ECOLE SUPERIEURE
D'AGRICULTURE
55, rue Rabelais – B.P. 748
49007 ANGERS CEDEX 01
Tél. : 02.41.23.55.55

CHAMBRE D'AGRICULTURE DES PAYS DE LA LOIRE
9 rue André-Brouard – C.S. 70510
49105 ANGERS Cedex 02

INRA - CENTRE DE POITOU-CHARENTES
Unité expérimentale EASM
Le Magneraud – BP 52
17700 Surgères

- CONFIDENTIEL –

AVIALIM BIO : Mesure de la valeur nutritionnelle de matières premières biologiques et évaluation technique de formules 100% biologiques chez le poulet de chair à croissance lente

MISSION Recherche et Innovation – 2012
MOTS clefs : Alimentation Animale – Aviculture
Volailles - Agriculture biologique

Anne-Sophie DELASSUS
Promotion 2008

Résumé

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

AUTEUR : DELASSUS Anne-Sophie
Promotion : 2008
Signalement du rapport : AVIALIM BIO : Mesure de la valeur nutritionnelle de matières premières biologiques et évaluation technique de formules 100% biologiques chez le poulet de chair à croissance lente, 2012, 32 pages.

Mots-clés : Alimentation Animale – Aviculture - Volailles - Agriculture biologique

	RESUME D'AUTEUR
PLAN INDICATIF	Introduction I/ Etude bibliographique II/ Problématique III/ Etude expérimentale 1/ Organisation 2/ Matériels et méthodes IV/ Résultats V/ Discussion Conclusion
BUTS DE L'ETUDE	(1) Identifier et caractériser qualitativement des matières premières (MP) riches en protéines potentiellement intéressante pour l'alimentation 100% biologique des volailles et (2) proposer des formules alimentaires 100% biologiques équilibrées et techniquement performantes.
METHODES & TECHNIQUES	(1) Analyse biochimique des MP et détermination de leurs valeurs énergétique et azotée par la technique des bilans digestifs chez le poulet à croissance lente et le coq adulte (2) Etude comparative de 15 formules 100% biologiques sur des poulets à croissance lente élevés au sol
RESULTATS	(1) Le tourteau de soja biologique a une teneur en matière azotée totale inférieure aux concentrés protéiques de riz et de luzerne mais la digestibilité de l'azote y est largement supérieure (environ 85,8% chez le poulet). Les valeurs nutritionnelles des MP biologiques sont différentes des mêmes MP conventionnelles et il existe une variabilité intra MP des valeurs nutritionnelles. (2) Des formules 100% biologiques substituant entre 24,9% et 44,4% de tourteau de soja (par rapport à la formule 100% biologique témoin) aboutissent à des performances techniques comparables. La substitution du soja est notamment permise par l'introduction dans une formule de concentré protéique de riz (maximum 4%) ou de tourteau de chanvre (maximum 10%).
CONCLUSIONS	Il est possible de formuler des aliments 100% biologiques performants techniquement sur le stade croissance des animaux (entre 29 et 54 jours d'âge) en diminuant l'incorporation du tourteau de soja jusqu'à 44,4%

Abstract

BIBLIOGRAPHIC NOTE	
AUTHOR : DELASSUS Anne-Sophie Promotion : 2008 Reporting report: AVIALIM BIO: Measuring the nutritional value of organic raw materials and technical evaluation of 100% organic diets in slow-growing broilers, 2012, 32 pages. Key Word : Animal Feed - Poultry – Chickens - Organic Agriculture	
	AUTHOR'S ABSTRACT
INDICATIVE OUTLINE	Introduction I/ Literature review II/ Issue III/ Experimental study 1/ Organization 2/ Means and Methods IV/ Results V/ Discussion Conclusion
AIMS OF THE STUDY	(1) Identify and characterize qualitatively raw materials (RM) rich in proteins potentially interesting for 100% organic diets for poultry and (2) put forward 100% organic diets balanced and technically efficient.
MEANS & METHODS	(1) Biochemical analysis of RM and determination of their energy and protein values by the digestive balance method on slow-growing broilers and adult cockerels (2) Comparative study of 15 "100% organic diets" on slow-growing broilers
RESULTS	(1) The crude protein content of organic soybean meal is lower than those of the rice and alfalfa protein concentrates but its apparent digestibility coefficient of crude protein is higher for poultry (about 85.8% in slow-growing broilers). Nutritional values of organic RM tested are different than the same non-organic RM and there is a variability intra-MP of nutritional values. (2) 100% organic diets substituting between 24.9 and 44.4% soybean meal lead to the same technical performance. These diets included notably rice protein concentrate (maximum rate of incorporation: 4%) or hemp meal (maximum rate of incorporation: 10%)
CONCLUSIONS	It is possible to make 100% organic diets technically efficient for slow-growing broilers (between 29 and 54 days of age) by reducing the incorporation of soybean meal to 44.4%

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier ma maitre d'apprentissage Célia BORDEAUX, coordinatrice régionale du programme de recherche en Agriculture Biologique du pôle Bio des Chambres d'Agriculture des Pays de la Loire, pour m'avoir permis de réaliser cette mission très enrichissante au sein de l'unité expérimentale EASM (Elevage Alternatif et Santé des Monogastriques) de l'INRA du Magneraud.

Je remercie Karine GERMAIN, directrice de l'unité et Hervé JUIN pour l'accueil qu'ils m'ont réservé durant cette mission. Je suis très reconnaissante de l'aide et des conseils qu'ils m'ont prodigué, ainsi que pour les renseignements qu'ils m'ont communiqués, nécessaires à l'élaboration de ce rapport. Je les remercie aussi de m'avoir fait profiter de leurs expériences et de leurs méthodes de travail.

Je remercie également Philippe ROUSSEAU et toute l'équipe élevage ainsi que Dalila FEUILLET et toute l'équipe laboratoire pour leur gentillesse, leur disponibilité et leurs nombreuses explications.

Table des matières

Résumé – Abstract

Remerciements

Sigles et abréviations

Introduction générale ---------- 1

PARTIE I. Etude bibliographique ---------- 2

1. Rappels physiologiques ---------- 2

1.1. Les mécanismes de digestion et d'absorption intestinale chez les volailles ---------- 2

1.1.1. La digestion et l'appareil digestif des volailles ---------- 2

1.1.2. L'absorption des produits de la digestion ---------- 3

1.1.3. La digestibilité des aliments ---------- 3

1.2. Le métabolisme énergétique ---------- 3

1.3. Le métabolisme protéique ---------- 4

1.3.1. Le rôle des acides aminés ---------- 4

1.3.2. Le métabolisme protéique ---------- 4

1.3.3. Notion d'acides aminés essentiels ---------- 5

2. Les besoins alimentaires du poulet, de la poulette et de la poule pondeuse ----- 5

3. Les matières premières riches en protéines ---------- 6

3.1. Le gluten de maïs et le concentré protéique de pommes de terre ---------- 6

3.2. Les tourteaux d'oléagineux biologiques ---------- 6

3.2.1. Le tourteau de soja ---------- 7

3.2.2. Le tourteau de tournesol ---------- 7

3.2.3. Le tourteau de colza ---------- 7

3.2.4. Le tourteau de chanvre ---------- 7

3.2.5. Le tourteau de lin ---------- 7

3.2.6. Le tourteau de sésame ---------- 8

3.2.7. Le tourteau de cameline ---------- 8

3.3. Les protéagineux à graines biologiques : Pois, Féverole et Lupin ---------- 8

3.4. Le concentré protéique de luzerne biologique ---------- 8

3.5. Le concentré protéique de riz biologique ---------- 8

3.6. L'ortie biologique ---------- 9

3.7. Les drèches de brasseries biologiques déshydratées ---------- 9

3.8. La levure de bière déshydratée ---------- 9

3.9. La spiruline (micro-algue) ---------- 9

3.10. Le lactosérum ---------- 9

3.11. Les ovo-produits ---------- 9

3.12. Les farines de poissons ---------- 9

3.13. Les macro-invertébrés : insectes, lombrics, gastéropodes et mollusques ---------- 10

3.13.1. La farine de vers de terre ---------- 10

3.13.2. Les larves d'insectes ---------- 10

3.13.3. La chair de crépidules ---------- 10

3.13.4. La farine de moules ---------- 10

PARTIE II. Problématique ---------- 11

PARTIE III. Etude expérimentale ---------- 12

1. Organisation ---------- 12

2. Matériels et méthodes ---------- 12

2.1. Essai 1 : Evaluation de la valeur nutritionnelle de matières premières biologiques chez le poulet à croissance lente ---------- 12

