futur projet de l'Unité qui s'oriente selon trois grands axes :

- EVALUER les capacités d'adaptation métabolique et comportementale des volailles et la qualité de leur viande à l'aide d'indicateurs et biomarqueurs, si possible non invasifs
- COMPRENDRE leurs déterminismes génétique et physiologique en intégrant les différentes étapes de la vie de l'animal (transmission / programmation)
- AGIR en proposant des outils et pratiques innovantes pour la sélection et la conduite d'élevage.

REFERENCES

- Aigueperse N, Calandreau L, Bertin A (2013). Maternal diet influences offspring feeding behavior and fearfulness in the precocial chicken. *PLoS One*, 8(10), e77583.
- Alnahhas N, Berri C, Boulay M, Baéza E, Jégo Y, Baumard Y, Chabault M, Le Bihan-Duval E., (2014). Selecting broiler chickens for ultimate pH of breast muscle: analysis of divergent selection experiment and phenotypic consequences on meat quality, growth, and body composition traits. *J Anim Sci.* ;92(9):3816-24. doi: 10.2527/jas.2014-7597.
- Alnahhas N, Berri C, Chabault M, Chartrin P, Boulay M, Bourin MC, Le Bihan-Duval E. (2016). Genetic parameters of white striping in relation to body weight, carcass composition, and meat quality traits in two broiler lines divergently selected for the ultimate pH of the pectoralis major muscle. *BMC Genet.* 17, 61.
- Beauclercq S, Nadal-Desbarats L, Hennequet-Antier C, Collin A, Tesseraud S, Bourin M, Le Bihan-Duval E, Berri C, (2016). Serum and Muscle Metabolomics for the Prediction of Ultimate pH, a Key Factor for Chicken-Meat Quality. *J Proteome Res.*;15(4):1168-78. doi: 10.1021/acs.jproteome.5b01050.
- Bergoug H, Guinebretière M, Tong Q, Roulston N, Romanini CE, Exadaktylos V, Berckmans D, Garain P, Demmers TG, McGonnell IM, Bahr C, Burel C, Eterradossi N, Michel V, (2013). Effect of transportation duration of 1-day-old chicks on postplacement production performances and pododermatitis of broilers up to slaughter age. *Poult. Sci.*, 92(12), 3300-9.
- Berri C, Debut M, Santé-Lhoutellier V, Arnould C, Boutten B, Sellier N, Baéza E, Jehl N, Jégo Y, Duclos MJ, Le Bihan-Duval E., (2005). Variations in chicken breast meat quality: implications of struggle and muscle glycogen content at death. *Br Poult Sci.* 46(5):572-9. doi: 10.1080/00071660500303099.
- Berri C, Picard B, Lebret B, Andueza D, Lefèvre F, Le Bihan-Duval E, Beauclercq S, Chartrin P, Vautier A, Legrand I, Hocquette JF., (2019). Predicting the Quality of Meat: Myth or Reality? *Foods.* 8(10):436. doi: 10.3390/foods8100436.
- Byers MS, Howard C, Wang X. (2017) Avian and Mammalian Facilitative Glucose Transporters. *Microarrays (Basel)*;6(2):7. doi: 10.3390/microarrays6020007.
- Coudert E, (2016). Mécanismes régulant l'utilisation périphérique du glucose chez l'oiseau. Focus sur le transport de glucose. Thèse en Science de la Vie de l'Université François Rabelais de Tours. 199p.
- Decuypere E et al., (2003). In: *Poultry Genetics, Breeding and Biotechnology*, W.

Muir and S.E. Aggrey edit, Cabi Publishing, Wallingford, UK. 13-28.

Emmerson DA, (1997). Commercial approaches to genetic selection for growth and feed conversion in domestic poultry. *Poult. Sci.*, 76(8), 1121-5. Review.

Havenstein GB, Ferket PR, Qureshi MA, (2003). Growth, livability, and feed conversion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poult. Sci.*, 82(10), 1500-8.

Ho DH, Reed WL, Burggren WW, (2011). Egg yolk environment differentially influences physiological and morphological development of broiler and layer chicken embryos. *J. Exp. Biol.*, 214(Pt 4), 619-28.

Hocking PM, (2010). Developments in poultry genetic research 1960-2009. *Br. Poult. Sci.*, 51 Suppl 1, 44-51. Review.

Kadam MM, Barekataan MR, Bhanja SK, Iji PA, (2013). Prospects of in ovo feeding and nutrient supplementation for poultry: the science and commercial applications--a review. *J. Sci. Food Agric.*, 93(15), 3654-61.

Kornasio R, Halevy O, Kedar O, Uni Z, (2011). Effect of in ovo feeding and its interaction with timing of first feed on glycogen reserves, muscle growth, and body weight. *Poult. Sci.*, 90(7), 1467-77.

Kuttappan VA, Hargis BM, Owens CM., (2016). White striping and woody breast myopathies in the modern poultry industry: a review. *Poult Sci.* 95(11):2724-2733. doi: 10.3382/ps/pew216.

Lu JW, McMurtry JP, Coon CN., (2007). Developmental changes of plasma insulin, glucagon, insulin-like growth factors, thyroid hormones, and glucose concentrations in chick embryos and hatched chicks. *Poult Sci.* 86(4):673-83. doi: 10.1093/ps/86.4.673.

Monin G & Sellier P, (1985). Pork of low technological quality with a normal rate of muscle pH fall in the immediate post-mortem period. The case of the Hampshire breed. *Meat Sci.* 13, 49–63.

Petracci M, Cavani C., (2012). Muscle growth and poultry meat quality issues. *Nutrients.* 4(1):1-12. doi: 10.3390/nu4010001.

Petracci M, Soglia F, Madruga M, Carvalho L, Ida E, Estévez M., (2019). Wooden-Breast, White Striping, and Spaghetti Meat: Causes, Consequences and Consumer Perception of Emerging Broiler Meat Abnormalities. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* ;18(2):565-583. doi: 10.1111/1541-4337.12431.

Soglia F, Petracci M, Davoli R, Zappaterra M. (2021). A critical review of the mechanisms involved in the occurrence of growth-related abnormalities affecting

broiler chicken breast muscles. *Poult Sci.* ; 100(6):101180. doi: 10.1016/j.psj.2021.101180.

Tona K, Bamelis F, De Ketelaere B, Bruggeman V, Moraes VM, Buyse J, Onagbesan O, Decuypere E., (2003). Effects of egg storage time on spread of hatch, chick quality, and chick juvenile growth. *Poult. Sci.*, 82(5), 736-41.

Uni Z, Ferket PR, Tako E, Kedar O, (2005). In ovo feeding improves energy status of late-term chicken embryos. *Poult. Sci.*, 84(5), 764-70.

Zuidhof MJ, Schneider BL, Carney VL, Korver DR, Robinson FE, (2014). Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. *Poult. Sci.*, 93(12), 2970-82.

RÉSEAUX DE RECHERCHE ET DE COLLABORATIONS

I. Collaborations au sein de l'unité ou de INRAE

1. Au sein de l'équipe MOQA

Des collaborations quotidiennes sont effectives avec S. Tesseraud, E. Baeza, C. Praud ou C. Berri quand il s'agit d'aborder les régulations du métabolisme en général avec des finalités de croissance, composition corporelle et qualité des produits (stratégies nutritionnelles) ou de biologie du muscle. D'autres collaborations complémentaires se sont mises en place avec A. Collin, V. Coustham et L. Guilloteau dans le cadre d'études et projets concernant plus la période périnatale, la plasticité métabolique, l'élaboration des phénotypes à long terme et la robustesse des animaux.

2. Au sein de l'UMR BOA

Des collaborations avec l'équipe Adaptation, Qualité et Sélection (AQSel) (département GA) [30, 33, 37, 42, 47-49, 51, 54, 59, 62-64] et Alimentation et Systèmes d'Élevage (AliSÉ) [40, 43, 44, 46, 58] sont bien établies et ont conduit à de nombreuses co-publications. Celles avec l'équipe Défenses de l'Œuf, Valorisation, Evolution (DOVE) sont plus récentes et en plein essor autour d'une réflexion sur l'embryon et son milieu environnant et les conséquences des interactions embryon / environnement sur l'élaboration de son phénotype ultérieur. Elles s'inscrivent en partie dans le projet ANR 2017 ENERGICS, le crédit incitatif 2017 INOVE et le projet CASDAR « Chick'Tip ». Ces nouveaux développements ont déjà donné lieu à une co-publication [62] et plusieurs communications [125, 128-129]. Chacun de ces projets fédère au moins 3 des 4 équipes de l'unité.

3. Collaborations INRAE

Je collabore régulièrement avec l'équipe GCR (Gonade, Conservation, Régénération) et SENsor (Senseurs énergétiques et signalisation de la reproduction) de l'UMR PRC de Nouzilly notamment autour des questionnements sur les interactions « Métabolisme - Reproduction ». Je suis ainsi sollicitée régulièrement pour participer aux comités de thèse des doctorants de cette équipe. Cette collaboration s'est faite au travers de différents Projets de Recherche d'Intérêt Régional (APR IR) tels que OXYFERTI (2015) ou PREVADI (2016) et s'est traduite par plusieurs publications et communications communes [16, 18-19, 28, 32, 34-35, 41, 45, 53, 57]. Ces échanges se sont renforcés du fait de notre appartenance respective à l'UMT BIRD 3.0 « AVICULTURE SYSTÈME ET TERRITOIRE » (2017-

2021) (cf ci-dessous). Des collaborations ont également été développées avec l'UMR PEGASE, INRAE Rennes au travers des projets FATINTEGER 2012-2015, ou des contrats de Recherches avec ADISSEO : LIPIDOX 2013-2014 et METHIO+ 2015-2016) [46-47, 50, 54].

Plus récemment, grâce aux échanges dans le cadre du conseil scientifique du Département PHASE, j'ai élargi mon réseau en interagissant avec S. Rival-Gervier (Stem Cell and Brain Research Institute, Université Lyon 1, INSERM, INRAE, U1208, USC1361). Du fait de la complémentarité de nos approches, nous avons pu proposer le projet COMODES, API financé par le Département PHASE. Nos premiers résultats nous permettent d'envisager le dépôt d'un projet de plus grande envergure qui contribuera à pérenniser notre collaboration.

II. Collaborations nationales et internationales non-INRAE

Dans le cadre de l'UMT BIRD 3.0 « AVICULTURE SYSTÈME ET TERRITOIRE » (2017-2021), je développe aujourd'hui des travaux en collaboration avec les Instituts techniques ITAVI, ITAB et SYSAAF. Le meilleur exemple de cette collaboration est le projet Chick'Tip (2018-2021). Pour faire suite, un nouveau programme de recherche d'UMT vient d'être soumis, l'UMT « BECOME » (Bien-être, Eleveurs, COnsommateurs, MarchEs, [2023-2027]). Cette proposition de nouvelle UMT a été construite avec de nouvelles questions et un nouveau périmètre : « Améliorer le bien-être des volailles, en réponse aux marchés, tout en préservant la compétitivité des filières et l'environnement ». Les deux principaux axes de ce nouveau projet sont

- D'améliorer les capacités d'adaptation via les leviers précoces et génétiques
- De faire évoluer le milieu de vie et les pratiques en faveur du BEA et de l'éthique

Des collaborations plus techniques avec des plateformes sont aussi établies et perdurent au travers de différents projets. Ainsi, depuis plusieurs années, L. Nadal-Desbarats du Département d'analyse chimique et métabolomique de la plateforme PST-ASB, Plateforme Scientifique et Technique-Analyse des Systèmes Biologiques de l'UFR de Médecine de Tours est impliquée dans plusieurs de nos projets, tels que INOVE (2017) ou Chick'Tip (2018-2022). La plateforme analyse non-seulement nos échantillons mais accueille également nos étudiants pour les former aux approches de RMN 1H ou de spectrométrie de masse et aux analyses statistiques qui en découlent.

Au niveau international, historiquement, les relations les plus anciennes ont été établies avec le laboratoire « Laboratory of Livestock Physiology, Department of Biosystems », de l'université catholique de Leuven (Belgique) (E. Decuyper, J.

Buyse et N. Everaert). Les principales collaborations se sont faites initialement au travers d'un projet Européen (BBP project : Broiler, Breeder Paradox) [6, 8, 11, 14-15] puis d'échanges d'étudiants entre nos deux laboratoires (N. Everaert accueillie plusieurs mois dans l'équipe en stage post-doctoral [23-26, 29, 37, 39], et Y. Wang en stage de 6 mois dans le cadre de sa thèse [56]).

Plus récemment, des échanges ont été initiés autour du modèle divergent des lignées pHu avec l'Université de l'Arkansas (S. Dridi, USA) pour comprendre à partir de ce modèle expérimental quels étaient les mécanismes impliqués dans le développement du défaut musculaire de White Striping. Un projet a ainsi été soumis sur l'appel à projet USDA 2021 (Mechanistic understanding of white striping myopathy. pHu chicken lines: a highly relevant and unique model for mechanistic understanding of white striping myopathy). Notre contribution dans ce projet relevait des études autour du métabolisme du glycogène.

ACTIVITÉS ET RESPONSABILITES COLLECTIVES

I. Activité d'animation

Depuis mon recrutement, j'ai d'abord été impliquée dans de nombreux projets de l'équipe puis, je me suis investie dans l'élaboration et le développement de mes propres projets. J'ai ainsi coordonné deux projets « crédits incitatifs PHASE » (2013 et 2017). Chacun de ces projets, que j'ai animé, avait pour objectif d'acquérir des résultats préliminaires en vue de soumettre des programmes de plus grande envergure de type ANR. J'ai ainsi coordonné le projet « Modification environnementale nutritionnelle précoce de l'embryon et impact sur l'élaboration des phénotypes à long terme » en collaboration avec l'équipe SENSor (UMR PRC, P. Froment) avec laquelle je collabore régulièrement notamment autour des questionnements sur les interactions « Métabolisme - Reproduction ». Les résultats préliminaires nous ont permis de proposer à l'AAPG ANR 2014 puis 2015 le projet « OPTIMISM : OPTImisation in MetabolISM ». J'ai aussi coordonné un second « Crédits Incitatifs PHASE 2017 », INOVE : recherche d'INDicateurs *in OVo* du statut Energétique de l'animal pour des applications en sélection et en élevage ». Ce projet regroupait 3 des 4 équipes de l'UMR BOA (AQSel, DOVE et MOQA). Il nous a permis pour la première fois d'établir de fortes interactions avec l'équipe DOVE autour d'une réflexion sur l'embryon et son milieu environnant et les conséquences des interactions embryon / environnement sur l'élaboration de son phénotype ultérieur. Dans la continuité de cette étude, nous avons proposé le projet ENERGICS dans la catégorie « Sécurité Alimentaire et Défi Démographique » à l'AAPG ANR 2017 en étroite collaboration avec l'équipe AQSel (coordinatrice du projet).