2.1.1. Animaux ---------- 13

2.1.2. Aliments ---------- 13

2.1.3. Déroulement de l'expérience ---------- 13

a. Période 1 : Elevage au sol ---------- 13

b. Période 2 : Accoutumance à l'aliment ---------- 14

c. Période 3 : Bilans digestifs ---------- 14

2.1.4. Les mesures et calculs réalisés ---------- 14

a. Données recueillies ---------- 14

b. Analyses des aliments, des matières premières et des fientes ---------- 14

c. Calculs réalisées ---------- 15

i. Calcul de l'énergie Métabolisable Apparente ---------- 15

ii. Calcul de l'Energie Métabolisable Apparente à bilan azoté nul ---------- 15

iii. Calcul des coefficients d'utilisation digestive ---------- 15

2.1.5. Analyses statistiques ---------- 16

2.1.6. Différence avec l'essai « digestibilité »sur coq ---------- 16

2.2. Essai 2 : Etude comparative de formules alimentaires 100% biologiques chez le poulet entre 29 et 57 jours d'âge ---------- 16

2.2.1. Animaux ---------- 16

2.2.2. Aliments ---------- 17

2.2.3. Déroulement de l'expérience ---------- 17

a. Période pré-expérimentale : J1-J29 ---------- 17

b. Période expérimentale : J29-J57 ---------- 17

2.2.4. Les mesures et calculs réalisés ---------- 18

a. Données recueillies ---------- 18

b. Analyses des aliments et des matières premières ---------- 18

c. Calculs réalisées ---------- 18

i. Calcul de l'indice de consommation ---------- 18

ii. Calcul du gain moyen quotidien ---------- 18

2.2.5. Analyses statistiques ---------- 18

PARTIE IV. Résultats ---------- 19

1. Essai 1 : Evaluation de la valeur nutritionnelle de matières premières biologiques chez le poulet à croissance lente et le coq ---------- 19

1.1. Gestion des données aberrantes ---------- 19

1.2. Valeurs nutritionnelles des MP testées ---------- 19

1.3. Performances des poulets à croissance lente ---------- 19

1.4. L'énergie métabolisable ---------- 19

1.5. Le CUD apparent de la MS ---------- 20

1.6. Le CUD apparent de l'azote ---------- 20

2. Essai 2 : Etude comparative de formules alimentaires 100% biologiques chez le poulet entre 29 et 57 jours d'âge ---------- 21
2.1. Gestion des données aberrantes ---------- 21
2.2. Valeurs nutritionnelles des aliments testées ---------- 21
2.3. Période pré-expérimentale : de J1à J29 ---------- 21
2.4. Période expérimentale : de J29 à J 54 ---------- 22
2.4.1. La consommation quotidienne d'aliment par animal ---------- 23
2.4.2. Le GMQ ---------- 23
2.4.3. L'IC ---------- 23
2.4.4. Le poids à 54 jours ---------- 24
2.4.5. Note d'état des litières ---------- 24
2.4.6. Récapitulatif des groupes homogènes avec le témoin ---------- 24

PARTIE V. Discussion ---------- 25

1. Discussion du protocole expérimental ---------- 25
1.1. Dispositif général ---------- 25
1.2. Essai 1 : Evaluation de la valeur nutritionnelle de matières premières biologiques chez (1) le poulet à croissance lente et (2) le coq ---------- 25
1.2.1. Intérêts et limites du choix d'une alimentation ad libitum ---------- 25
1.2.2. Ecarts observés sur les valeurs nutritionnelles analysées ---------- 26
1.3. Essai 2 : Etude comparative de formules alimentaires 100% biologiques chez le poulet entre 29 et 57 jours d'âge ---------- 26
1.3.1. Décision prise face aux quantités insuffisantes d'aliments expérimentaux ---------- 26
1.3.2. Intérêt de la réalisation d'une répétition du dispositif ---------- 27
1.3.3. Les essais et le mode de production en AB : similitudes et dissimilitudes ---------- 27

2. Discussion sur les résultats obtenus ---------- 28
2.1. Essai 1 : Evaluation de la valeur nutritionnelle de matières premières biologiques chez (1) le poulet à croissance lente et (2) le coq ---------- 28
2.2. Essai 2 : Etude comparative de formules alimentaires 100% biologiques chez le poulet entre 29 et 57 jours d'âge ---------- 30

3. Perspectives de travail ---------- 31

Conclusion générale ---------- 32

Bibliographie

Glossaire

Table des figures et illustrations

Annexes

Sigles et abréviations

AA : Acide Aminé
AAE : Acide Aminé Essentiel
AAS : Acide Aminé Soufré
AB : Agriculture Biologique
APCA : Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture
CASDAR : Compte d'affectation Spécial pour le Développement Agricole et Rural
CDA : Chambre Départementale d'Agriculture
CEE : Communauté Economique Européenne
CP : Concentré Protéique
CPPT : Concentré Protéique de Pomme de Terre
CRA : Chambre Régionale d'Agriculture
CTA : Centre des Technologies Agronomiques
CUD : Coefficient d'Utilisation Digestive
da : digestibilité apparente
dE : digestibilité apparente de l'Energie
$d_{iléale}$: digestibilité iléale
dMS : digestibilité apparente de la Matière Sèche
dN : digestibilité apparente de l'azote
dr : digestibilité réelle
EASM : Elevage Alternatif et Santé des Monogastriques
EB : Energie Brute
ED : Energie Digestible
EM : Energie Métabolisable
EMA : Energie Métabolisable Apparente
EMAn : Energie Métabolisable Apparente à bilan azoté nul
EN : Energie Nette
ENE : Energie Nette d'entretien
ENP : Energie Nette de production
EOPS : Exemptes d'Organismes Pathogènes Spécifiques
EPST : Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique
ETP : Equivalent Temps Pleins
FAN : Facteurs Antinutritionnels
GEVES : Groupe d'Etude des Variétés Et des Semences
GMQ : Gain Moyen Quotidien
IC : Indice de Consommation
INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
Kg : Kilogramme
Lys : Lysine
MAT : Matière Azotée Totale
MB : Matière Brute

Met :	Méthionine
MG :	Matière Grasse
MP :	Matière Première
MPA :	Marge Poussin - Aliment
MPRP :	Matière Première Riche en Protéines
MS :	Matière Sèche
PdT :	Pomme de Terre
PHASE :	Physiologie Animale et Systèmes d'Elevages
SA :	Santé Animale
SDAR :	Service Déconcentré d'Appui à la Recherche
SNK :	Student Newman Keuls
UE :	Unité Expérimentale
UR :	Unité de Recherche

Introduction générale

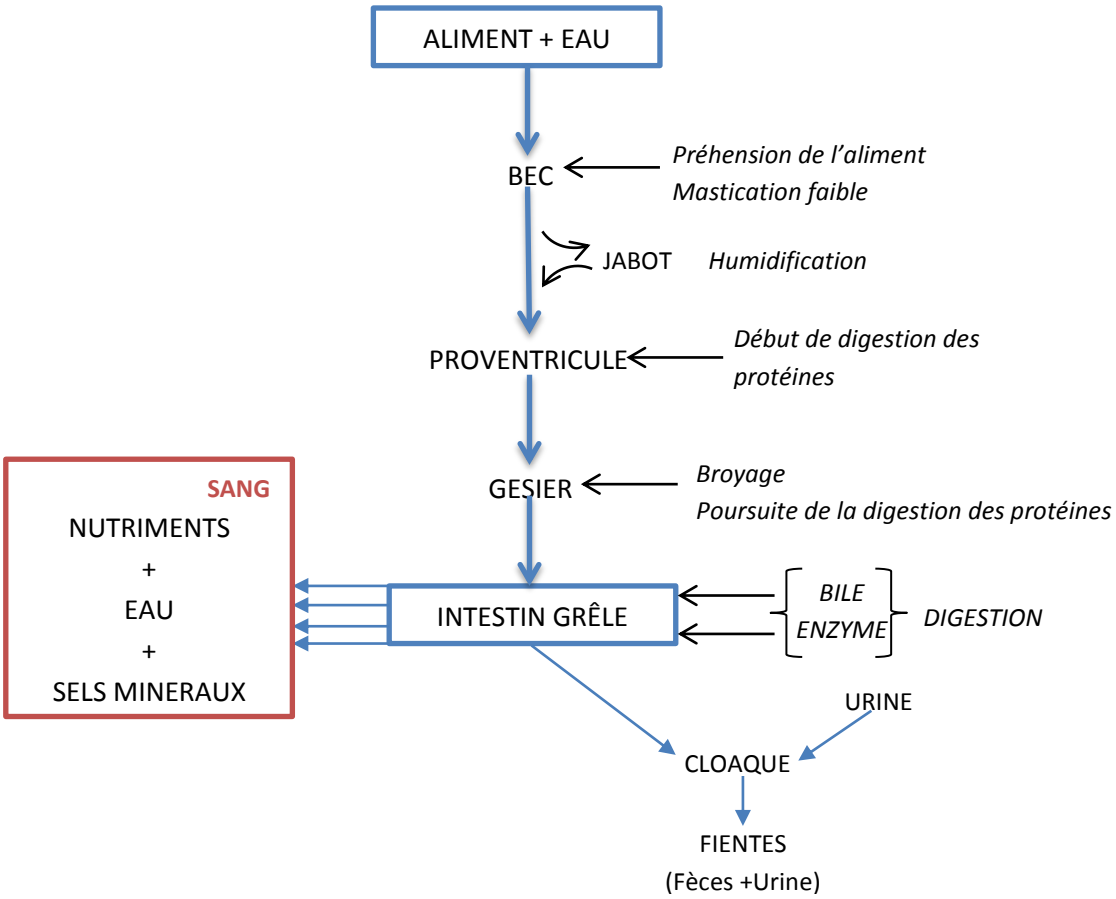
Avec plus de 2,2 millions de poules pondeuses et 7 millions de poulets de chair certifiés en Agriculture Biologique (AB) en 2010, la France est le 1er producteur européen d'œufs biologiques et, conjointement avec l'Allemagne, elle est aussi le 1er producteur de poulets de chair biologiques. Depuis 2008, la dynamique de développement en France de ces filières est importante. Entre 2009 et 2010, le nombre de poulets certifiés AB a progressé de 18% et le nombre de poules pondeuses de 16% (AGENCE BIO, 2011).

A partir du 1er janvier 2015, la réglementation européenne de l'agriculture biologique (CEE 889/2008-article 43) exige le passage à une alimentation 100% biologique en élevage monogastrique (initialement prévu au 1er janvier 2012). Cette obligation concerne les matières premières (MP) d'origine agricole utilisées dans les formules. En effet, actuellement une dérogation autorise que 5% de ces MP soient issus de l'agriculture conventionnelle (cette proportion était de 10% jusqu'au 1er janvier 2010). Ces 5% de MP conventionnelles sont dans la pratique constitués de MP riches en protéines (MPRP) comme le gluten de maïs et la protéine de pomme de terre (ANDi, 2010). Or ces MPRP ne sont pas disponibles en AB.

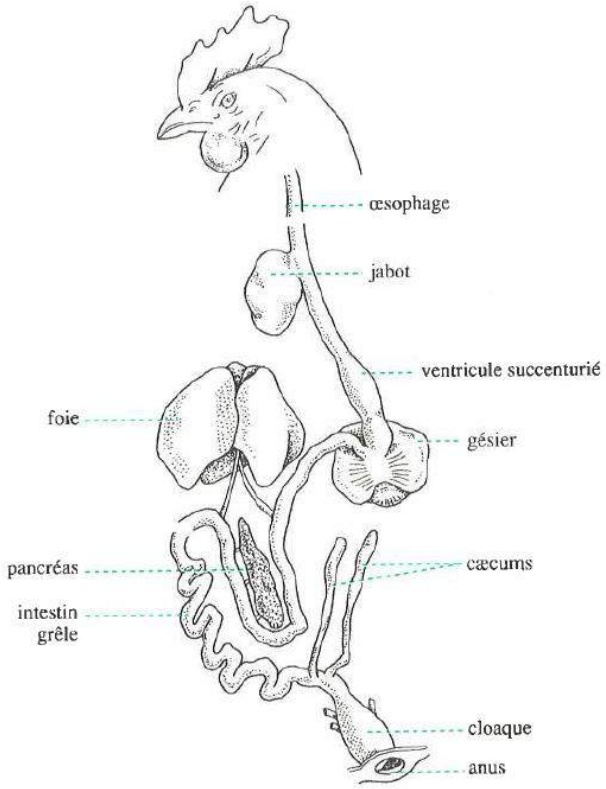
Le remplacement des 5% de MP conventionnelles par des MP biologiques va inévitablement entrainer une augmentation du coût des rations (de l'ordre de 8 à 15% selon une estimation ANDi, 2010). Sachant que le poste alimentation représente près de 80 % des charges opérationnelles d'un atelier avicole biologique, toute augmentation du coût des rations, minime soit-elle, est non négligeable. Cette augmentation touchera tous les maillons de la filière car 90% des volumes de production de volailles biologiques sont commercialisés via des groupements de producteurs intégrés dans des filières organisées longues (GUEMENE et Al., 2009). De plus, dans le cadre du passage à une alimentation 100% biologique, les besoins protéiques des volailles et plus précisément les besoins en acides aminés essentiels seront difficiles à couvrir. En agriculture conventionnelle, cette difficulté est surmontée par l'utilisation d'acides aminés de synthèse (JÖNSSON, 2009). Ceux-ci sont interdits en AB et l'une des solutions envisagée actuellement pour le passage à une alimentation 100% biologique est l'augmentation de la part de soja biologique (majoritairement importé) dans les rations (ANDi, 2010). Cela engendrerait un accroissement de la dépendance protéique de la France. Un des nouveaux défis de la filière sera de s'adapter à cette évolution réglementaire sans aggraver la perte de compétitivité des élevages français déjà amorcée (MAGDELAINE et RIFFARD, 2010) tout en privilégiant un approvisionnement local de MP.

Dans ce contexte et sous l'impulsion des acteurs de la filière avicole du grand Ouest, le pôle Bio des Chambres d'Agriculture des Pays de la Loire et ses partenaires ont déposé le projet CASDAR AVIALIM BIO (Cf. Annexe 1 : Présentation du pôle et du projet). D'une durée de 3 ans, l'objectif de ce projet est de proposer des solutions pour accompagner le passage à une alimentation 100% biologique en élevage avicole.

Les objectifs de ce travail, inscrit dans le 1er volet d'AVIALIM BIO, sont (1) **d'identifier et de caractériser qualitativement des MPRP** potentiellement intéressantes pour l'alimentation 100% biologique des volailles et (2) de **proposer des formules alimentaires 100% biologiques** équilibrées et techniquement performantes. Une synthèse de la littérature est tout d'abord effectuée afin de connaitre dans un premier temps les principales notions de l'alimentation des volailles et ensuite, d'identifier les MP potentiellement intéressantes dans le cadre d'une alimentation 100% biologique. Puis nous présenterons la problématique de notre étude ainsi que la méthodologie mise en œuvre. Suivra l'exposé et l'analyse des résultats recueillis. Enfin, avant de conclure, nous aborderons en discussion les limites et perspectives envisagées de ce travail.



<u>Figure 1 :</u> Représentation schématique de la digestion chez le poulet (d'après SURDEAU et HENAFF, 1979 in GADOUD et al, 1992)



<u>Figure 2 :</u> L'appareil digestif du poulet

PARTIE I. Etude bibliographique

1. Rappels physiologiques

1.1. Les mécanismes de digestion et d'absorption intestinale chez les volailles (d'après GADOUD et Al., 1992 sauf mention contraire)

Pour leur métabolisme, les cellules de l'organisme utilisent des nutriments apportés par l'alimentation et des métabolites issus de la mobilisation des réserves corporelles. La digestion des aliments et l'absorption des produits de la digestion sont indispensables pour transformer les aliments ingérés en nutriments assimilables par les volailles.