Plus récemment, dans le cadre du projet transversal de notre unité et celui de l'UMT BIRD, nous avons proposé le projet Chick'Tip dans l'appel à projets « recherche technologique 2017 ». Ce projet, coordonné par A. Travel (ITAVI), pour lequel je suis la responsable scientifique INRAE, s'inscrivait pleinement dans l'Axe 4 du programme de l'UMT BIRD-ASTER, élaboré en concertation avec l'ITAVI, le SYSAAF, l'ITAB et nos autres partenaires INRAE (ISP, PRC, PEAT, EASM) (2018-2021) avec pour objectif d'identifier des indicateurs et biomarqueurs relatifs à la robustesse des volailles, de collecter et traiter ces informations et d'établir des règles de décision et outils de pilotage.

II. Activités collectives dans l'UMR BOA

Je me suis investie dans la vie collective de l'Unité en tant que membre élu du Conseil de Service de 2006 à 2010. J'ai également participé à deux groupes d'assurance qualité « Produits et Réactifs » et « Traçabilité des activités et échantillons » au sein de l'unité.

De 2012 à 2016, j'ai fait partie du conseil scientifique du Centre INRAE Val de Loire en tant que membre élue. Depuis 2016, j'ai intégré le conseil scientifique du Département PHASE. Ces expériences enrichissantes m'ont permis d'affûter mon esprit critique par rapport à des thématiques très diverses et très intéressantes. Dans le cadre de ces missions, j'ai été amenée à évaluer des projets déposés lors des appels d'offre de la Région Centre (Recherche d'Initiative Académique), des dossiers scientifiques d'enseignants chercheurs, des demandes de profils de poste, des demandes de bourse de thèse...

Aujourd'hui, je représente l'unité dans les discussions autour du développement du numérique et de capteurs dans le cadre du lancement du PEPR « agroécologie et numérique ». Une proposition a ainsi été faite AMI F2E- LETI 2021. Méthodes de détection/diagnostic précoce « Adaptations et ruptures métaboliques chez les animaux d'élevage : suivis dynamiques par capteurs embarqués multiplexés pour une meilleure maîtrise de leur multi-performance et résilience ». La proposition n'a pas été retenue mais la constitution d'un consortium et les échanges réalisés en amont ont permis de rééchanger dans le cadre du lancement du PEPR « agroécologie et numérique » fin 2021 et de faire remonter des propositions en 2022. Malheureusement des choix d'espèces ont dû être arbitrés et l'oiseau n'a pas été retenu dans le cadre de cette première vague.

ACTIVITÉS D'ENCADREMENT ET D'ENSEIGNEMENT

I. Activités d'encadrement

1. Doctorat

2012-2016 : Encadrement de la thèse de **E. Coudert**. « Mécanismes régulant l'utilisation périphérique du glucose chez l'oiseau, focus sur le transport de glucose. » HDR responsable : S. Tesseraud. Les valorisations issues de cette thèse sont les publications et communications suivantes [45, 53, 59, 111, 113, 115, 161, 165, 166].

2020-2023 : Encadrement de la thèse de **A. Petit**. « Orientation métabolique précoce de poulets issus de deux lignées divergentes pour leurs réserves énergétiques musculaires et interaction avec l'alimentation. » HDR responsable : S. Tesseraud. Les premières valorisations de ce travail de thèse sont les suivantes [55, 57, 61, 62, 63, 64, 86, 125, 174, 176].

2. Contribution à la formation de doctorants de l'équipe et de l'unité

De par mes connaissances et mon expertise, je suis souvent sollicitée pour participer à la formation des nouveaux doctorants et plus largement à collaborer avec des post-doctorants dans le cadre de projets de l'équipe ou plus largement de l'unité. De ce fait, je suis souvent associée aux publications qui découlent de ces travaux de recherche : A. Heck [6, 8], S. Duchêne [16, 18, 20], A. Deshmukh [21], N. Everaert [24, 39], R. Joubert [25, 28], S. Boussaid [26, 31], M. Jlali [33], T. Loyau [37, 42, 48, 49], J. Faure [38], T.M.D Nguyen [41], S. Guardia [43], R. Castellano-Perez [50], S. Beauclercq [51], Y. Wang [56], A. Barbe [57], A.S Valable [58].

3. Masters

2008 : **Mameri H.** Alimentation séquentielle et régulations du métabolisme protéino-énergétique chez le poulet. Master 1 en Biochimie, Université François Rabelais, Tours (FRA), 10p + annexes.

2008 : **Osta BA.** Rôles potentiels de la méthionine dans le métabolisme protéique. Master 1 en Physiologie Animale, Université François Rabelais, Tours (FRA), 10p + annexes.

2009 : **Mameri H.** Mécanismes régulant l'utilisation périphérique du glucose :

Implication de l'AMPK. Master 2 en Sciences de la Vie et de la Santé, Spécialité Recherche « Physiologie, Biomolécules et Thérapeutiques », Université François Rabelais, Tours (FRA), 25p [27].

2018 : Franzoni A. Reproductive performances and early phenotypic characterization of two chicken lines divergently selected on their energetic status. Stage ERASMUS (3 mois) dans le cadre d'une thèse de l'Université de Pise (Italie) équivalent à un Master en France.

2022 : Palomar M. Doctorante à l'Université CEU Cardenal Herrera de Valence (Espagne). Stage de 3 mois pour obtenir un label de doctorat européen. Son projet visait à acquérir des connaissances fondamentales de l'impact de nutriments sur l'orientation précoce du métabolisme des oiseaux.

4. BTS et IUT

2010 : David J. Stage de BTS Anabiotec, Lycée privé d'Orion (53600 Evron). Rôle de la méthionine dans la régulation du métabolisme glucidique au niveau du muscle chez l'oiseau. 21p.

2012 : Daguin J. Stage de BTS Anabiotec, Lycée privé d'Orion (53600 Evron). Innovol : Elaborer des stratégies innovantes d'alimentation afin d'obtenir une meilleure qualité de viande chez le poulet de chair. 21p.

2014 : Ramel J. Stage de BTS Anabiotec, Lycée Agricole de Vendôme (41106 Vendôme). Rôle de la méthionine dans la régulation du métabolisme lipidique chez l'oiseau. 22p.

2015 : Royer D. Caractérisation métabolique précoce de deux lignées de poulet sélectionnées de façon divergente sur leur pH ultime (30p). Institut Universitaire de Technologie de Tours, Département Génie Biologique – Option Analyses Biologiques et Biochimiques [59].

2018 : Riche A. Stage de BTS Productions animales, Lycée Agricole de Fondettes (37230 Fondettes). Caractérisation de l'environnement et le métabolisme in ovo des embryons de différentes lignées de poulet au cours de leur développement.

5. Ecole d'ingénieur

2011 : Flamion N. Stage de pré-option ENITA de Bordeaux. Effet des AGPI n-3 sur le métabolisme protéique du poulet en croissance. 22p. Coencadrement du stage : 20%.

2022 : Baguenier-Desormeaux H. Stagiaire de l'Institut Polytechnique UniLaSalle. Comprendre les déterminants de la qualité des poussins et proposer un outil d'évaluation et des pistes pour améliorer la réussite de la période de démarrage. Durée 6 mois.

II. Membre de comité de thèse

P. Tartarin : Rôle de la voie de signalisation AMPK/mTOR dans la fonction de reproduction. 2009-2013, UMR PRC, INRA, Nouzilly.

T. Loyau : Etude intégrative des effets à long terme des manipulations thermiques pendant l'embryogenèse chez le poulet de chair. 2010-2013, URA, INRA, Nouzilly

M. Reverchon : Identification, rôle et mécanisme d'action des adipocytokines dans la fonction de reproduction femelle. 2011-2014, UMR PRC, INRA, Nouzilly.

T.M.D. Nguyen : Rôle de protéines clés de signalisation dans la qualité de cellules de reproduction destinées à être cryopréservées. 2011-2015, UMR PRC, INRA, Nouzilly.

M. Faure : Effet de la Metformine, un activateur pharmacologique de l'AMPK sur le développement des gonades mâles et femelles et sur la fertilité *in vivo* et *in vitro*. 2013-2016, UMR PRC, INRA, Nouzilly.

N. Mellouk : Dynamique de signalisation de la chémérine dans les cellules ovariennes de différentes espèces. 2015 -2018, UMR PRC, INRA, Nouzilly.

J. Grandhaye : Utilisation des polyphénols dans la fonction gonadique. 2017-2020, UMR PRC, INRAE, Nouzilly.

A. Barbe : Expression of four adipokines, chemerin, adiponectin, visfatin and adipolin in plasma and metabolic and reproductive tissues in Large White and Meishan sows and in response to various nutritional conditions in reproductive hens. 2017-2020, UMR PRC, INRAE, Nouzilly.

L. Serra : Impact des pesticides sur la fertilité mâle et femelle. 2021-2023, UMR PRC, INRAE, Nouzilly.

III. Activité d'enseignement

Depuis 2012, j'interviens en Master M2 « Physiopathologies » de Tours sur les « Techniques d'étude du kinome et du phosphoprotéome » dans le cadre de l'UE TC1 Signalisation Cellulaire et Techniques Associées du Master Sciences de la Vie

et de la Santé de l'Université de Tours. Cette intervention fait l'objet de 2h de cours/an.

IV. Participation à des jurys

En rouge, les étudiants que j'ai directement encadrés.

2015 : Jury de Diplôme d'Initiation à la Recherche Scientifique (DIRS) de **M. Diot**. Expression des adipocytokines et de plusieurs acteurs du métabolisme lipidique dans le tissu adipeux et les cellules de la granulosa pendant la lactation chez la vache laitière : importance du récepteur GPR120, Université François Rabelais de Tours, France.

2016 : Jury de thèse de **Coudert E**. Mécanismes régulant l'utilisation périphérique du glucose chez l'oiseau, Université François Rabelais de Tours, France.

2016 : Jury de thèse de **Franssens L**. Effects of insulin, tolbutamide or streptozotocin treatment in perinatal broiler chicks, Université de Leuven, Belgique.

2017 : Jury de diplôme d'ingénieur CNAM (Spécialité des Sciences et Techniques du vivant, option génie biologique) de **N. Couroussé**. Effets des hormones triiodothyronine (T3) et insuline dans la régulation *in vitro* du métabolisme des cellules musculaires de poussins acclimatés ou non à la chaleur pendant l'embryogénèse, Paris, France.

2018 : Jury de thèse de **Franzoni A**. Reproductive performances and early phenotypic characterization of two chicken lines divergently selected on their energetic status, Thèse de l'Université de Pise, Italie.

2019 : Jury de thèse de **Bertevello P.S**. Lipids in bovine ovarian follicle: mass spectrometry analysis and regulation, Université de Tours, France.

LISTE DES CONTRATS ET OBTENTION DE FINANCEMENTS

I. Projets institutionnels

2010-2012 : Projet de recherche finalisée et innovation des instituts techniques agricoles « INNOVOL : Innover pour améliorer la durabilité des systèmes de production du poulet de chair français », coordonné par V. Gigaud (ITAVI). *Statut : Partenaire.*

2018-2022 : Appel à projets « Recherche Technologique » CASDAR RT : Chick'Tip, Un monitoring précoce de la qualité des poussins pour une production avicole plus durable. Prolongement d'un an pour cause Covid 19. Chef de projet : A. Travel (ITAVI, Nouzilly). *Statut : Coordinatrice scientifique pour INRAE (Centre Val de Loire, Nouzilly).*

II. Projets ANR

2010-2012 : Projet ANR « THERMOCHICK » coordonné par A. Collin. Identification des mécanismes métaboliques modifiés par le conditionnement précoce des animaux à la chaleur et évaluation des conséquences au niveau du fonctionnement mitochondrial, de la thermotolérance des animaux, du développement du muscle, de la croissance et de la qualité de la viande. *Statut : Partenaire.*

2012-2015 : Projet ANR « FATINTEGER » Recherche de régulateurs clefs de la plasticité lipidique chez deux espèces monogastriques majeures (porc et poulet) en combinant des données haut-débit et des approches statistique, bioinformatique et phylogénétique. *Statut : Partenaire.*

2020-2024 : Projet ANR « SENTINEL » High-throughput tools for a reinforced chemical safety surveillance of food. Porteur du projet : E. Engel (Equipe MASS, Microcontaminants, Aromes et Sciences Séparatives de l'Unité de Recherche INRAE sur la Qualité des Produits Animaux, Clermont-Ferrand). *Statut : Partenaire.*

III. Crédits incitatifs du département PHASE

2008 : Crédit incitatif PHASE « Recherche d'un transporteur de glucose insulino-sensible type « GLUT4 » chez le poulet : mise en évidence, caractérisation et régulations de ce transporteur ». *Statut : Coordinatrice.*

2013 : Crédit incitatif EMERGENCE PHASE « Modification environnementale nutritionnelle précoce de l'embryon et impact sur l'élaboration des phénotypes à long

terme ». *Statut : Coordinatrice.*

2017 : Crédit Incitatif PHASE « INOVE : recherche d'Indicateurs in OVo du statut Energétique de l'animal pour des applications en sélection et en élevage ». *Statut : Coordinatrice.*

2019 : Crédit incitatif PHASE « ImEGGging : évaluation de l'intérêt des outils d'imagerie IRM et CT-Scan pour phénotyper les œufs embryonnés ». *Statut : Partenaire.*

2021 : Appel à Projets Innovants Département PHASE « COMODES : Contrôles précoces du phénotype lié aux réserves en glycogène musculaire et leurs modélisations par différenciation de cellules souches embryonnaires pluripotentes de poulet ». En collaboration avec USC 1361-CSC Institut Cellule souche et Cerveau. *Statut : Partenaire.*

IV. Contrats de recherche avec un partenaire privé

2008-2010 : Contrat de Recherche INRA-ADISSEO : « Role of sulphur amino acids in controlling metabolism, growth and quality ». Rhodimet Research Grant 2008-2010, coordonné par S. Tesseraud. *Statut : Partenaire.*

2012-2014 : Contrat de Recherche INRA-ADISSEO labélisé ICSA LIPIDOX : Mechanisms associated with increased adiposity in response to a methionine deficiency and its effects on the oxydative status of the animals. *Statut : Partenaire.*

2016 : Contrat de Recherche INRA-ADISSEO labélisé ICSA METHIO+ : Effets d'un apport flash en methionine en fin de période d'élevage sur les performances de croissance, la composition corporelle et la qualité de la viande chez le porc et le poulet. *Statut : Partenaire.*

V. Projets de Recherche d'Intérêt Régional (APR IR)

2016-2019 : Projet de Recherche d'Intérêt Régional (APR IR) 2015 OXYFERTI. Antioxydants extraits de plantes de la Region Ligerienne dans le contrôle de la fertilité des volailles. Projet de 36 mois. *Statut : Partenaire.*

2017-2020 : Projet de Recherche d'Intérêt Régional (APR IR) 2016 PREVADI. Développement d'outils pour prévenir l'adiposité excessive et les infertilités associées. Projet de 36 mois. *Statut : Partenaire.*

VI. Liste non exhaustive de projets déposés ces dernières années mais non retenus

Différentes propositions de projet ont été soumises régulièrement en tant que

coordinatrice ou partenaire, mais malgré de bons retours des experts, ces projets n'ont pas été retenus face à la pression de sélection. Certains, comme SENTINEL, ont été retravaillés et ont finalement été acceptés et financés (cf plus haut).