1.1.1. La digestion et l'appareil digestif chez les volailles

La digestion des volailles présente des différences notables avec celle d'autres espèces d'animaux d'élevage comme les bovins ou les porcs. Les principales étapes de la digestion du poulet (Cf. Figure 1) sont présentées chronologiquement ci-dessous en lien avec les particularités anatomiques de leur appareil digestif (Cf. Figure 2).

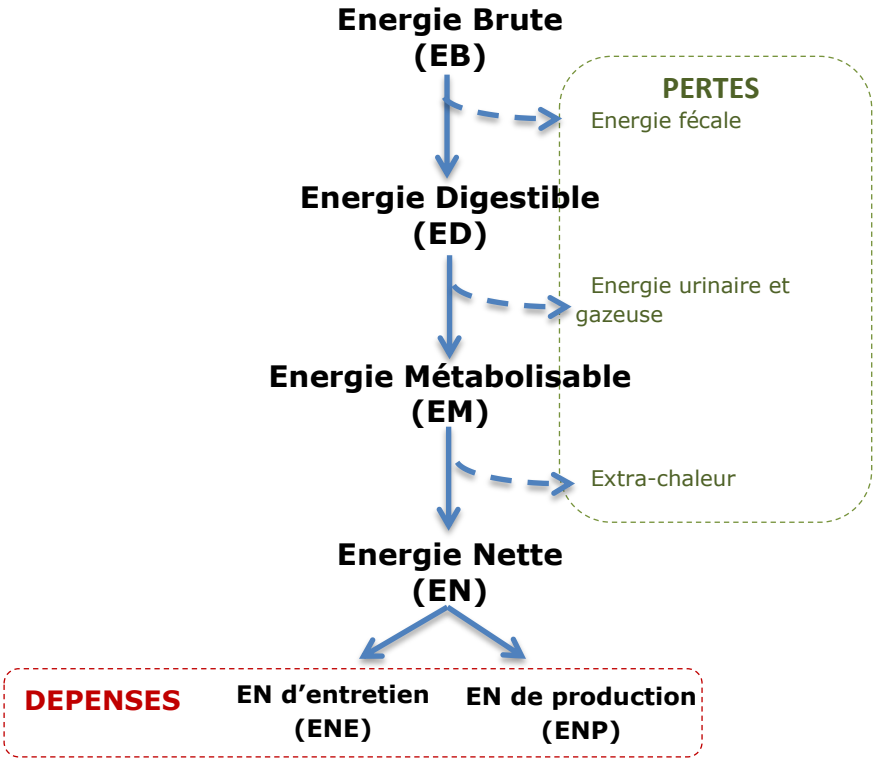
Pour commencer, la cavité buccale du poulet est dépourvue de dents et de lèvres. La préhension et une première fragmentation sommaire des aliments sont permises par leur bec corné. Dans la bouche, l'insalivation des aliments est faible (glandes salivaires peu développées chez le poulet). En l'absence de voile du palais et d'épiglotte, la déglutition des aliments est un phénomène exclusivement mécanique par redressement de leur tête. L'appareil digestif du poulet est muni d'un diverticule œsophagien dont l'épithélium est riche en mucus: le jabot. Celui-ci est plus ou moins impliqué dans la digestion en fonction du mode l'alimentation (à volonté ou non). En effet, lorsque l'animal ingère une grande quantité d'aliment en peu de temps (alimentation par repas), le jabot assure un rôle de stockage des aliments qui s'y humectent (via le mucus sécrété). Cet organe participe donc à la régulation du transit alimentaire.

L'estomac du poulet comprend deux poches distinctes: d'abord le ventricule succenturié qui a une activité chimique, puis le gésier qui a une activité mécanique. Le ventricule succenturié est un grand sécréteur d'acide chlorhydrique et de pepsinogènes précurseurs de la pepsine. Le pH acide du contenu de cet organe (environ 2,5) permet la dénaturation des protéines et l'activation des pepsinogènes en pepsine. Par conséquent, la protéolyse par les pepsines débute dans le ventricule succenturié (CREVIEU-GABRIEL, 1999). Le gésier quant à lui compose la seconde partie de l'estomac et a un pH compris entre 2 et 3,5. Il est le lieu principal de la protéolyse par les pepsines. De plus, celui-ci présente une activité mécanique importante en présence de grains intacts et de petits cailloux ingérés par les volailles. Cette activité est permise par la présence de muscles puissants entourant le gésier. Le temps moyen de séjour des aliments dans l'estomac est inférieur à une heure.

Les digestas arrivant dans l'intestin grêle subissent l'action de nombreuses enzymes (intestinales, pancréatiques et de la bile). L'intestin grêle est le siège préférentiel de la digestion chimique. Par la suite, contrairement aux mammifères, le gros intestin est peu développé chez les oiseaux (18 m de long chez un porc adulte et 1,6 m chez un poulet de 8 semaines) (CREVIEU-GABRIEL, 1999). Il se résume en deux caecums qui sont le siège de fermentations bactériennes. Pour finir, suite à un court rectum se trouve le cloaque qui est le carrefour des voies génitales, urinaires et intestinales.

1.1.2. L'absorption des produits de la digestion

L'absorption des produits de la digestion des glucides, des lipides et des matières azotées a lieu principalement dans l'intestin grêle via des cellules absorbantes que sont les cellules



<u>Figure 3 :</u> Les différentes étapes de l'utilisation de l'énergie de l'aliment

épithéliales de l'intestin grêle. A noter que le gros intestin est un lieu important d'absorption d'eau et de sels minéraux.

Zoom sur l'absorption des matières azotées: Les matières azotées digérées par les volailles sont essentiellement des protéines. Les produits de la digestion de ces protéines peuvent être absorbés dans l'intestin grêle sous forme d'acides aminés mais aussi sous forme d'oligopeptides. Par la suite, la majorité de ces peptides est hydrolysée en acides aminés par des enzymes cytoplasmiques de la cellule absorbante. Au final, seuls des acides aminés libres sont présents dans le sang.

1.1.3. La digestibilité des aliments

Une partie de l'aliment ingéré n'est pas absorbée et se retrouve dans les fèces de l'animal. On peut donc caractériser un aliment par sa digestibilité apparente (da) selon l'équation suivante :

$$da = \frac{\text{Quantité ingérée - Quantité excrétée dans les fèces}}{\text{Quantité ingérée}}$$

La digestibilité peut être exprimée par un coefficient d'utilisation digestive (CUD) exprimé en pourcentage qui correspond à la digestibilité apparente multipliée par 100. Il est possible de calculer la digestibilité apparente (et le CUD) pour les différents composants de la ration et ainsi obtenir par exemple la digestibilité apparente de la matière sèche (dMS) ou celle de l'azote (dN).

Il est possible d'estimer la digestibilité apparente d'un aliment par (1) une mesure in vivo sur des animaux placés en cage de digestibilité, (2) une mesure in vitro (fermentations dans un tube de verre) ou (3) une mesure in sacco (sachets de nylon placés dans le tube digestif d'un animal fistulé).

De plus, il est aussi possible de caractériser un aliment par :