1. Appel à projets générique (AAPG) ANR

AAPG ANR 2014 OPTIMISM, OPTImisation in MetabolISM. Pré-proposition classée 27^{ème} au sein du Défi : Sécurité Alimentaire et Défi Démographique. Note globale : 15/20. *Intérêt scientifique et technologique : 3,6/5 ; pertinence au regard des orientations de l'appel : 3,9/5 ; cohérence de la pré-proposition par rapport aux objectifs du projet : 3,7/5.* Seuls 18 déposants ont été invités à soumettre une proposition détaillée au sein de ce défi. *Statut : Coordinatrice du projet.*

AAPG ANR 2015 OPTIMISM, OPTImisation in MetabolISM Sécurité Alimentaire et Défi Démographique. Pré-proposition classée 3^{ème}. Note globale : 16,3/20. *Pertinence et caractère stratégique du projet : 3,75/5 ; potentiel des objectifs scientifiques et/ ou technologiques : 4,25/5 ; cohérence de la pré-proposition : 4,25/5.* Soumission d'une proposition détaillée, non retenue. *Statut : Coordinatrice du projet.*

AAPG ANR 2017 ENERGICS, Réserves ENERgétiques : un Critère de Sélection pour une production de poulet de chair durable ? Porteur du projet : E. Lebihan-Duval (équipe AQSel, URA). Pré-proposition soumise dans le défi : Sécurité Alimentaire et Défi Démographique. Note globale : 14,2/20. *Synthèse : Très bon projet, à éventuellement renforcer en mentionnant clairement les données préliminaires qui le supportent, non retenue.* *Statut : Co-responsable de 3 tâches / 5.*

AAPG ANR 2017 SENTINEL, High-throughput tools for a reinforced chemical safety surveillance of food. Porteur du projet : E. Engel (Equipe MASS, Microcontaminants, Aromes et Sciences Séparatives de l'Unité de Recherche INRAE sur la Qualité des Produits Animaux, Clermont-Ferrand). Soumission d'une pré-proposition puis d'une proposition détaillée, non retenue. *Statut : Partenaire.*

2. Appel à projets European Research Area on Sustainable Animal Production Systems SusAn (ERA NET SusAn)

ERA-NET SusAn 2016 OPTICHICK, Optimization of Chick's Management to ensure sustainable and high quality broiler meat production. *Statut : Partenaire.*

ERA-NET SusAn 2016 FAKIR, Fat AdipoKines as markers of sustainable livestock animal productions, their Impact on Reproduction. *Statut : Partenaire, responsable d'une tâche.*

3. Appel à projets USDA

Appel à projet USDA 2021: Mechanistic understanding of white striping myopathy. pHu chicken lines: a highly relevant and unique model for mechanistic understanding of white striping myopathy. Projet déposé en collaboration avec

l'Université de l'Arkansas (USA). *Statut : Partenaire.*

4. Appel à Projets institutionnels

Appel à projets 2021 « Recherche technologique pour la compétitivité et la durabilité des filières de la production à la transformation ». **ProDig'Chick** - Repenser la nutrition **PRO**téique du jeune poussin avec des aliments diversifiés et **D**igestibles pour sa santé, son bien-être et sa robustesse. Projet mis sur liste d'attente, puis finalement, non retenu. *Statut : Partenaire.*

Appel à projets 2022 FranceAgriMer. **PRESAJE** - Repenser la nutrition **PR**otéique avec des aliments diversifiés et digestibles pour la **SA**nté, le bien-être et la robustesse du **JE**une poussin. Proposition précédente retravaillée et resoumise en tenant compte des remarques des experts. En attente de réponse. *Statut : Partenaire.*

5. Appel à manifestations d'intérêt pour des projets collaboratifs

AMI F2E- LETI 2021. GT méthodes de détection/diagnostic précoce « Adaptations et ruptures métaboliques chez les animaux d'élevage : suivis dynamiques par capteurs embarqués multiplexés pour une meilleure maîtrise de leur multi-performance et résilience ».

PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

I. Etude bibliométrique

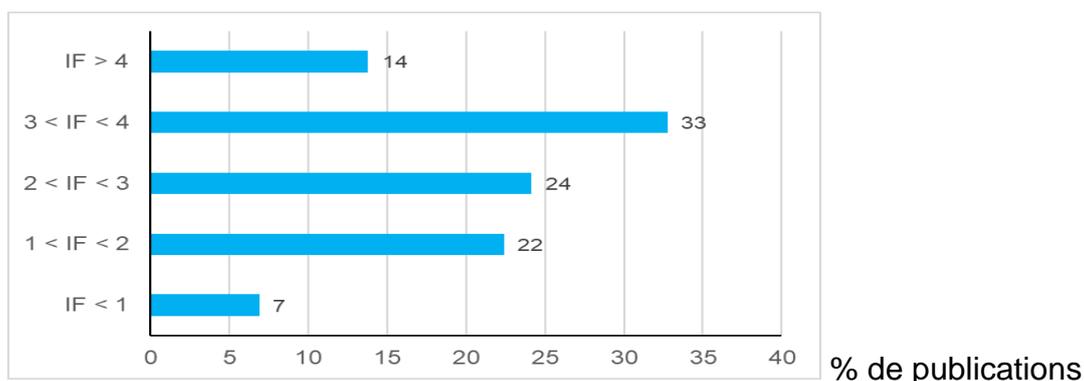
1. Distribution des publications entre 2000 et 2022

Soixante et une publications sont référencées dans le Web Of Science sur la période 2000-2022 (8 publications en premier auteur, 17 en second auteur et 4 en dernier auteur, soit un positionnement important dans près de 50% des publications).

Le h-index calculé est de 27.

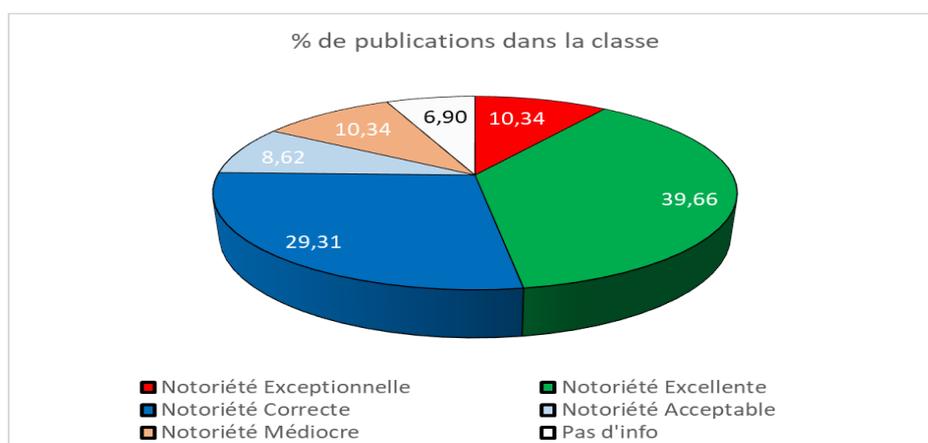
2. Classification des publications selon leur impact factor

Soixante et onze pourcents des publications présentant un impact factor (jusqu'en 2021) ont un impact factor > 2.



3. Notoriété des revues et indicateurs d'articles

L'analyse de Notoriété des revues a été réalisée pour les articles publiés entre 2000 et 2021. Les classes de notoriété à 2 ans **Exceptionnelle** et **Excellente** représentent plus de 50 % des revues dans lesquels les publications sont parues.



II. Liste de Publications

En rouge, étudiants et doctorants que j'ai directement encadrés.

- 1- Fouchécourt, S., **Métayer, S.**, Locatelli, A., Dacheux, F., Dacheux, J.L. (2000). Stallion epididymal fluid proteome: qualitative and quantitative characterization; secretion and dynamic changes of major proteins. *Biol Reprod.* 62(6):1790-803.
- 2- **Métayer, S.**, Dacheux, F., Guérin, Y., Dacheux, J.L., Gatti, J.L. (2001). Physiological and enzymatic properties of the ram epididymal soluble form of germinal angiotensin I-converting enzyme. *Biol Reprod.* 65(5):1332-9.
- 3- **Métayer, S.**, Dacheux, F., Dacheux, J.L., Gatti, J.L. (2002). Comparison, characterization, and identification of proteases and protease inhibitors in epididymal fluids of domestic mammals. Matrix metalloproteinases are major fluid gelatinases. *Biol Reprod.* 66(5):1219-29.
- 4- Gatti, J.L., **Métayer, S.**, Moudjou, M., Andréoletti, O., Lantier, F., Dacheux, J.L., Sarradin, P. (2002). Prion protein is secreted in soluble forms in the epididymal fluid and proteolytically processed and transported in seminal plasma. *Biol Reprod.* 67(2):393-400.
- 5- **Métayer, S.**, Dacheux, F., Dacheux, J.L., Gatti, J.L. (2002). Germinal angiotensin I-converting enzyme is totally shed from the rodent sperm membrane during epididymal maturation. *Biol Reprod.* 67(6):1763-7.
- 6- **Heck, A.**, **Métayer, S.**, Onagbesan, O.M., Williams, J. (2003). mRNA expression of components of the IGF system and of GH and insulin receptors in ovaries of broiler breeder hens fed ad libitum or restricted from 4 to 16 weeks of age. *Domest Anim Endocrinol.* 25(3):287-94.
- 7- Cassy, S., **Métayer, S.**, Crochet, S., Rideau, N., Collin, A., Tesseraud, S. (2004). Leptin receptor in the chicken ovary: potential involvement in ovarian dysfunction of ad libitum-fed broiler breeder hens. *Reprod Biol Endocrinol.* 2:72.
- 8- **Heck, A.**, Onagbesan, O., Tona, K., **Métayer, S.**, Putterflam, J., Jégo, Y., Trevidy, J.J., Decuypere, E., Williams, J., Picard, M., Bruggeman, V. (2004). Effects of ad libitum feeding on performance of different strains of broiler breeders. *Br Poult Sci.* 45(5):695-703.
- 9- Gatti, J.L., Castella, S., Dacheux, F., Ecroyd, H., **Métayer, S.**, Thimon, V., Dacheux, J.L. (2004). Post-testicular sperm environment and fertility. *Anim Reprod Sci.* 82-83:321-39.
- Review**
- 10- Gatti, J.L., **Métayer, S.**, Belghazi, M., Dacheux, F., Dacheux, J.L. (2005). Identification, proteomic profiling, and origin of ram epididymal fluid exosome-like vesicles. *Biol Reprod.* 72(6):1452-65.
- 11- Bruggeman, V., Onagbesan, O., Ragot, O., **Métayer, S.**, Cassy, S., Favreau, F., Jégo, Y., Trevidy, J.J., Tona, K., Williams, J., Decuypere, E., Picard, M. (2005). Feed allowance-genotype interactions in broiler breeder hens. *Poult Sci.* 84(2):298-306.
- 12- Thimon, V., **Métayer, S.**, Belghazi, M., Dacheux, F., Dacheux, J.L., Gatti, J.L. (2005). Shedding of the germinal angiotensin I-converting enzyme (gACE) involves a serine protease and is activated by epididymal fluid. *Biol Reprod.* 73(5):881-90.
- 13- **Métayer, S.**, Tesseraud, S., Cassy, S., Taouis, M., Williams, J., Picard, M., Rideau, N. (2006). Is there peripheral or ovarian insulin action alteration in broiler breeder hens fed ad libitum? *Poult Sci.* 85(6):1098-103.
- 14- Onagbesan, O.M., **Métayer, S.**, Tona, K., Williams, J., Decuypere, E., Bruggeman, V. (2006). Effects of genotype and feed allowance on plasma luteinizing hormones, follicle-stimulating hormones, progesterone, estradiol levels, follicle differentiation, and egg production rates of broiler breeder hens. *Poult Sci.* 85(7):1245-58.

- 15-** Decuypere, E., Hocking, P.M., Tona, K., Onagbesan, O., Bruggeman, V., Jones, E.K.M., Cassy, S., Rideau, N., **Métayer, S.**, Jego, Y., Putterflam, J., Tesseraud, S., Collin, A., Duclos, M., Trevidy, J.J., Williams, J. (2006). Broiler breeder paradox: a project report. *Worlds Poultry Science Journal*. 62(3): 443-453. **Review**
- 16-** Tesseraud, S., **Métayer, S.**, Duchêne, S., Bigot, K., Grizard, J., Dupont, J. (2007). Regulation of protein metabolism by insulin: value of different approaches and animal models. *Domest Anim Endocrinol*. 33(2):123-42. **Review**
- 17-** Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.**, Boussaid, S., Crochet, S., Audouin, E., Derouet, M., Seilliez, I. (2007). Insulin and amino acid availability regulate atrogen-1 in avian QT6 cells. *Biochem Biophys Res Commun*. 357(1):181-6.
- 18-** Duchêne, S., **Métayer, S.**, Audouin, E., Bigot, K., Dupont, J., Tesseraud, S. (2008). Refeeding and insulin activate the AKT/p70S6 kinase pathway without affecting IRS1 tyrosine phosphorylation in chicken muscle. *Domest Anim Endocrinol*. 34(1):1-13.
- 19-** Dupont, J., Tesseraud, S., Derouet, M., Collin, A., Rideau, N., Crochet, S., Godet, E., Cailleau-Audouin, E., **Métayer Coustard, S.**, Duclos, M.J., Gespach, C., Porter, T.E., Cogburn, L.A., Simon, J. (2008). Insulin immuno-neutralization in chicken: effects on insulin signaling and gene expression in liver and muscle. *J Endocrinol*. 197(3):531-42. doi: 10.1677/JOE-08-0055.
- 20-** **Métayer, S.**, Seilliez, I., Collin, A., Duchêne, S., Mercier, Y., Geraert, P.A., Tesseraud, S. (2008). Mechanisms through which sulfur amino acids control protein metabolism and oxidative status. *J Nutr Biochem*. 19(4):207-15. **Review**
- 21-** **Deshmukh, A.**, Salehzadeh, F., **Métayer Coustard, S.**, Fahlman, R., Nair, K.S., Al-Khalili, L. (2009). Post-transcriptional gene silencing of ribosomal protein S6 kinase 1 restores insulin action in leucine-treated skeletal muscle. *Cell Mol Life Sci*. 66(8):1457-66. doi: 10.1007/s00018-009-8818-y.
- 22-** Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.**, Collin, A., Seilliez, I. (2009). Role of sulfur amino acids in controlling nutrient metabolism and cell functions: implications for nutrition. *Br J Nutr*. 101(8):1132-9. doi: 10.1017/S0007114508159025. **Review**
- 23-** Collin, A., Joubert, R., Swennen, Q., Damon, M., **Métayer Coustard, S.**, Skiba Cassy, S. ; Everaert, N., Buyse, J., Tesseraud, S. (2009). Involvement of thyroid hormones in the regulation of mitochondrial oxidations in mammals and birds. In : Francis S. Kuehn (Editeur), Mauris P. Lozada (Editeur), Thyroid Hormones : Functions, Related Diseases and Uses. Hauppauge (USA) : Nova Science Publishers. 93-107. **(Chapitre de livre)**
- 24-** Everaert, N., Swennen, Q., **Métayer Coustard, S.**, Willemsen, H., Careghi, C., Buyse, J., Bruggeman, V., Decuypere, E., Tesseraud, S. (2010). The effect of the protein level in a pre-starter diet on the post-hatch performance and activation of ribosomal protein S6 kinase in muscle of neonatal broilers. *British Journal of Nutrition*, 103 (2), 206-211. DOI : 10.1017/S0007114509991735.
- 25-** Joubert, R., **Métayer Coustard, S.**, Swennen, Q., Sibut, V., Crochet, S., Cailleau-Audouin, E., Buyse, J., Decuypere, E., Wrutniak-Cabello, C., Cabello, G., Tesseraud, S., Collin, A. (2010). The beta-adrenergic system is involved in the regulation of the expression of avian uncoupling protein in the chicken. *Domestic Animal Endocrinology*, 38 (2), 115-125. DOI : 10.1016/j.domaniend.2009.08.002.
- 26-** Boussaid-Om Ezzine, S., Everaert, N., **Métayer Coustard, S.**, Rideau, N., Berri, C., Joubert, R., Temim, S., Collin, A., Tesseraud, S. (2010). Effects of heat exposure on Akt/S6K1 signaling and expression of genes related to protein and energy metabolism in chicken (*Gallus gallus*) pectoralis major muscle. *Comparative Biochemistry and Physiology B Biochemistry and Molecular Biology*, 157 (3), 281-287. DOI : 10.1016/j.cbpb.2010.07.001.
- 27-** **Métayer Coustard, S.**, **Mameri, H.**, Seilliez, I., Crochet, S., Crépieux, P., Mercier, Y.,

- Geraert, P.A., Tesseraud, S. (2010). Methionine deprivation regulates the S6K1 pathway and protein synthesis in avian QM7 myoblasts without activating the GCN2/eIF2 α cascade. *Journal of Nutrition*, 140 (9), 1539-1545. DOI : 10.3945/jn.110.122663.
- 28- Joubert, R., **Métayer Coustard, S.**, Crochet, S., Cailleau-Audouin, E., Dupont, J., Duclos, M., Tesseraud, S., Collin, A. (2011). Regulation of the expression of the avian uncoupling protein3 by isoproterenol and fatty acids in chick myoblasts: possible involvement of AMPK and PPAR α ? *American Journal of Physiology Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 301, R201-R208. DOI : 10.1152/ajpregu.00087.2010.
- 29- Tesseraud, S., Everaert, N., Boussaid-Om Ezzine, S., Collin, A., **Métayer Coustard, S.**, Berri, C. (2011). Manipulating tissue metabolism by amino acids. *World's Poultry Science Journal*, 67 (2), 243-251. DOI: 10.1017/S0043933911000274. **Review**
- 30- Collin, A., Bedrani, L., Loyau, T., Mignon-Grasteau, S., **Métayer Coustard, S.**, Praud, C., De Basilio, V., Requena Rodon, F., Bastianelli, D., Duclos, M., Tesseraud, S., Berri, C., Yahav, S. (2011). L'acclimatation embryonnaire : une technique innovante pour limiter les mortalités liées au stress thermique chez le poulet. *INRA Productions Animales*, 24 (2), 191-198. **Review**
- 31- Boussaid-Om Ezzine, S., **Métayer Coustard, S.**, Collin, A., Rideau, N., Leterrier, C., Bouvarel, I., Seilliez, I., Tesseraud, S. (2012). Regulators of protein metabolism are affected by cyclical nutritional treatments with diets varying in protein and energy content. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 23 (11), 1467-1473. DOI : 10.1016/j.jnutbio.2011.09.009.
- 32- Ji, B., Ernest, B., Gooding, J. R., Das, S., Saxton, A. M., Simon, J., Dupont, J., **Métayer Coustard, S.**, Campagna, S. R., Voy, B. H. (2012). Transcriptomic and metabolomic profiling of chicken adipose tissue in response to insulin neutralization and fasting. *BMC Genomics*, 13, 1-16. DOI : 10.1186/1471-2164-13-441.
- 33- Jlali, M., Gigaud, V., **Métayer Coustard, S.**, Sellier, N., Tesseraud, S., Le Bihan-Duval, E., Berri, C. (2012). Modulation of glycogen and breast meat processing ability by nutrition in chickens: Effect of crude protein level in 2 chicken genotypes. *Journal of Animal Science*, 90 (2), 447-455. DOI : 10.2527/jas.2011-4405.
- 34- Simon, J., Milenkovic, D., Godet, E., Cabau, C., Collin, A., **Métayer Coustard, S.**, Rideau, N., Tesseraud, S., Derouet, M., Crochet, S., Cailleau-Audouin, E., Hennequet-Antier, C., Gespach, C., Porter, T.E., Duclos, M., Dupont, J., Cogburn, L.A. (2012). Insulin immunoneutralization in fed chickens: effects on liver and muscle transcriptome. *Physiological Genomics*, 44 (5), 283-292. DOI: 10.1152/physiolgenomics.00057.2011.
- 35- Dupont, J., **Métayer Coustard, S.**, Ji, B., Ramé, C., Gespach, C., Voy, B., Simon, J. (2012). Characterization of major elements of insulin signaling cascade in chicken adipose tissue: apparent insulin refractoriness. *General and Comparative Endocrinology*, 176 (1), 86-93. DOI: 10.1016/j.ygcen.2011.12.030.
- 36- Rideau, N., **Métayer Coustard, S.** (2012). Utilisation périphérique du glucose chez le poulet et le canard : implications pour la croissance et la qualité de la viande. *INRA Productions Animales*, 25 (4), 337-350. **Review**
- 37- Loyau, T., Berri, C., Bedrani, L., **Métayer Coustard, S.**, Praud, C., Duclos, M.J., Tesseraud, S., Rideau, N., Everaert, N., Yahav, S., Mignon-Grasteau, S., Collin, A. (2013). Thermal manipulation of the embryo modifies the physiology and body composition of broiler chickens reared in floor pens without affecting breast meat processing quality. *Journal of Animal Science*, 91 (8), 3674-3685. DOI : 10.2527/jas.2013-6445
- 38- Faure, J., Lefaucheur, L., Bonhomme, N., Ecolan, P., Météau, K., **Métayer Coustard, S.**, Kouba, M., Gilbert, H., Lebret, B. (2013). Consequences of divergent selection for residual feed intake in pigs on muscle energy metabolism and meat quality. *Meat Science*, 93 (1), 37-45. DOI : 10.1016/j.meatsci.2012.07.006

- 39-** Everaert, N., **Métayer Coustard, S.**, Willemsen, H., Han, H., Song, Z., Ansari, Z., Decuyper, E., Buyse, J., Tesseraud, S. (2013). The effect of albumen removal before incubation (embryonic protein under-nutrition) on the post-hatch performance, regulators of protein translation activation and proteolysis in neonatal broilers. *British Journal of Nutrition*, 110, 265-274. DOI : 10.1017/S000711451200503X
- 40-** Tesseraud, S., Chartrin, P., **Métayer Coustard, S.**, Hermier, D., Simon, N., Peyronnet, C., Lessire, M., Baeza, E. (2014). Modulation of the insulin anabolic signalling cascade in growing chickens by n-3 PUFA. *British Journal of Nutrition*, 111 (5), 761 - 772. DOI : 10.1017/S0007114513003085.
- 41-** Nguyen, T.M.D., Alves, S., Grasseau, I., **Métayer Coustard, S.**, Praud, C., Froment, P., Blesbois, E. (2014). Central role of 5'-AMP-activated protein kinase in chicken sperm functions. *Biology of Reproduction*, 91 (5), 1-15. DOI : 10.1095/biolreprod.114.121855
- 42-** Loyau, T., **Métayer Coustard, S.**, Berri, C., Crochet, S., Cailleau-Audouin, E., Sannier, M., Chartrin, P., Praud, C., Hennequet Antier, C., Rideau, N., Couroussé, N., Mignon-Grasteau, S., Everaert, N., Duclos, M.J., Yahav, S., Tesseraud, S., Collin, A. (2014). Thermal manipulation during embryogenesis has long-term effects on muscle and liver metabolism in fast-growing chickens. *Plos One*, 9 (9), 13 p. DOI : 10.1371/journal.pone.0105339
- 43-** Guardia, S., Lessire, M., Corniaux, A., **Métayer Coustard, S.**, Mercierand, F., Tesseraud, S., Bouvarel, I., Berri, C. (2014). Short-term nutritional strategies before slaughter are effective in modulating the final pH and color of broiler breast meat. *Poultry Science*, 93 (7), 1764–1773. DOI : 10.3382/ps.2013-03768
- 44-** Tesseraud, S., Bouvarel, I., Fraysse, P., **Métayer Coustard, S.**, Collin, A., Lessire, M., Berri, C. (2014). Optimiser la composition corporelle et la qualité des viandes de volailles en modulant le métabolisme par les acides aminés alimentaires. *INRA Productions Animales*, 27 (5), 337-346. **Review**
- 45- Coudert, E.**, Pascal, G., Dupont, J., Simon, J., Cailleau-Audouin, E., Crochet, S., Duclos, M.J., Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.** (2015). Phylogenesis and biological characterization of a new glucose transporter in the chicken (*Gallus gallus*), GLUT12. *Plos One*, 10 (10), 1-18. DOI : 10.1371/journal.pone.0139517
- 46-** Baeza, E., Gondret, F., Chartrin, P., Le Bihan-Duval, E., Berri, C., Gabriel, I., Narcy, A., Lessire, M., **Métayer Coustard, S.**, Collin, A., Jégou, M., Lagarrigue, S., Duclos, M.J. (2015). The ability of genetically lean or fat slow-growing chickens to synthesize and store lipids is not altered by the dietary energy source. *Animal*, 9 (10), 1643-1652. DOI : 10.1017/S1751731115000683
- 47-** Baeza, E., Jégou, M., Gondret, F., Lalande-Martin, J., Tea, I., Le Bihan-Duval, E., Berri, C., Collin, A., **Métayer Coustard, S.**, Louveau, I., Lagarrigue, S., Duclos, M.J. (2015). Pertinent plasma indicators of the ability of chickens to synthesize and store lipids. *Journal of Animal Science*, 93 (1), 107-116. DOI : 10.2527/jas.2014-8482
- 48-** Loyau, T., Bedrani, L., Berri, C., **Métayer Coustard, S.**, Praud, C., Coustham, V., Mignon-Grasteau, S., Duclos, M.J., Tesseraud, S., Rideau, N., Hennequet Antier, C., Everaert, N., Yahav, S., Collin, A. (2015). Cyclic variations in incubation conditions induce adaptive responses to later heat exposure in chickens: a review. *Animal*, 9 (1), 76-85. DOI : 10.1017/S1751731114001931. **Review**
- 49-** Loyau, T., Hennequet-Antier, C., Coustham, V., Berri, C., Leduc, M., Crochet, S., Sannier, M., Duclos, M. J., Mignon-Grasteau, S., Tesseraud, S., Brionne, A., **Métayer Coustard, S.**, Moroldo, M., Lecardonnel, J., Martin, P., Lagarrigue, S., Yahav, S., Collin, A. (2016). Thermal manipulation of the chicken embryo triggers differential gene expression in response to a later heat challenge. *BMC Genomics*, 17 (1), 15 p. DOI : 10.1186/s12864-016-2661-y
- 50-** Castellano-Perez, R., Perruchot, M.-H., Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.**, Baeza, E., Mercier, Y., Gondret, F. (2017). Methionine and cysteine deficiencies altered proliferation rate

and time course differentiation of porcine preadipose cells. *Amino Acids*, 49 (2), 355-366. DOI : 10.1007/s00726-016-2369-y

51- Beauclercq, S., Hennequet-Antier, C., Praud, C., Godet, E., Collin-Chenot, A., Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.**, Bourin, M., Moroldo, M., Martins, F., Lagarrigue, S., Duval, E., Berri, C. (2017). Muscle transcriptome analysis reveals molecular pathways and biomarkers involved in extreme ultimate pH and meat defect occurrence in chicken. *Scientific Reports*, 7 (1). DOI : 10.1038/s41598-017-06511-6

52- Morisson, M., Coustham, V., Frésard, L., Collin, A., Zerjal, T., **Métayer Coustard, S.**, Bodin, L., Minvielle, F., Brun, J.M, and Pitel, F. (2017). Nutritional Programming and Effect of Ancestor Diet in Birds. In: Patel V., Preedy V. (eds) Handbook of Nutrition, Diet, and Epigenetics. Springer, Cham. **(Chapitre de livre)**

53- Coudert, E., Praud, C., Dupont, J., Crochet, S., Cailleau-Audouin, E., Bordeau, T., Godet, E., Collin, A., Berri, C., Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.** (2018). Expression of glucose transporters SLC2A1, SLC2A8, and SLC2A12 in different chicken muscles during ontogenesis. *J Anim Sci*. 96(2):498-509. doi: 10.1093/jas/skx084.