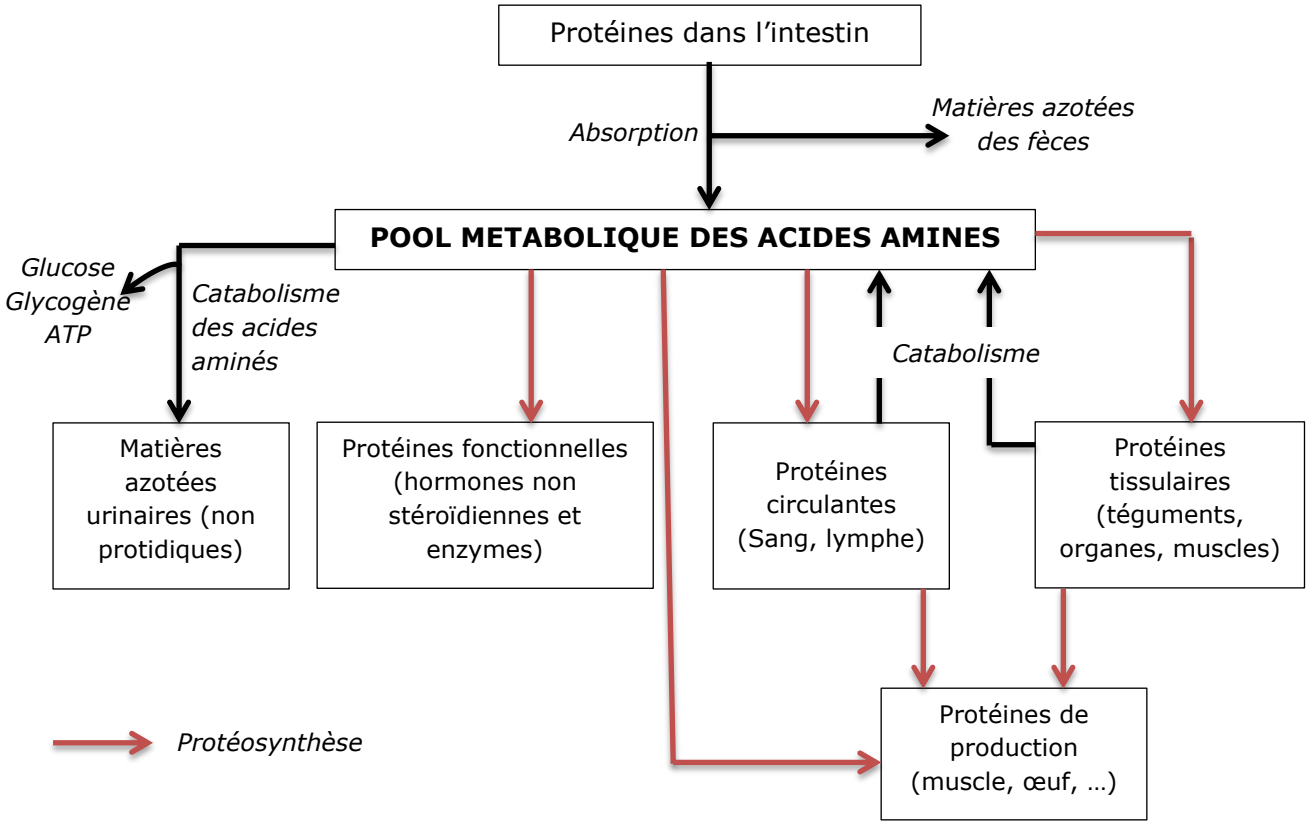
- sa digestibilité réelle (dr) qui prend en compte la partie d'origine endogène des fèces issue par exemple des sécrétions digestives ou du mucus. Son estimation nécessite l'utilisation d'isotopes radioactifs pour marquer les aliments.
- sa digestibilité iléale ($d_{iléale}$) qui prend en compte les phénomènes fermentaires au niveau du gros intestin et plus précisément des caecums. Son estimation nécessite des animaux caecectomisés.

A noter que la digestibilité des aliments dépend de plusieurs facteurs (1) liés à l'animal comme l'espèce, la vitesse du transit et (2) liés aux aliments comme les constituants, la présence de facteurs antinutritionnels (tannins, phytates,...), les traitements technologiques (thermiques et/ou mécaniques), le mode de conservation, la quantité et la composition des lipides, etc.

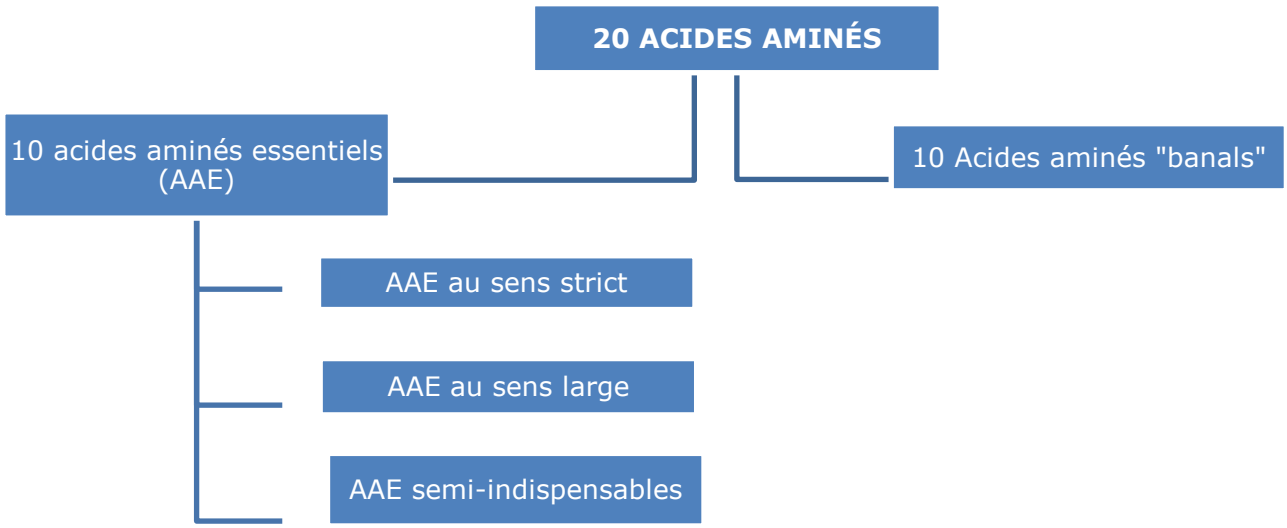
1.2. Le métabolisme énergétique

Il existe 3 types de dépenses énergétiques : (1) les dépenses d'entretien nécessaires pour le métabolisme de base dans des conditions de vie normales, (2) les dépenses de production pour la croissance, la production d'œufs, etc. et (3) les dépenses d'extra-chaleur consécutives à l'utilisation des aliments. Ces dépenses sont couvertes par (1) l'utilisation des nutriments issus de la digestion et de l'absorption des aliments ingérés ou (2) la mobilisation des réserves corporelles (GADOUD et Al., 1992).

L'utilisation de l'énergie de l'aliment par l'animal (Cf. Figure 3) : Lors de l'utilisation de l'aliment par l'animal, il y a de nombreuses pertes de l'énergie contenue dans l'aliment. L'énergie



<u>Figure 4 :</u> Le métabolisme protéique



<u>Figure 5 :</u> Classement des acides aminés chez les volailles

brute (EB) représente l'énergie contenue dans l'aliment. Elle se mesure à l'aide d'une bombe calorimétrique. Lorsque l'on soustrait les pertes de l'énergie contenue dans les fèces à l'EB, on obtient l'énergie digestible (ED) qui est fonction de la digestibilité de l'énergie (dE). Elle correspond à l'énergie des nutriments dans l'organisme. Par la suite, lorsque l'on soustrait les pertes d'énergie urinaire et gazeuse (issues des fermentations digestives) à l'ED, on obtient l'énergie métabolisable (EM) qui correspond à l'énergie d'origine alimentaire disponible pour les cellules de l'organisme. En formulation pour des volailles, on raisonne en EM car c'est la mesure la plus simple à réaliser (du fait du mélange urines et fèces et à condition de négliger les pertes gazeuses) et elle est plus adaptée que l'ED. De plus, l'EM est souvent exprimée en énergie métabolisable apparente à bilan azoté nul (EMAn). Cette correction permet de supprimer la variabilité du niveau de synthèse protéique fonction du stade physiologique des animaux (CARRE et ROZE, 1990). Pour finir, si l'on soustrait les pertes d'extra-chaleur, nous obtenons l'énergie nette (EN) qui couvre les dépenses d'entretien et de production (BLUM et Al., 1989).

1.3. Le métabolisme protéique

1.3.1. Le rôle des acides aminés

Nous avons vu que suite à l'absorption des matières azotées, seuls des acides aminés (AA) libres sont présents dans le sang. Les acides aminés assurent plusieurs fonctions (SOLTNER, 1999): (1) un rôle d'entretien à travers le renouvellement des cellules, (2) un rôle de croissance à travers l'accroissement du nombre et de la taille des cellules, (3) assurent certaines sécrétions (de nature protidique) nécessaires au fonctionnement de l'organisme comme certaines hormones, enzymes, … (4) sont nécessaires aux productions riches en protéines comme les œufs. En effet, la ponte d'un œuf de 60 g représente une dépense azotée 3,5 fois supérieure aux dépenses azotées d'entretien d'une poule de 2,5kg (GADOUD et Al., 1992).