54- Desert, C., Baéza, E., Aite, M., Boutin, M., Le Cam, A., Montfort, J., Houee-Bigot, M., Blum, Y., Roux, P.F., Hennequet-Antier, C., Berri, C., **Métayer Coustard, S.**, Collin, A., Allais, S., Le Bihan, E., Causeur, D., Gondret, F., Duclos, M.J., Lagarrigue, S. (2018). Multi-tissue transcriptomic study reveals the main role of liver in the chicken adaptive response to a switch in dietary energy source through the transcriptional regulation of lipogenesis. *BMC Genomics*. 19(1):187. doi: 10.1186/s12864-018-4520-5.

55- Métayer Coustard, S., Petit, A., Quentin, M., Tesseraud, S. (2019). Nouvelles stratégies alimentaires précoces au service de la production avicole. *INRA Productions Animales*, 32(3), 417-430. **Review**

56- Wang, Y., Buyse, J., Courousse, N., Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.**, Berri, C., Schallier, S., Everaert, N., Collin, A. (2020). Effects of sex and fasting/refeeding on hepatic AMPK signaling in chickens (*Gallus gallus*). *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*. 240:110606. doi: 10.1016/j.cbpa.2019.110606.

57- Barbe, A., Mellouk, N., Ramé, C., Grandhaye, J., Staub, C., Venturi, E., Cirot, M., **Petit, A.**, Anger, K., Chahnamian, M., Ganier, P., Callut, O., Cailleau-Audouin, E., **Métayer Coustard, S.**, Riva, A., Froment, P., Dupont, J. (2020). A grape seed extract maternal dietary supplementation in reproductive hens reduces oxidative stress associated to modulation of plasma and tissue adipokines expression and improves viability of offsprings. *PLoS One*. 15(4):e0231131. doi: 10.1371/journal.pone.0231131.

58- Valable, A.S., Létourneau-Montminy, M.P., Klein, S., Lardic, L., Lecompte, F., **Métayer Coustard, S.**, Mème, N., Page, G., Duclos, M., Narcy, A. (2020). Early life conditioning strategies to reduce dietary phosphorus in broilers; underlying mechanisms. *J Nutr Sci*. vol. 9, e28, page 1 of 9. doi:10.1017/jns.2020.17.

59- Métayer Coustard, S., Tesseraud, S., Praud, C., **Royer, D.**, Bordeau, T., **Coudert, E.**, Cailleau-Audouin, E., Godet, E., Delaveau, J., Le Bihan-Duval, E., Berri, C. (2021). Early Growth and Protein-Energy Metabolism in Chicken Lines Divergently Selected on Ultimate pH. *Front Physiol.*, 12:643580. doi: 10.3389/fphys.2021.643580. eCollection 2021.

60- Tixier-Boichard, M., Fabre, S., Dhorne-Pollet, S., Goubil, A., Acloque, H., Vincent-Naulleau, S., Ross, P., Wang, Y., Chanthavixay, G., Cheng, H., Ernst, C., Leesburg, V., Giuffra, E., Zhou, H. **Collaborative Working Group.** (2021) Tissue Resources for the Functional Annotation of Animal Genomes. *Front Genet.*, 12:666265. doi: 10.3389/fgene.2021.666265. eCollection 2021.

61- Andrieux, C*, **Petit, A.***, Collin, A., Houssier, M., **Métayer Coustard, S.**, Panserat, S., Pitel, F., Coustham, V. (2022) Early Phenotype Programming in Birds by Temperature and

Nutrition : **A Mini-Review**. *Frontiers in Animal Science*. *Contribution égale. <https://doi.org/10.3389/fanim.2021.755842>.

62- Petit, A., Réhault-Godbert, S., Nadal-Desbarats, L., Cailleau-Audouin, E., Chartrin, P., Raynaud, E., Jimenez, J., Tesseraud, S., Berri, C., Le Bihan-Duval, E., **Métayer Coustard, S.** (2022) Nutrient sources differ in the fertilised eggs of two divergent broiler lines selected for meat ultimate pH. *Sci Rep.*, 12(1):5533. doi: 10.1038/s41598-022-09509-x.

63- Beauclercq, S., Mignon-Grasteau, S., **Petit, A.**, Berger, Q., Lefèvre, A., **Métayer Coustard, S.**, Tesseraud, S., Emond, P., Berri, C., Le Bihan-Duval, E. (2022) A divergent selection on breast meat ultimate pH, a key factor for chicken meat quality, deeply affects circulating lipid profile. *Frontiers in Physiology, section Avian Physiology*.

64- Erensoy, K., Raynaud, E., **Petit, A.**, Baumard, Y., **Métayer Coustard, S.**, Le Bihan-Duval. Divergent selection for breast muscle ultimate pH affects egg quality traits in broiler breeders. Soumis à **Poultry Science** en octobre 2021.

III. Communications dans des congrès nationaux et internationaux

1. Communications orales invitées

Mon nom est souligné quand j'ai fait la présentation orale.

65- Dacheux, J.L., Gatti, J.L., Castella, S., **Métayer, S.**, Fouchecourt, S., Dacheux, F. (2003). The epididymal proteome. In the "Third international conference on the epididymis". Eds Hinton, B. and Turner, T. The Van Doren company, Charlottesville, VA, USA. pp 115-122.

66- Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.** (2007). Amino acid signalling and implications in protein metabolism: focus on sulphur amino acids. In: The first International Methionine Seminar; Strasbourg (FRA); 2007/08/26.

67- Dupont, J., Tesseraud, S., Derouet, M., Collin, A., Rideau, N., Crochet, S., Godet, E., Audouin, E., **Métayer Coustard, S.**, Duclos, M.J., Gespach, C., Porter, T.E., Cogburn, L.A., Simon, J. (2008). Acute "diabetes" in chicken: effects on insulin signaling and gene expression in liver and muscle. In: *XXIII World's Poultry Congress*, 29 juin- 07 juillet 2008, Queensland (Australie).

68- Berri, C., Jlali, M., Baéza, E., **Métayer Coustard, S.**, Tesseraud, S., Gigaud, V., Le Bihan-Duval, E. (2010). Efeitos da nutriçao sobre a qualidade de carcaça de franco de corte- Improving meat quality by regulating animal feeding recent advances in poultry. 11. Simpsio Brasil Sul de Avicultura e 2. Brasil sul Poultry Fair; Chapeco (BRA) ; 2010/04/06-08, p 84-94.

69- Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.**, Berri, C. (2010). Roles of methionine on nutrient metabolism, potential consequences on growth and meat quality. 4th Advancia International Methionine Seminar; Denver (USA); 2010/07/11, Diaporama.

70- Tesseraud, S., Everaert, N., Boussaid-Om Ezzine, S., Collin, A., **Métayer Coustard, S.**, Berri, C. (2010). Review 24. Manipulating tissue metabolism by amino acids. In: Proceedings of the 13th European Poultry Conference (EPC 2010) (p. 299). *World's Poultry Science Journal*, 66. Presented at 13. European Poultry Conference (EPC 2010), Tours, FRA (2010-08-23 - 2010-08-27). Tours, FRA: French Branch of World's Poultry Science Association.

71- Loyau, T., Bedrani, L., Grasteau, S., Praud, C., **Métayer Coustard, S.**, Tesseraud, S., Duclos, M.J., Yahav, S., Berri, C., Collin, A. (2011). Embryo heat acclimation and muscle metabolism in chicken. In: *Affecting early life poultry development to improve domestic fowl livestock* (p. 12). Presented at Affecting early life poultry development to improve domestic fowl livestock, Jérusalem (ISR) (2011/03/06-09). ISR : BARD.

- 72-** Tesseraud, S., Everaert, N., Boussaid-Om Ezzine, S., Collin, A., **Métayer Coustard, S.** 2011. Amino acid nutrition and gene expression in Poultry. 18th European Symposium on poultry nutrition. Cesme (Turkey) 2011/11/1-4.
- 73-** Collin, A., Bedrani, L., Loyau, T., Grasteau, S., **Métayer Coustard, S.**, Praud, C., De Basilio, V., Requena Rodon, F., Bastianelli, D., Duclos, M., Tesseraud, S., Berri, C., Yahav, S. (2011). Acclimatation des volailles au chaud et au froid pendant l'incubation. *Journées de la Recherche Avicole*. Presented at 9. Journées de la Recherche Avicole, Tours, FRA (2011-03-29 - 2011-03-30).
- 74-** Collin, A., Loyau, T., Bedrani, L., Berri, C., **Métayer Coustard, S.**, Praud, C., Duclos, M., 69- Tesseraud, S., Rideau, N., Hennequet-Antier, C., Everaert, N., Mignon-Grasteau, S., Yahav, S. (2012). Adaptive response of chickens to hot environments induced by changing incubation temperature. In: *24. World's Poultry Congress* (p. 7 p.). Presented at 24. World's Poultry Congress, Bahia, BRA (2012/08/05-09). BRA : WPSA-FACTA-UBABEF.
- 75-** Tesseraud, S., Corniaux, A., Bouvarel, I., **Métayer Coustard, S.**, Collin, A., Lessire, M., Berri, C. (2013). Adapter le métabolisme protéino-énergétique pour optimiser la composition corporelle et la qualité des viandes. Presented at 10. Journées de la Recherche Avicoles et Palmipèdes à Foie Gras, La Rochelle, FRA (2013/03/26-28) (p. 206-213).
- 76-** Berri, C. (Auteur de correspondance), Baeza, E., **Métayer Coustard, S.**, Lessire, M., Bouvarel, I., Duclos, M., Tesseraud, S., Le Bihan-Duval, E. (2014). Genetic and nutritional strategies to control glycogen metabolism and meat quality in chickens. In: *XIVTH EUROPEAN POULTRY CONFERENCE* (p. 339-351). Presented at 14. European Poultry Conference, Stavanger, NOR (2014/06/23-27). NOR : WPSA, Branche Norvégienne.
- 77-** Berri, C., **Métayer Coustard, S.**, Lessire, M., Duval, E., Bouvarel, I., Tesseraud, S. (2015). Managing poultry meat quality by nutrition. *World's Poultry Science Journal*, 71, supplement 1. Presented at 22th European Symposium on the Quality of Poultry Meat - 16. European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products, Nantes, FRA (2015-05-10 - 2015-05-13).
- 78-** **Métayer Coustard, S.** Nutrition in ovo, une nouvelle stratégie alimentaire précoce. Formation l'œuf et l'embryon d'oiseau. Nov. 2017, Nouzilly, France.
- 79-** Nyuiadzi, D., David, S.-A., Méda, B., Loyau, T., **Métayer Coustard, S.**, Dusart, L., Praud, C., Berri, C., Travel, A., Guilloteau, L. A., Coustham, V., Tesseraud, S., Mignon-Grasteau, S., Bouvarel, I., Tona, J. K., Collin, A. (2017). Comment améliorer les capacités d'adaptation des oiseaux d'élevage aux variations de température ? Analyse multicritère de techniques d'acclimatation embryonnaire et étude des mécanismes impliqués. Presented at Cycle de séminaires du Réseau MIDI : Les rendez-vous des Milieux et de la Diversité, Tours, FRA (2017-03-07 - 2017-03-07).
- 80-** **Métayer Coustard, S.**, Lesuisse, J., Schallier, S., Roffidal, L., Buyse, J. (2017). Synthèse - Alimentation maternelle et nutrition in ovo, de nouvelles stratégies alimentaires précoces au service de la production avicole. Presented at 12. Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à foie gras. Synthèse p 67-77., Tours, FRA (2017-04-05 - 2017-07-06).
- 81-** Louveau, I., **Métayer Coustard, S.** (2018). Croissance et développement des os, des tissus adipeux et des muscles : doit-on attendre la naissance pour réagir ? 23rd technical symposium Nutrition & Filière DSM: "Early nutrition: from the embryonic phase to the first days of life". Ploermel, FRA (2018-05-31).
- 82-** **Métayer Coustard, S.**, Everaert, N. (2018). La période périnatale : développement et régulations. 23rd technical symposium Nutrition & Filière DSM Nutrition & Filière DSM: "Early nutrition: from the embryonic phase to the first days of life". Ploermel, FRA (2018-05-31).
- 83-** **Métayer Coustard, S.**, Travel A. (2019). Qualité du poussin : quels facteurs considérer pour un bon démarrage ? Journée ITAVI pour les Professionnels de la Multiplication et de l'Accoupage. Rennes, FRA (2019-06-27).