1.3.2. Le métabolisme protéique (cf. Figure 4)

Les protéines corporelles, constituantes du pool protéique, sont renouvelées en permanence par des processus biochimiques consommant de l'énergie et associant synthèse (protéosynthèse) et catabolisme (protéolyse) protéiques. Il existe donc un échange permanent entre le pool métabolique constitué d'AA libres et le pool protéique.

La protéosynthèse permet la production (1) de protéines fonctionnelles (enzymes, hormones), (2) de protéines circulantes dans le sang et la lymphe, (3) de protéines tissulaires (téguments, organes et muscles) et (3) de protéines de production (muscle, œuf,…). Pour les volailles comme pour toutes les espèces, la protéosynthèse suppose la présence simultanée de 20 acides aminés différents. Il est donc nécessaire que ceux-ci soient présents dans les proportions adéquates dans le pool métabolique. Il existe deux origines aux acides aminés libres constituants le pool métabolique :

- Une origine exogène via les apports alimentaires (acides aminés libres absorbés)
- Une origine endogène via le catabolisme des protéines tissulaires ou des phénomènes de transamination (Cf. paragraphe 1.3.3)

Les acides aminés non utilisés pour la protéosynthèse sont rapidement catabolisés (principalement par le foie) en gaz carbonique et ammoniac formant de l'urée ou de l'acide urique (excrétés principalement par voie urinaire chez le poulet). Il faut savoir qu'il existe une régulation hormonale du métabolisme protéique (JEAN-BLAIN, 2002 – GADOUD et Al., 1992).

1.3.3. Notion d'acides aminés essentiels (Cf. Figure 5)

Parmi les 20 acides aminés indispensables à l'anabolisme protéique, certains sont dit « banals » car ils peuvent être synthétisés dans des quantités suffisantes par l'animal à partir

<u>Tableau 1 :</u> Apports recommandés pour le poulet « label » en % du régime

	Démarrage	Croissance	Finition
Age du poulet	**0 à 28j**	**29 à 63j**	**64 à 84j**
Energie métabolisable (en kcal EMA)	2850	2900	2950
Protéines brutes	21	19,5	17
Lysine	1,17	1,02	0,78
Méthionine + Cystine	0,88	0,80	0,68
Thréonine	0,77	0,68	0,51

D'après Hubbard ISA in BORGIDA, 2005

<u>Tableau 2 :</u> Apports recommandés pour la poulette biologique en % du régime

	De 0 à 8 semaines	De 8 semaines jusqu'à l'entrée en ponte
Energie métabolisable (en kcal EMA)	2800	2600 à 2800
Protéines brutes pour 2800 kcal d'EM	18	14,5
Lysine	0,85	0,55
Méthionine	0,33	0,26
Acides aminés soufrés	0,65	0,46

D'après ANTOINE, 1984

<u>Tableau 3 :</u> Apports recommandés pour la pondeuse biologique en % du régime

	Concentration énergétique minimal conseillée	Concentration énergétique maximale conseillée
Energie métabolisable (Kcal/kg)	2600	2800
Protéines brutes	14	15
Lysine	0,63	0,68
Méthionine	0,28	0,30
Méthionine + Cystine	0,50	0,54

D'après ANTOINE, 1984

d'autres acides aminés grâce au phénomène de transamination. En revanche, chez les volailles, une dizaine de ces acides aminés sont considérés comme « essentiels » car :

- ils ne peuvent pas être synthétisés par l'animal → AAE au sens strict
- ils sont synthétisés par l'animal en trop faible quantité → AAE au sens large
- ils sont synthétisés par l'animal à partir d'autres AAE → AAE semi-indispensables

Ces AAE doivent être fournis à l'animal par l'alimentation (GADOUD et Al., 1992). Chez les volailles les principaux AAE limitants sont (par ordre d'importance décroissante) la Méthionine, la Lysine, la Thréonine et le Tryptophane. Ainsi lorsque les besoins en méthionine sont couverts (1er facteur limitant), la Lysine devient le facteur limitant (« 2nd facteur limitant »).

2. Les besoins alimentaires du poulet, de la poulette et de la poule pondeuse (Cf. Tableaux 1, 2 et 3)

Il existe une forte variabilité des besoins nutritionnels des poulets de chair qui est fonction du génotype des animaux (souche), de l'âge, du sexe, de l'environnement (climat, conditions d'exploration du parcours) et du type de production. En production biologique, les types génétiques les plus couramment utilisés sont les mêmes qu'en production label.

Le besoin en protéines par kilo d'aliment diminue avec l'âge. La période d'élevage la plus exigeante en termes d'apports en protéines et en acides aminés est le démarrage. Toute carence pendant cette période pénalise les performances et aura des répercussions à l'abattage.

Concernant les poules pondeuses, les besoins dépendent du poids vif de l'animal, des conditions d'élevage et de l'intensité de ponte. En AB, on utilise les mêmes lignées de type plein air non biologique qu'en production label. On y distingue 2 souches :

- Les souches à « potentiel moyen » utilisées en filière courte comme la MARANS qui produit 170 à 180 œufs par an
- Les souches à « potentiel élevé » utilisées en filière longue comme l'ISABROWN Plein air qui produit 250 à 300 œufs par an

Il est préconisé un apport énergétique compris entre 2600 et 2800 kcals d'EM par kg d'aliment. Dans cet intervalle, le niveau d'apport choisi dépend de la souche, du stade de ponte et de la température. Une diminution de cette concentration est possible en 2ème partie de ponte (après 42 semaines).

Dans le contexte réglementaire de l'AB, il est difficile de répondre aux exigences élevées des volailles en termes d'apports en acides aminés soufrés (méthionine et cystine). Au-delà de l'apport suffisant en protéines, l'apport des acides aminés essentiels dans des proportions proches des équilibres optimaux est aussi à atteindre. Ainsi, les ratios suivants sont à rechercher pour l'alimentation (ANTOINE, 1984 - 2009 et 2010) :

	Poulet de chair	Poulette	Poule pondeuse
Ratio Méthionine/Lysine (%)	45	38	50
Ratio Thréonine / Lysine (%)	65	70	Non renseigné

Tableau 4 : Récapitulatif de la composition et des valeurs nutritionnelles des différentes matières premières (majoritairement conventionnelles)

		SOURCE	MP bio	N*	MS	MAT	MG brute	Cendres brutes	EMAn coq	EMAn poulet	Lys	Thr	Met	Cys	Ratio Met/Lys	Ratio Thr / Lys
					% sur brut				Kcal/kg brut		g/kg brut					
REF	Conc. protéique de pommes de terre	Tables INRA - 2002	Non	103	92,3	77,6	0,9	2,6			58,9	43,1	17,3	10,3	29%	73%
REF	Gluten de maïs	Tables INRA - 2002	Non	757	89,5	60,6	2,5	1,8	3590	3550	10,7	20,3	14,6	10,8	136%	190%
TOURTEAUX D'OLEAGINEUX	Ttx de soja	Tables INRA - 2002	Non	10409	87,6	43,3	1,7	6,5	2250	22100	26,6	17,0	6,2	6,5	23%	64%
		Feed Base - 2012	Non	33993	87,9	45,6	1,8	6,3			27,8	18,0	6,4	6,8	23%	65%
		Feed Base - 2012	OUI	155	92,1	43,8	8,6	6,0			29,0	18,1	6,3	7,3	22%	62%
	Ttx de tournesol non décortiqué	Tables INRA - 2002	Non	2729	88,7	27,7	2,0	6,2	1350	1320	10,0	10,0	6,4	4,8	64%	100%
		Feed Base - 2012	Non	6360	88,8	28,3	2,0	6,2			10,8	11,0	6,7	4,9	62%	102%
		Feed Base - 2012	OUI	73	91,3	25,1	13,3	5,2								
	Ttx de colza industriel	Tables INRA - 2002	Non	2820	88,7	33,7	2,3	7,0	1460	1410	18,0	14,5	6,9	8,2	38%	81%
	Ttx de colza expeller ou gras	ValBiom - 2006	Non	NR	89,1	34,9	6,4	6,9			17,5		7,3	8,7	42%	
		ValBiom - 2006	Non	NR	89,7	31,6	20,5	4,4								
		Feed Base - 2012	OUI	13	92,2	29,9	11,9	6,5								
	Ttx de lin expeller	Tables INRA - 2002	Non	292	90,4	30,9	8,1	5,9	1330		11,7	11,8	5,4	6,0	46%	101%
		Feed Base - 2012	Non	862	90,7	31,2	9,4	5,8			13,3	13,0	6,3	6,2	47%	98%
		Feed Base - 2012	OUI	2	89,8	33,9	13,9									
	Ttx de sésame expeller	Tables INRA - 2002	Non	26	93,9	43,4	11,0	11,4			10,2	12,8	11,2	7,7	110%	125%
		Feed Base - 2012	Non	35	93,7	43,5	11,4	11,4			10,9	15,6	11,9	10,0	109%	143%
		Feed Base - 2012	OUI	14	92,8	42,3	14,6	8,6								
	Ttx de chanvre	Feed Base - 2012	Non	2	92,5	26,5	11,5	8,3			6,9	8,3				120%
		Lebas et al - 1984	Non	1	92,5	28,6					7,4	9,0				121%
		SARL L Chanvre**	OUI	1	90,4	26,7	13,0	6,0								
	Ttx de cameline	Feed Base - 2012	Non	1	87,9	29,6	13,2	6,5								
		Ryhänen et al - 2007	Non	1	93,5	33,3					14,7	12,3	6,0	8,0	41%	84%
GRAINES D'OLEAGINEUX	Lupin blanc	Tables INRA - 2002	Non	263	88,6	34,1	8,4	3,5		NS	16,6	12,6	2,6	5,6	16%	76%
		Feed Base - 2012	Non	440	88,0	33,6	8,5	3,6			15,6	12,0	2,5	5,3	16%	77%
		Feed Base - 2012	OUI	10	88,9	34,7	7,5	3,6								
	Pois	Tables INRA - 2002	Non	3932	86,4	20,7	1,0	3,0	2750	2430	15,0	7,8	2,0	2,8	13%	52%
		Feed Base - 2012	Non	27761	86,5	20,8	1,0	3,0			15,0	7,9	2,1	2,9	14%	53%
		Feed Base - 2012	OUI	95	87,0	20,6	1,4	3,0								
	Féverole à fleurs blanches	Tables INRA - 2002	Non	30	86,1	26,8	1,1	3,6	2490	2430	17,2	9,5	1,9	3,4	11%	55%
		Feed Base - 2012	Non	36	85,9	26,8	1,1	3,5			16,6	9,3	2,0	3,2	12%	56%
		Feed Base - 2012	OUI	111	86,6	24,5	1,0	3,3								
Concentré protéique	Conc. protéique de luzerne	Tables INRA - 2002	Non	69	91,8	50,2	8,3	11,2	2680	2680	29,6	21,8	10,2	5,1	34%	74%
		Feed Base - 2012	Non	1652	92,1	52,4	7,8	10,0			31,4	24,9	10,2	4,9	32%	79%
	Conc. protéique d'ortie	Feed Base - 2012	Non	1		55,6	1,8	8,0				27,4				
	Conc. protéique de riz	Feed Base - 2012	Non	10	89,7	70,9	6,1	2,1			21,5					
		Oujifard et al - 2012	Non	1	90,0	60,0	7,0	4,0			25,0	26,4	23,1		92%	106%
		Global Nutrition **	OUI		93,0	50,0	4,0	3,0			15,4	19,6	12,9	10,8	84%	127%
Feuille d'ortie broyée et déshydratée		Feed Base - 2012	Non	1		30,9	5,6	14,8				6,7	1,1			
Foin d'ortie		CTA - 2003	Non	3	91,2	22,0					12,5	10,4	3,6	2,2	29%	83%
Drèches de brasserie déshydratées		Tables INRA - 2002	Non	68	91,9	24,1	6,7	3,9	2050	2000	7,7	7,4	3,6	4,2	47%	96%
		Feed Base - 2012	Non	101	91,3	24,2	6,1	3,9			7,3	7,5	3,5	3,8	48%	103%
Levures de brasserie déshydratées		Tables INRA - 2002	Non	57	93,3	46,5	3,9	7,1			28,5	20,1	7,0	2,9	25%	71%
		Feed Base - 2012	Non	157	93,4	44,7	3,0	6,7			27,5	18,8	7,0	3,7	25%	68%
Spiruline déshydratée		Feed Base - 2012	Non	20	92,4	55,9		3,1			23,0	25,3	11,5	5,3	50%	110%
Spiruline lyophilisée		Feed Base - 2012	Non	6	94,8	68,2		0,6			32,4	36,1	18,6	6,4	57%	111%
Lactosérum	acide déshydraté	Tables INRA - 2002	Non	114	98,0	9,7	2,1	11,8			7,2	5,4	1,5	1,7	21%	75%
		Feed Base - 2012	Non	409	96,9	9,3	0,4	11,9			6,2	4,7	1,0	1,4	15%	76%
	doux déshydraté	Tables INRA - 2002	Non	42	96,4	12,6	2,1	8,7			9,4	7,2	2,0	2,0	21%	77%
		Feed Base - 2012	Non	226	96,9	12,0	1,3	8,1			9,5	7,1	1,8	2,3	19%	75%
Farine de poisson 65		Tables INRA - 2002	Non	1198	91,7	65,3	8,9	16,2	3220	3220	48,9	27,0	17,9	5,4	37%	55%
Farine d'asticots séchés		Bouafou et al - 2011	Non	1	92,5	48,3	22,6	6,8								
Larve de mouche lyophilisée		Feed Base - 2012	Non	1	92,0	54,9		6,7			33,2	19,2	12,9	5,3	39%	58%
Farine de lombrics		Laissus - 1985	Non	NR		63,0	8,5	9,0			27,1	18,9	13,9	14,5	51%	70%
		ANDi - 2010	Non	NR		61,0					29,0		22,0		76%	
		Grégoire et al - 2006	Non	1	94,3	58,8	8,9	4,0			25,7					
Lombrics déshydratés		Feed Base - 2012	Non	2	91,3	62,2	8,8	10,6			55,4	26,5	17,7	6,6	32%	48%
Chair de crépidule ramenée à 90% de MS		Britexa**	Non		90,0	39,4					23,1	18,0	8,4			78%

*N : Nombre d'échantillons considéré

** Société commercialisant la matière première

Echelle de couleur (une par critère) :

Valeur les plus faibles → Valeurs les plus élevées

3. Les matières premières riches en protéines

L'objectif de cette partie de synthèse bibliographique est d'identifier les MP riches en protéines (et en acides aminés essentiels) potentiellement intéressantes dans le cadre du passage à une alimentation 100% biologique. Dans le contexte de l'étude nous nous intéressons à toutes les MP susceptibles de diminuer l'utilisation du tourteau de soja dans les rations 100% biologiques des volailles. Ainsi, c'est l'apport en protéines des MP qui est privilégié. Cependant, la qualité de la protéine (profil en acides aminés) nous amène à prospecter aussi des MP moins riches en protéines. Il faut savoir que l'intérêt d'une MP dépend de plusieurs facteurs : ses valeurs nutritionnelles, son intérêt agronomique, l'absence de facteurs antinutritionnels ou toxiques induisant des limites d'emploi, son coût, son incidence sur la qualité des produits et la régularité de sa composition (GADOUB, 1992). De plus, il est nécessaire que le process de production soit compatible avec la réglementation AB, qu'il existe des débouchés commerciaux pour des éventuels produits principaux (huile, amidon), que cette MP soit disponible (absence de compétition avec l'alimentation humaine) et qu'elle ait une rentabilité industrielle (ANDi, 2010).

Pour illustrer notre exposé sur les différentes matières premières et confronter les MP entrent-elles, une sélection de variables sur leur composition et leurs valeurs nutritionnelles est tout d'abord présentée dans le tableau 4. Ces données sont issues de différentes sources et concernent majoritairement des matières premières non biologiques. En effet, les MP utilisées habituellement en alimentation des volailles conventionnelles sont bien caractérisées mais il n'existe pas ou peu de données sur (1) les MP biologiques et (2) les MP un peu plus innovantes comme le tourteau de cameline, l'ortie ou encore la crépidule. Pour une sélection de données, une échelle de couleur a été attribuée variant du rouge (valeurs les plus faibles) au vert (valeurs les plus élevées). Cette échelle considère l'amplitude de variation totale de chaque donnée. Pour rappel, l'objectif est d'apporter dans les rations suffisamment de protéines et des acides aminés dans les proportions recommandées. Pour atteindre cet objectif, les MPRP (s'intégrant dans les formules en complémentarité des céréales) présentant les valeurs les plus élevées pour la sélection de données sont donc recherchées.