- 84- [Métayer Coustard, S.](#)**, Jonchere V. (2021). Programmation précoce des phénotypes chez l'oiseau : Perspectives et Challenges. Séminaire ADISSEO. Webinar (2021-06-23).
- 85- [Métayer Coustard, S.](#)**, Bethuel J.C., Collin A., Le Bihan-Duval E., Puterflam J., Travel A. (2022). Qualité du poussin : indicateurs et leviers. Review Presented at 14. Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à foie gras. Article p 465-474, Tours, FRA (2022-03-09 - 2022-03-10).
- 86-** Coustham V., Andrieux C., Collin A., Davis I., Demars J., Houssier M., Lagarrigue S., **[Métayer Coustard S.](#)**, Mignon-Grasteau S., **Petit A.**, Vitorino-Carvalho A., Zerjal T., Pitel F. L'épigénétique à l'interface entre l'environnement et l'ADN : quelle importance pour les pratiques d'élevage et les méthodes de sélection ? Review Presented at 14. Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à foie gras. Article p 236-245, Tours, FRA (2022-03-09 - 2022-03-10).
- 87-** Bonnefous C., Guilloteau L.A., Germain K., Ravon L., Le Bihan-Duval E., Mignon-Grasteau S., Calandreau L., Berri C., Collet J., Tesseraud S., **[Métayer Coustard S.](#)**, Leterrier C., Collin A. Leviers précoces d'amélioration de la santé et du bien-être du poulet de chair en système de production biologique. Webinaire Café PlanHealth, (21/03/2022).
- 88-** Chavatte-Palmer, P. et **[Métayer Coustard, S.](#)** (2022). « Indicateurs et biomarqueurs prédictifs du phénotype de l'individu au cours de son développement ». Journées d'Animation Scientifique du département Phase, Poitiers, FRA (2022-05-18 -2022-05-19).

2. Communications orales

- 89- [Métayer, S.](#)**, Dacheux, F., Dacheux, J.L., Gatti, J.L. (1999). Enzyme de conversion de l'angiotensine-I et fonction de reproduction mâle. Réunion « ATLANTESTIS ». Nouzilly, 28 mai 1999.
- 90- [Métayer, S.](#)**, Dacheux, J.L., Gatti, J.L. (1999). Analysis of ram epididymal fluid proteases by one and two dimensional gel zymography. Electrophoresis forum'99, International Council of Electrophoresis Societies . Rouen, 24-26 novembre 1999.
- 91- [Métayer, S.](#)**, Dacheux, J.L., Gatti, J.L. (2000). Caractérisation des protéases présentes dans le fluide épидидymaire de bélier par zymographie sur gel d'électrophorèse mono- et bi-dimensionnelle. XXVII Forum des Jeunes Chercheurs, Société Française de Biochimie et de Biologie Moléculaire. Reims, 3-7 juillet 2000.
- 92- [Métayer, S.](#)**, Dacheux, F., Dacheux, J.L., Gatti, J.L. (2000). Sperm origin of the rat epididymal fluid angiotensin-I-converting enzyme (ACE). XIII Colloque Biotechnocentre. Seillac, 9-10 novembre 2000. Biology of the Cell. 92 (8/9): Abstr.p11.
- 93- [Métayer, S.](#)**, Duclos, M.J., Crochet, S., Chevalier, B., Williams, J. (2004). Modification of the intra-ovarian IGF system by feed restriction in broiler breeder hens. WPC 2004 XXIIInd World's Poultry Congress, 8-13 juin 2004, Istanbul.
- 94-** Onagbesan, O.M., Bruggeman, V., **[Métayer, S.](#)**, Van As, P., Swennen, Q., Decuypere, E. (2004). Implications of 7- IGFs and BMPs on follicular development in broiler breeder hens. WPC 2004 XXIIInd World's Poultry Congress, 8-13 juin 2004, Istanbul.
- 95-** Cassy, S., **[Métayer S.](#)**, Crochet S., Picard M. (2004). Potential involvement of the leptin receptor in ovarian dysfunction of broiler breeder hens fed ad libitum. WPC 2004 XXIIInd World's Poultry Congress, 8-13 juin 2004, Istanbul.
- 96-** Rideau, N., **[Métayer S.](#)**, Tesseraud, S., Derouet, M., Peresson, R., Taouis, M., Cassy, S. (2004). Is there a peripheral or a tissue-specific insulin resistance in broiler breeder hens fed ad libitum? WPC 2004 XXIIInd World's Poultry Congress, 8-13 juin 2004, Istanbul.
- 97- [Métayer Coustard, S.](#)**, Crochet, S., Audouin, E., Derouet, M., Mercier, Y., Geraert, P.A. and Tesseraud, S. (2007). Amino acid signalling: methionine regulates the S6K1 pathway

and protein synthesis in avian QM7 myoblasts. 2e Symposium International sur le Métabolisme et la Nutrition énergétiques et protéiques. Vichy, France 9-13 sept. 2007.

98- Joubert, R., Crochet, S., Cailleau-Audouin, E., Derouet, M., **Métayer Coustard, S.**, Buyse, J. Tessaoud, S., Collin, A. (2008). Beta-adrenergic pathway regulates the expression of the avian uncoupling protein. In: 9th International Symposium on Avian Endocrinology, 11-15 juillet 2008, Leuven (BEL).

99- Bedrani, L., Berri, C., Grasteau, S., Jégo, Y., Yahav, S., Everaert, N., Jlali, M., Joubert, R., **Métayer Coustard, S.**, Praud, C., Temim, S., Tessaoud, S. and Collin, A. (2009). Effects of embryo thermal conditioning on thermotolerance, parameters of meat quality and muscle energy metabolism in a heavy line of chicken. Résumé soumis pour le "4th workshop on fundamental physiology and perinatal development in poultry", 10-12 septembre 2009, Bratislava (Slovaquie).

100- Everaert, N., **Métayer Coustard, S.**, Willemsen, H., Haitang, H., Buyse, J., Decuypere, E., Tessaoud, S. (2009). The chick embryo as a model to study persistent effects of embryonic protein-undernutrition on postnatal growth and metabolism. "4th workshop on fundamental physiology and perinatal development in poultry", 10-12 septembre 2009, Bratislava (Slovaquie).

101- Jlali, M., Sibut, V., Gigaud V., Sellier, N., Tessaoud, S. et al. Régulation du glycogène musculaire et relation avec la qualité de la viande de poulet. 8. *Journées de la Recherche Avicole*, Mar 2009, Saint-Malo, France.

102- Boussaid-Om Ezzine, S., **Mameri, H.**, **Métayer Coustard, S.**, Collin, A., Cailleau-Audouin, E., Crochet, S., Chagneau, A.-M., Bouvarel, I., Seilliez, I., Leterrier, C., Tessaoud, S. (2010). Daily variations in dietary protein and energy content regulate protein metabolism in chicken skeletal muscle. In: Proceedings of the 13th European Poultry Conference (EPC 2010) (p. p:300). *World's Poultry Science Journal*, 66. Presented at 13. European Poultry Conference (EPC 2010), Tours, FRA (2010-08-23 - 2010-08-27). Tours, FRA: French Branch of World's Poultry Science Association.

103- Rideau, N., Derouet, M., **Métayer Coustard, S.**, Grimsby, J. (2010). An activator of mammalian glucokinase induces a potent hypoglycaemia and inhibits food intake in chicken. In: Proceedings of the 13th European Poultry Conference (EPC 2010) (p. 263). *World's Poultry Science Journal*, 66. Presented at 13. European Poultry Conference (EPC 2010), Tours, FRA (2010-08-23 - 2010-08-27). Tours, FRA : French Branch of World's Poultry Science Association.

104- Joubert, R., **Métayer Coustard, S.**, Swennen, Q., Sibut, V., Crochet, S., Cailleau-Audouin, E., Buyse, J., Decuypere, E., Wrutniak-Cabello, C., Cabello, G., Dupont, J., Duclos, M., Tessaoud, S., Collin, A. (2010). Beta-adrenergic system regulates the expression of the avian uncoupling protein in vivo and in vitro in chicken. In: Proceedings of the 13th European Poultry Conference (EPC 2010) (p. p:239). *World's Poultry Science Journal*, 66 (S). Presented at 13. European Poultry Conference (EPC 2010), Tours, FRA (2010-08-23 - 2010-08-27). Tours, FRA: French Branch of World's Poultry Science Association.

105- Joubert, R., **Métayer Coustard, S.**, Crochet, S., Cailleau-Audouin, E., Dupont, J., Duclos, M.J., Tessaoud, S., Collin, A. (2010). Involvement of AMPK, p38 MAPK and PPARalpha in the regulation of avian uncoupling protein expression: regulation by isoproterenol and fatty acids in chick myoblasts. In: Energy and Protein Metabolism and Nutrition (p. 71-72). *EAAP Scientific Series* (127). Presented at 3. EAAP International Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition, Parme, ITA (2010-09-06 - 2010-09-10). Wageningen, NLD : Wageningen Academic Publisher.

106- **Mameri, H.**, Dupont, J., Joubert, R., Collin, A., Crochet, S., Cailleau-Audouin, E., Tessaoud, S., **Métayer Coustard, S.** (2010). Mechanisms regulating the peripheral utilisation of glucose: involvement of AMPK. In: Energy and Protein Metabolism and Nutrition (p. 259-260). *EAAP Scientific Series* (127). Presented at 3. EAAP International Symposium

on Energy and protein metabolism and nutrition, Parme, ITA (2010-09-06 - 2010-09-10). Wageningen, NLD : Wageningen Academic Publisher.

107- Faure, J., Leuret, B., Ecolan, P., **Métayer-Coustard, S.**, Lefaucheur, L. (2011). Adenosine monophosphate-activated protein kinase status modulates kinetics of post-mortem pH decline and meat quality in pig Longissimus muscle. In: *57th ICoMST : Global challenges to production, processing and consumption of meat* (p. 4 p.). Presented at 57. International Congress of Meat Science and Technology (ICOMST), Ghent, BEL (2011-08-07 - 2011-08-12).

108- Berri, C., Guardia, S., Lessire, M., Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.**, Bordeau, T., Bouvarel, I. (2012). Optimiser le pH ultime des filets de poulets en modulant le profil en acides gras de l'aliment en fin d'élevage. In: *14èmes Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes* (p. 29-30). Presented at 14. Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes, Caen, FRA (2012-11-13 - 2012-11-14).

109- Loyau, T., **Métayer Coustard, S.**, Crochet, S., Cailleau-Audouin, E., Praud, C., Berri, C., Duclos, M., Tesseraud, S., Rideau, N., Chartrin, P., Hennequet-Antier, C., Everaert, N., Yahav, S., Mignon-Grasteau, S., Collin, A. (2013). Thermal manipulations during embryogenesis induce long-lasting changes in the regulation of energy metabolism. In: *6th Combined Workshop on Fundamental Physiology and Perinatal development in Poultry*. Presented at 6th Combined Workshop on Fundamental Physiology and Perinatal development in Poultry, Göttingen, DEU (2013-10-01 - 2013-10-04). DEU: WPSA.

110- Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.**, Chartrin, P., Hermier, D., Simon, N., Peyronnet, C., Lessire, M., Baeza, E. (2013). Modulation on insulin signaling by n-3 PUFA in chicken liver. In: *Energy and protein metabolism and nutrition in sustainable animal production* (p. 271-272). *EAAP Publication*. Presented at 4th EAAP International Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition, Sacramento, USA (2013-09-09 - 2013-09-12). Wageningen, NLD: Wageningen Academic Publishers.

111- Coudert, E., Dupont, J., Simon, J., Cailleau-Audouin, E., Crochet, S., Duclos, M., Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.** (2013). First evidence of an insulin-sensitive glucose transporter in chicken. In: *Energy and protein metabolism and nutrition in sustainable animal production* (p. 391-392). *EAAP Publication*. Presented at 4th EAAP International Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition, Sacramento, USA (2013-09-09 - 2013-09-12). Wageningen, NLD: Wageningen Academic Publisher.

112- Loyau, T., **Métayer Coustard, S.**, Praud, C., Berri, C., Duclos, M., Tesseraud, S., Rideau, N., Chartrin, P., Hennequet-Antier, C., Everaert, N., Yahav, S., Mignon-Grasteau, S., Collin, A. (2013). Embryo thermal manipulation has long-lasting effects on energy metabolism in chickens. In: *Energy and protein metabolism and nutrition in sustainable animal production* (p. 265-266). *EAAP Publication*. Presented at 4th International Symposium on energy and protein metabolism and nutrition, Sacramento, USA (2013-09-09 - 2013-09-12). Wageningen, NLD: Wageningen Academic Publishers.

113- Coudert, E., Cailleau-Audouin, E., Crochet, S., Praud, C., Duclos, M.J., Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.** (2014) Sensibilité à l'insuline des transporteurs de glucose GLUT-1, -8 et -12 dans le muscle de l'oiseau. 27^{ième} Colloque Biotechnocentre. Seillac 9-10/10/2014.

114- Nguyen, T.M.D., Alves, S., **Métayer Coustard, S.**, Praud, C., Froment, P., Blesbois, E. (2014). Effects of the AMP-Kinase modulators AICAR, Metformin and Compound C on chicken spermatozoa viability, motility and acrosome reaction. In: *XIVth European Poultry Conference* (p. 4 p). Presented at 14. European Poultry Conference, Stavanger, NOR (2014-06-23 - 2014-06-27). NOR : WPSA, Branche Norvégienne.

115- Coudert, E., Crochet, S., Cailleau-Audouin, E., Bordeau, T., Collin, A., Berri, C., Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.** (2014). Ontogenesis and pattern of expression of glucose transporters GLUT-1, -8 and -12 in different chicken muscles. In: *XIVth European Poultry Conference* (p. 1 p). Presented at 14. European Poultry Conference, Stavanger,

NOR (2014-06-23 - 2014-06-27). NOR : WPSA, Branche Norvégienne.

116- Baeza, E., Chartrin, P., Collin, A., **Métayer Coustard, S.**, Berri, C., Gabriel, I., Narcy, A., Lessire, M., Jégou, M., Le Bihan-Duval, E., Lagarrigue, S., Gondret, F., Duclos, M. (2014). Performance, carcass traits and meat quality of genetically fat and lean broilers are unaffected by dietary energy source. In: *XIVTH EUROPEAN POULTRY CONFERENCE* (4 p.). Presented at 14. European Poultry Conference, Stavanger, NOR (2014-06-23 - 2014-06-27). NOR : WPSA, Branche Norvégienne.

117- Loyau, T., **Métayer Coustard, S.**, Berri, C., Mignon-Grasteau, S., Hennequet Antier, C., Duclos, M.J., Tesseraud, S., Praud, C., Everaert, N., Moroldo, M., Lecardonnel, J., Martin, P., Coustham, V., Lagarrigue, S., Yahav, S., Collin, A. (2015). Long-lasting effects of thermal manipulations during embryogenesis in broiler chickens. In: Book of abstracts of the 66th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (p. 538). *Annual Meeting of the European Association for Animal Production*, 21. Presented at 66. Annual Meeting of the European Federation of Animal Science (EAAP), Varsovie, POL (2015-08-31 - 2015-09-04). Wageningen, NLD: Wageningen Academic Publishers.

118- Loyau, T., **Métayer Coustard, S.**, Berri, C., Mignon-Grasteau, S., Hennequet Antier, C., Praud, C., Duclos, M.J., Tesseraud, S., Coustham, V., Nyuiadzi, D., David, S.-A., Everaert, N., Siegel, P., Yalçın, S., Yahav, S., Collin, A. (2015). Variations in egg incubation temperature enable chicken acclimation through long-lasting changes in energy metabolism. In: *Climate Smart Agriculture 2015 Third Global Science Conférence*. Presented at Climate Smart Agriculture 2015, Montpellier, FRA (2015-03-16 - 2015-03-18).

119- Jégou, M., Louveau, I., Gondret, F., Lalande-Martin, J., Téa, I., Le Bihan-Duval, E., Berri, C., Désert, C., Lagarrigue, S., Duclos, M.J., Collin, A., **Métayer Coustard, S.**, Baeza, E. (2015). Les métabolites plasmatiques peuvent-ils être des marqueurs du dépôt de gras dans les tissus périphériques chez le poulet ? In: 11èmes Journées de la Recherche Avicole et Palmidès à Foie Gras (p. 560-564), Tours, FRA (2015-03-25 - 2015-03-26).

120- Métayer Coustard, S., **Royer, D.**, Lebihan-Duval, E., Raynaud, E., Bordeau, T., Cailleau-Audouin, E., Godet, E., Mercierand, F., Delaveau, J., Rat, C., Berri, C. (2015). *Early phenotypic and metabolic characterizations of two chicken lines divergently selected on their ultimate pH*. Presented at Combined Meeting of the Incubation and Fertility Research Group (IFRG/WPSA Working Group 6) and 7th Combined Workshop on "Fundamental Physiology and Perinatal Development in Poultry (WPSA Working Group 12), Berlin, DEU (2015-09-01 - 2015-09-04).

121- Métayer Coustard, S., **Royer, D.**, Bordeau, T., Cailleau-Audouin, E., Godet, E., Praud, C., Delaveau, J., Rat, C., Raynaud, E., Le Bihan-Duval, E., Berri, C. (2017). Caractérisation phénotypique et métabolique précoce de poussins issus d'une sélection divergente sélectionnée sur le pH ultime de la viande. In: *12èmes Journées de la Recherche Avicole et des Palmipèdes à Foie Gras* (p. 458-462), Tours, FRA (2017-04-05 - 2017-05-06).

122- Le Bihan-Duval, E., **Métayer Coustard, S.**, Berri, C. (2018). Les réserves énergétiques : un élément du compromis entre croissance, qualité du produit et robustesse chez le poulet de chair ? Journées Scientifiques du département de Génétique Animale, Dienné, (2018-10-02 - 2018-10-04).

123- Métayer Coustard, S., **Franzoni, A.**, Réhault-Godbert, S., Collin, A., Travel, A., Raynaud, E., Baumard, Y., Delaveau, J., Rat, C., Cailleau-Audouin, E., Godet, E., Brionne, A., Berri, C., Lebihan-Duval E. (2019). Variation des réserves énergétiques : impact sur la reproduction et les caractéristiques des œufs à couver en lignées chair. In: 13èmes Journées de la Recherche Avicole et Palmidès à Foie Gras (p. 206-209), Tours, FRA (2019-03-20 - 2019-03-21).

124- Michaud, F., Créach, P., Brouard, B., Gazengel, B., Simon, L., Collin, A., **Métayer Coustard, S.**, Travel, A. (2019). Vocalisation du poussin : développement d'une méthode d'enregistrement et d'analyse. In : 13èmes Journées de la Recherche Avicole et Palmidès

à Foie Gras (p. 375-379), Tours, FRA (2019-03-20 - 2019-03-21).

125- Petit, A., Réhault-Godbert, S., Nadal-Desbarats, L., Cailleau-Audouin, E., Chartrin, P., Raynaud, E., Bernardet, N., Chesse, M., Le Bihan-Duval E., **Métayer Coustard, S.** (2019). Metabolomic analysis of nutrient sources in the embryonic egg of two divergent lines for meat ultimate pH. Fundamental Physiology and Perinatal Development in Poultry. Incubation and Fertility Research Group (IFRG/Working Group 6) Meeting – Tours, FRA (2019-08-28 - 2019-08-30).

126- Bergeot M.A., Collin A., Travel A., Pampouille E., Akakpo R., Raynaud E., Cailleau-Audouin E., Souchet C., Bernard J., Guilloteau L., **Métayer Coustard, S.**, Le Bihan-Duval E., (2022). Recherche de nouveaux indicateurs ou biomarqueurs pour l'amélioration génétique de la qualité des poussins. Presented at 14. Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à foie gras. Article p 99-103, Tours, FRA (2022-03-09 - 2022-03-10).

127- Travel A., Collin A., Pampouille E., Raynaud E., Cailleau-Audouin E., Crochet S., Couroussé N., Bordeau T., Souchet C., Chezaud M., Bernard J., Tesseraud S., Berri C., Guilloteau L.A., Le Bihan-Duval E., **Métayer Coustard, S.** (2022). Effet des conditions pré- et post-incubation et d'une supplémentation nutritionnelle, sur les performances et le métabolisme des poulets. Presented at 14. Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à foie gras. Article p 459-463, Tours, FRA (2022-03-09 - 2022-03-10).

128- Métayer Coustard S., **Franzoni A.**, Réhault-Godbert S., Collin A., Travel A., Raynaud E., Baumard Y., Delaveau J., Rat C., Cailleau-Audouin E., Brionne A., Berri C., Le Bihan-Duval E. Variation in muscle energy stores : impact on reproduction and egg characteristics in meat-type chicken strains. WPC postponed 2022, Paris. Webinar (2022-05-10)

129- Adriaensen H., Lecompte F., Parasote V., Bernardet N., **Métayer Coustard S.**, Guyot N., Halgrain M., Réhault-Godbert S. Computed Tomography (CT) and Magnetic Resonance Imaging (MRI) to phenotype fertilized eggs during incubation. WPC postponed 2022, Paris.

3. Présentations affichées

130- Gatti, J.L., Druart, X., Dacheux, F., Guérin, Y., **Métayer, S.**, Dacheux, J.L. (1998). Relationship between the ram sperm plasma membrane and epididymal fluid proteins. 8th International Symposium on spermatology. Montréal, 1998.

131- Métayer, S., Dacheux, J.L., Gatti, J.L. (1999). Analysis of ram epididymal fluid proteases by one and two dimensional gel zymography. Electrophoresis forum'99, International Council of Electrophoresis Societies . Rouen, 24-26 novembre 1999.

132- Métayer, S., Dacheux, J.L., Gatti, J.L. (1999). Enzymologic Properties of the Ram Epididymal Fluid Form of the Angiotensin-I-Converting Enzyme (ACE). Biology of the Cell (Colloque Biotechnocentre, 4-5 novembre 1999, Seillac). 92 (1): Abstr.p11.

133- Métayer, S., Dacheux, F., Guérin, Y., Dacheux, J.L., Gatti, J.L. (2001). Characteristics of the epididymal soluble form of germinal angiotensin I-converting enzyme (ACE). Enzymatic properties and relationship with sperm fertility in vitro and in vivo. Society for the Study of Reproduction (34th annual meeting), University of Ottawa, 28 juillet -01 août 2001. Biology of Reproduction (2001), vol.64, suppl. 1, Abstr. 300, p. 224.

134- Gatti, J.L., **Métayer, S.**, Dacheux, F., Guérin, Y., Dacheux, J.L. (2001). Origin and characterization of ram epididymal fluid proteases. Society for the Study of Reproduction (34th annual meeting), University of Ottawa, 28 juillet-01 août 2001. Biology of Reproduction (2001), vol.64, suppl. 1. Abstr. 301, p. 224.

135- Sarradin, P., **Métayer, S.**, Moudjou, M., Andréoletti, O., Lantier, F., Dacheux, J.L., Gatti, J.L. (2002). Prion Protein in Seminal Plasma, Epididymal Fluid and Sperm of Healthy and Scrapie Infected Sheep. International Conference on Transmissible Spongiform

Encephalopathies. Edinburgh, UK, 15-18 septembre 2002.

136- Métayer, S., Heck, A., Williams, J. (2002). The ontogeny of the IGF system in broiler chicken ovary. Joint European Winter Conference on Reproduction, 19-21 décembre 2002. Reproduction, The Journal of the Society for Reproduction and Fertility (2002), vol.29, Abstr. 38, p.16. (1er prix des posters)

137- Heck, A., Métayer, S., Putterflam, J., Jego, Y., Trevidy, JJ., Williams, J., Picard, M. (2003). Effets de l'alimentation ad libitum sur les poules reproductrices chair entre 1 et 40 semaines. 5ièmes Journées de la Recherche Avicole, 26-27 mars 2003, Tours :p.113-116 [1].

138- Gatti, J.L., Métayer, S., Moudjou, M., Andreoletti, O., Lantier, F., Dacheux, JL., Sarradin, P. (2003). Prion Protein in the ovine genital tract. In the "Third international conference on the epididymis". 2003 Eds Hinton, B. and Turner, T. The Van Doren company, Charlottesville, VA, USA. Abstract pp 322.

139- Gatti, J.L., Belghasi, M., Métayer, S., Dacheux, F., Dacheux, J.L. (2003). Proteomic analysis of epididymal fluid exosomes like vesicles (epididymosomes). 2003 Journal of Andrology March/April suppl. Abstract p36. 28th annual meeting, Phoenix Arizona, USA.

140- Thimon, V., Métayer, S., Belghazi, M., Dacheux, J-L., Gatti, J-L. (2003). Détermination du site d'action de la sécrétase impliquée dans libération de la forme germinale de l'enzyme de conversion de l'angiotensine-I (ECAg). Colloque Biotechnocentre, 6-7 novembre 2003 (Seillac).

141- Cassy, S., Métayer, S., Crochet, S., Picard, M. (2004). Potential involvement of the leptin receptor in ovarian dysfunction of broiler breeder hens fed ad libitum. XXIIth World's Poultry Congress, Istanbul, 8-13 juin 2004.

142- Onagbesan, O.M., Bruggeman, V., Métayer, S., Van As, P., Swennen, Q., Decuypere, E. (2004). Implications of 7- IGFs and BMPs on follicular development in broiler breeder hens. WPC 2004 XXIIInd World's Poultry Congress, Istanbul, 8-13 juin 2004.

143- Métayer, S., Duclos, M.J., Crochet, S., Chevalier, B., Williams, J. (2004). Modification of the intra-ovarian IGF system by feed restriction in broiler breeder hens. WPC 2004 XXIIInd World's Poultry Congress, Istanbul, 8-13 juin 2004.

144- Rideau, N., Métayer, S., Tesseraud, S., Derouet, M., Peresson, R., Taouis, M., Cassy, S. (2004). Is there a peripheral or a tissue-specific insulin resistance in broiler breeder hens fed ad libitum? WPC 2004 XXIIInd World's Poultry Congress, Istanbul, 8-13 juin 2004.

145- Thimon, V., Métayer, S., Belghasi, M., Dacheux, F., Dacheux, JL., Gatti, JL. (2005). In vivo shedding of the germinal angiotensin-converting enzyme (gACE) involves a serine protease and is controlled by epididymal factor(s). 38th Annual Meeting of the Society for the Study of Reproduction, 24-27 juillet 2005, Quebec City (Canada).

146- Duchene, S., Abbas, M., Seiliez, I., Audouin, E., Crochet, S., Métayer Coustard, S. and Tesseraud, S. (2007). Decreased nutritional responsiveness of S6K1 in the breast muscle of genetically fat chickens. 2e Symposium International sur le Métabolisme et la Nutrition énergétiques et protéiques. Vichy, France 9-13 sept. 2007.

147- Collin, A., Swennen, Q., Métayer Coustard, S., Cassy, S., Briclot, G., Crochet, S., Decuypere, E., Buyse, J., Tesseraud, S. (2007). Regulation of mitochondrial and tissue oxidations by thyroid hormones in the chicken muscle. 2e Symposium International sur le Métabolisme et la Nutrition énergétiques et protéiques. Vichy, France 9-13 sept. 2007.

148- Métayer Coustard, S., Collin, A., Audouin, E., Crochet, S., Dupont J. and Tesseraud S. (2007). AMPK regulates the S6K1 pathway and protein synthesis in avian QM7 myoblasts. 2e Symposium International sur le Métabolisme et la Nutrition énergétiques et protéiques. Vichy, France 9-13 sept. 2007.

149- Métayer Coustard, S., Crochet, S., Audouin, E., Derouet, M., Mercier, Y., Geraert, P.A.

and Tesseraud, S. (2007). Amino acid signalling: methionine regulates the S6K1 pathway and protein synthesis in avian QM7 myoblasts. 2e Symposium International sur le Métabolisme et la Nutrition énergétiques et protéiques. Vichy, France 9-13 sept. 2007.

150- Boussaid, S., **Métayer Coustard, S.**, Rideau, N., Collin, A., Tesseraud, S. (2008). Does chronic heat exposure alter the regulation of the PKB/S6K1 pathway in chicken skeletal muscles? In: 9th International Symposium on Avian Endocrinology, 11-15 juillet 2008, Leuven (BEL).

151- Joubert, R., Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.**, Crochet, S., Buyse, J., Swennen, Q., Letierrier, C., Bouvarel, I., Collin A. (2008). 48h-cycle sequential feeding with diets varying in protein and energy contents alters thyroid axis and energy metabolism in chicken. In: 9th International Symposium on Avian Endocrinology, 11-15 juillet 2008, Leuven (BEL).

152- Jlali, MM., Sibut, V., Sellier, N., Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.**, Gigaud, V. Duclos MJ., Le Bihan-Duval, E., Berri, C. (2008). Régulation du glycogène musculaire et relation avec la qualité de la viande de poulet. 12èmes Journées Sciences du Muscle et Technologies des Viandes (JSMTV), 8-9 octobre 2008, Parçay-Meslay (FRA). (Résumé: Viandes et Produits Carnés, hors série, p.173-174)

153- Tesseraud, S., Boussaid, S., Bouvarel, I., **Métayer Coustard, S.**, Collin, A., Seilliez, I., Letierrier, C. (2008). L'expression de MuRF1 et atrogin-1 dans le muscle pectoral du poulet est régulée par les modifications journalières des apports en lysine ou en protéines/énergie. 7èmes Journées Francophones de Nutrition, 26-28 novembre 2008, Brest (FRA). (Résumé : Nutrition Clinique et Métabolisme, Vol. 22 supplément 1, Abstr. P022, p.S64)

154- **Métayer Coustard, S.**, **Mameri, H.**, Joubert, R., Lescoat, P., Berri, C., Collin, A., Tesseraud S. (2008). Alimentation séquentielle et régulation à court terme du métabolisme du glycogène chez le poulet : impact sur la qualité de la viande. 7èmes Journées Francophones de Nutrition, 26-28 novembre 2008, Brest (FRA). (Résumé : Nutrition Clinique et Métabolisme, Vol. 22 supplément 1, Abstr. P029, p.S68)

155- **Métayer Coustard, S.**, Collin, A., Chagneau, A.M., **Mameri, H.**, Boussaid, S., Joubert, R., Crochet, S., Audouin, E., Berri, C., Bouvarel, I., Lescoat, P., Tesseraud, S. (2008). Impact des variations alimentaires sur le statut métabolique et la qualité de la viande de poulet : recherche des mécanismes d'adaptation. In : Journées de Restitution des Projets Financés sur Crédits Incitatifs 2006-2007, Département Phase, 26-27 novembre 2008, Tours (FRA).

156- Bedrani, L., Berri, C., Grasteau, S., Jogo, Y., Yahav, S., Everaert, N., Jlali, M., Joubert, R., **Métayer Coustard, S.**, Praud, C., Temim, S., Tesseraud, S., Collin, A. (2009). Effet d'un conditionnement embryonnaire à la chaleur sur la croissance, la qualité de la viande et la régulation de la thermotolérance chez le poulet. Résumé soumis pour les 3^{èmes} Journées d'Animation Scientifique du département PHASE. 7-9 octobre 2009, Tours (FRA).

157- Joubert, R., Crochet, S., **Métayer Coustard, S.**, Duclos, MJ., Dupont, J., Tesseraud, S., Collin, A. (2009). Régulation de l'expression de la protéine découplante avUCP par le système β -adrénergique dans le myoblaste de poussin. 3^{ème} Colloque MeetOchondrie, 4-7 mai 2009, La Grande Motte (FRA).

158- Everaert, N., Runtuwene, R., Li, Y., Willemsen, H., Debonne, M., Buyse, J., **Métayer Coustard, S.**, Decuypere, E., Tesseraud, S. (2010). The effect of embryonic protein undernutrition in the chicken (layer) embryo on postnatal glucose tolerance and the hepatic IGF metabolism. In: Proceedings of the 13th European Poultry Conference (EPC 2010) (p. 703). *World's Poultry Science Journal*, 66. Presented at 13. European Poultry Conference (EPC 2010), Tours, FRA (2010-08-23 - 2010-08-27). Tours, FRA: French Branch of World's Poultry Science Association.

159- Collin, A., Loyau, T., Bedrani, L., Grasteau, S., Praud C., et al. Projets THERMOCHICK et EpiTherm : à la recherche des mécanismes impliqués dans l'acclimatation embryonnaire du poulet à la chaleur. *L'Ecole-Chercheurs "Gestion génomique des RGA en régions*

chaudes, Gosier, FRA (2012-01).

160- Loyau, T., Berri, C., Bedrani, L., **Métayer Coustard, S.**, Praud, C., Duclos, M., Tesseraud, S., Rideau, N., Baeza, E., Chartrin, P., Hennequet-Antier, C., Everaert, N., Yahav, S., Mignon-Grasteau, S., Collin, A. (2013). Les manipulations thermiques embryonnaires modifient la physiologie et la composition corporelle des poulets de chair sans altérer la qualité de la viande. In: 10. Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras (p. 196-200), La Rochelle, FRA (2013-03-26 - 2013-03-28).

161- Coudert, E., Dupont, J., Simon, J., Crochet, S., Cailleau-Audouin, E., Duclos, M.J., Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.** (2013). Caractérisation d'un transporteur de glucose insulino-sensible chez le poulet : GLUT12. 26^{ième} Colloque Biotechnocentre. Seillac 10-11/10/2013.

162- Loyau, T., Hennequet Antier, C., **Métayer Coustard, S.**, Leduc, M., Crochet, S., Cailleau-Audouin, E., Sannier, M., Berri, C., Duclos, M.J., Tesseraud, S., Couroussé, N., Chartrin, P., Praud, C., Everaert, N., Rideau, N., Mignon-Grasteau, S., Moroldo, M., Lecardonnell, J., Martin, P., Coustham, V., Lagarrigue, S., Yahav, S., Collin, A. (2015). Acclimatation embryonnaire à la chaleur : quels sont les mécanismes moléculaires modifiés chez le poulet de chair en finition ? In: 11^{ème} Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras (p. 1001-1005), Tours, FRA (2015-03-25 - 2015-03-26).

163- Baeza, E., Gondret, F., Chartrin, P., Le Bihan-Duval, E., Berri, C., Gabriel, I., Narcy, A., Lessire, M., **Métayer Coustard, S.**, Collin, A., Jégou, M., Lagarrigue, S., Duclos, M.J. (2015). La capacité de stockage des lipides par des poulets maigres ou gras n'est pas influencée par la source d'énergie de l'aliment. In: 11^{èmes} Journées de la Recherche Avicole et des Palmipèdes à Foie Gras (p. 755-759), Tours, FRA (2015-03-26 - 2015-03-26).

164- Désert, C., Baeza, E., Aite, M., Boutin, M., Le Cam, A., Houee-Bigot, M., Blum, A., Roux, P.-F., Gondret, F., Hennequet Antier, C., Berri, C., Lessire, M., **Métayer Coustard, S.**, Collin, A., Le Bihan-Duval, E., Duclos, M.J., Lagarrigue, S. (2015). Contributions des transcriptomes du foie, tissu adipeux et muscle aux mécanismes d'adaptation des poulets de chair face à une variation de la source d'énergie dans l'aliment. In: 11^{èmes} Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras (p. 761-766), Tours, FRA (2015-03-25 - 2015-03-26).

165- Coudert, E., Crochet, S., Cailleau-Audouin, E., Bordeau, T., Collin, A., Berri, C., Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.** (2015). Expression et ontogenèse des transporteurs de glucose SLC2A-1, -8 et -12 dans différents muscles de poulet. In: 11^{ème} Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras (p. 819-822), Tours, FRA (2015-03-25 - 2015-03-26). Paris, FRA : ITAVI - Institut Technique de l'Aviculture.

166- Coudert, E., Cailleau-Audouin, E., Praud, C., Froment, P., Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.** (2015). Peculiarities of chickens' glucose transport and mechanisms involved. Presented at 20 European Symposium on Poultry Nutrition (ESPN), Prague, CZE (2015-08-24 - 2015-08-27).

167- Métayer Coustard, S., Coustham, V., Collin, A., Froment, P. (2016). Modification environnementale nutritionnelle précoce de l'embryon et impact sur l'élaboration des phénotypes à long terme. In: *Crédits Incitatifs financés entre 2011 et 2014* (p. 80). Presented at Journées d'Animation des Crédits Incitatifs du Département de Physiologie Animale et Systèmes d'Élevage (JACI Phase 2016), Tours, FRA (2016-04-05 - 2016-04-06).

168- Couroussé, N., Praud, C., Loyau, T., Coustham, V., Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.**, Collin, A. (2017). *In vitro* effects of triiodothyronine and insulin on the metabolism of muscle cells from chickens submitted or not to heat manipulation during embryogenesis Combined Meeting Incubation and Fertility Research Group (IFRG/Working Group 6) and of the Fundamental Physiology and Perinatal Development Group (WPSA Working Group 12) Wageningen, Netherlands (2017-08-30 – 2017-09-01)

- 169- Métayer Coustard, S., Royer, D.,** Bordeau, T., Cailleau-Audouin, E., Godet, E., Praud, C., Delaveau, J., Rat, C., Raynaud, E., Collin, A., Le Bihan-Duval, E., Berri, C. (2017). Early growth and metabolic characterizations of two chicken lines divergently selected on their breast meat ultimate pH. XXIII European Symposium on the Quality of Poultry Meat and XVII European Symposium on the Quality of Eggs and Egg Products, Edinburgh, United Kingdom (2017-09-03 – 2017-09-05). Premier prix du Poster présenté en communication orale.
- 170- Collin, A., Loyau, T., Métayer Coustard, S.,** Berri, C., Tesseraud, S., *et al.* (2018) Multigenerational effects of heat manipulation during embryogenesis on body temperature and growth in broiler chickens. Incubation and Fertility Research Group (IFRG/Working Group 6) Meeting – 4-5.10.2018 Edinburgh, Scotland..
- 171- Franzoni, A.,** Raynaud, E., Baumard, Y., Cailleau-Audouin, E., Marzoni, M., **Métayer Coustard, S.,** Le Bihan-Duval, E. (2018). Laying performances and egg quality in two broiler breeder purelines divergently selected on their meat ultimate pH. Incubation and Fertility Research Group (IFRG/Working Group 6) Meeting – 4-5.10.2018 Edinburgh, Scotland.
- 172- Franzoni, A.,** Cailleau-Audouin, E., Bordeau, T., Raynaud, E., Baumard, Y., Delaveau, J., Rat, C., Praud C., Marzoni, M., Mignon-Grasteau, S., Le Bihan-Duval, E., **Métayer Coustard, S.** (2018) Incubation traits and embryo development in two broiler breeder purelines divergently selected on their energetic status. Incubation and Fertility Research Group (IFRG/Working Group 6) Meeting – 4-5.10.2018 Edinburgh, Scotland.
- 173- Barbe, A., Mellouk, N., Ramé, C., Grandhaye, J., Venturi, E., Cirot, M., Staub, C., Petit, A., Anger, K., Chahnamian, M., Ganier, P., Callut, O., Cailleau-Audouin, E., Métayer Coustard, S., Mairiel, F., Riva, A., Froment, P., Dupont, J.** (2019). Effets d'extraits de pépins de raisins sur les paramètres métaboliques chez les poules reproductrices. In: 13èmes Journées de la Recherche Avicole et Palmidèdes à Foie Gras (p. 529-534), Tours, FRA (2019-03-20 - 2019-03-21).
- 174- Nadal-Desbarats L., Petit A.,** Réhault-Godbert S., Martias C., Montigny F., Le Bihan-Duval E., **Métayer Coustard S.** (2019). Etude par spectroscopie 1H-NMR du profil métabolique du liquide allantoïque au cours du développement embryonnaire de deux lignées de poulets divergentes pHu- et pHu+. 12^{èmes} journées scientifiques du RFMF, Clermont-Ferrand, FRA (2019-05-21 - 2019-05-23).
- 175- Métayer Coustard, S., Franzoni, A.,** Réhault-Godbert, S., Collin, A., Travel, A., Raynaud, E., Baumard, Y., Delaveau, J., Rat, C., Cailleau-Audouin, E., Godet, E., Brionne, A., Berri, C., Le Bihan-Duval, E. (2019). Impact of variation in energy stores on reproduction and egg characteristics of meat-type chickens. XI European Symposium on Poultry Genetics, Prague, Czech Republic (2019-10-23 -2019-10-25).
- 176- Petit, A.,** Nadal-Desbarats, L., Montigny, F., Cailleau-Audouin, E., Chartrin, P., Réhault-Godbert, S., Berri, C., Le Bihan-Duval, E., Tesseraud, S., **Métayer Coustard, S.** (2022). Projet «INOVE» Crédit incitatif 2017: Recherche d'Indicateurs *in Ovo* du statut Energétique de l'animal. Journées d'Animation Scientifique du département Phase, Poitiers, FRA (2022-05-18 -2022-05-19).
- 177- Collin, A., Réhault-Godbert, S., Mignon-Grasteau, S., Guilloteau, L.A., Tesseraud, S., Métayer Coustard, S.,** Narcy, A., Bordeau, T., Couroussé, N., Cailleau-Audouin, E., Godet, E., Crochet, S., Bernardet, N., Chessé, M., Halgrain, M., Delaveau, J., Même, N., Bernard, J., Ganier, P., Rat, C., Meslier, J.M., Le Bourhis, C., Lilin, T., Blavy, P., Praud, C., Berri, C. (2022). Carbodéfaut - Impact d'un fort taux de CO2 en début d'incubation des œufs sur les défauts musculaires du poulet de chair. Journées d'Animation Scientifique du département Phase, Poitiers, FRA (2022-05-18 -2022-05-19).