3.1. Le gluten de maïs et le concentré protéique de pommes de terre (CPPT)

Actuellement en AB, les 5 % de MP conventionnelles autorisés dans l'alimentation des volailles sont composés majoritairement de gluten de maïs et de CPPT. Ces MP sont particulièrement riches en protéines bien pourvues en acides aminés essentiels (DUPETIT, 2011). Une des solutions idéales sur un plan nutritionnel serait de remplacer ces MP (que nous pouvons intituler dans notre situation « de référence ») par leur équivalent en AB. Or il n'existe pas de filière biologique d'amidon de maïs ou d'amidon de PdT, ces sous-produits n'existent donc pas à l'heure actuelle et cela n'intéresse pas les industriels. De plus, la mise en place d'une filière amidon biologique nécessiterait un process industriel compatible avec le mode de production biologique (ANDi, 2010) et des volumes importants (rentabilité du process).

3.2. Les tourteaux d'oléagineux biologiques

Il existe 3 types de tourteau qui diffèrent selon leur process :

- Le tourteau "gras" issu d'une 1ère pression à froid (à la ferme ou non), il contient de 15 à 25% de matières grasses selon le type de presse utilisée. Du fait de sa forte teneur en MG, il a un taux d'incorporation souvent limité à 5 - 8% maximum. Ce process est autorisé en AB.
- Le tourteau expeller issu d'une extraction sans solvant chimique mais après cuisson qui ne contient plus que 6 à 10% de matières grasses et pour lequel des taux d'incorporation plus élevés sont envisageables. Ce process est aussi autorisé en AB.
- Le tourteau industriel déshuilé issu d'une extraction par solvant chimique et cuisson, il ne contient plus que 2% de MG. Ce process n'est pas autorisé en AB.

La richesse en huile des tourteaux peut donc être très variable. Il faut savoir que lorsque la teneur en MG augmente (effet process), il y a une diminution de la teneur en MAT (effet dilution) et de la teneur en cellulose brute.

3.2.1. Le tourteau de soja

Actuellement, la production française de soja biologique ne couvre pas les besoins de l'alimentation humaine. Le tourteau de soja biologique est disponible à l'importation mais il existe des problèmes de traçabilité. Une utilisation plus importante de cette MP ne ferait qu'accroitre la dépendance protéique de la France. De plus, l'utilisation de soja importé est contraire au principe de l'AB qui privilégie des MP produites localement (ANDi, 2010).

3.2.2. Le tourteau de tournesol

Le tourteau de tournesol biologique est un bon complément au soja, il a un bon équilibre en AAE (ratio Met/Lys d'environ 63%) mais la production est égale aux besoins actuels. Malgré des limites d'incorporation, le tourteau de tournesol dispose d'atout vis-à-vis du passage à une alimentation 100% biologique (ANDi, 2010).

3.2.3. Le tourteau de colza

Le tourteau de colza biologique présente un intérêt nutritionnel car il est assez riche en protéines. De plus, sa protéine est bien équilibrée par rapport aux besoins des volailles. Cependant, un essai mené par LESSIRE et Al. (2009a) sur l'utilisation de 3 types de tourteau de colza (industriel, expeller et gras) à différents taux d'incorporation (0, 10 et 20%) sur des poulets de chair conventionnels a conclu que l'utilisation de tourteau de colza (tous types confondus) induit une diminution de la croissance par rapport à l'utilisation du tourteau de soja. Cette diminution est moindre avec les tourteaux gras. De plus, le tourteau de colza biologique est peu disponible car sa culture est complexe (notamment au niveau de la maîtrise des parasites et de l'enherbement tardif). Il existe aussi des problèmes d'appétence et le colza contient des facteurs antinutritionnels (ANDi, 2010).

3.2.4. Le tourteau de chanvre

Le chanvre est une précieuse source de protéines à haute teneur en acides aminés (méthionine, lysine, cystine et thréonine) et acides gras essentiels présentant un intérêt (oméga 3 et 6) (PALLESEN, 2010). Le chanvre se cultive facilement en AB (il est peu sensible aux maladies et aux ravageurs) et présente un intérêt dans les rotations. Des essais ont été menés en 2010 sur la culture de chanvre et l'utilisation du tourteau de chanvre en faible quantité (5 %) dans l'alimentation des porcs. Les résultats montrent que le tourteau de chanvre peut être une source de protéines potentiellement intéressante pour la production porcine (SERUP, 2010) mais il n'y a à ce jour aucune référence concernant son utilisation dans l'alimentation des volailles.

3.2.5. Le tourteau de lin

Avec une teneur en MAT supérieure à 30% (sur MB) et sa richesse en Oméga 3 (GUILLEVIC et Al., 2010), le lin peut être une piste de travail intéressante. Au niveau agronomique, sa culture est peu exigeante en azote mais son développement lent favorise les adventices. De plus, introduit dans une rotation céréalière, il rompt le cycle des maladies et des ravageurs. Cependant, une étude menée par BUREAU et Al. (1997) a montré que le lin était une MP de faible qualité pour l'alimentation des volailles. En effet, l'énergie métabolisable et la digestibilité des AAE (mesures réalisées sur coq) sont décevantes pour cette matière première. La présence de facteurs antinutritionnels (cyanogénétiques) pourrait expliquer ce résultat et il semble alors indispensable de réaliser un traitement thermique de la graine de lin pour la valoriser dans l'alimentation des volailles.

3.2.6. Le tourteau de sésame

Le tourteau de sésame, en plus de sa teneur intéressante en protéines (plus de 40% de MAT sur MS), présente un bon profil en acides aminés essentiels pour les volailles (ratio Met/Lys de 110%) (ANTOINE, 2010). Cependant, cette plante n'est pas cultivée sous nos climats et sa disponibilité est très limitée (ANDi, 2010).

3.2.7. Le tourteau de cameline

La cameline est une oléagineuse originaire d'Europe qui est de la même famille que la moutarde. Ses valeurs nutritionnelles sont proches de celles du tourteau de colza mais la cameline a l'avantage d'être facile à conduire agronomiquement. Plusieurs essais ont été conduits sur la valorisation des tourteaux de cameline dans l'alimentation des volailles et des bovins. Un essai conduit sur poulets de chair conventionnels (RYHÄNEN et Al., 2007) a montré que l'incorporation de tourteaux de cameline dans les rations à hauteur de 5 et 10% entraine une diminution de la prise alimentaire et de la croissance des animaux. Ces effets seraient dus à la teneur en glucosinolates de ce tourteau. Globalement, il en ressort que le tourteau de cameline ne semble pas approprié dans l'alimentation des volailles tant qu'il n'existe pas de variété à faible teneur en facteurs antinutritionnels. A l'inverse, d'autres essais ont montré que le tourteau de cameline pouvait être intégré dans l'alimentation des poulets de chair comme source de protéines, d'énergie, d'Oméga 3 et 6. En effet, un essai réalisé par AZIZA et Al. (2010) sur poulets de chair a montré que l'indice de consommation entre le 1er et le 21ème jour d'âge était significativement meilleur pour le lot nourri avec une ration comprenant 10% de tourteau de cameline (pas de différence significative sur la durée totale du lot). De plus, l'introduction de tourteau de cameline dans les formules n'a pas eu d'effet significatif sur le poids des animaux.

3.3. Les protéagineux à graines biologiques : Pois, Féverole et Lupin

Malgré l'intérêt des protéagineux pour la rotation des cultures et leur teneur en MAT, leur protéine est pauvre en AAE. De plus, leur disponibilité est faible et variable et leur coût au point de protéine est élevé (ANDi, 2010). Les protéagineux sont une bonne source de protéines en remplacement du tourteau de soja à condition que l'on corrige leur déficience en acides aminés soufrés. Par conséquent, ceux-ci ne pourront être utilisés qu'à condition de les associer avec une autre source de protéines riche en AAE (LACASSAGNE, 1988).

3.4. Le concentré protéique de luzerne biologique

Actuellement, le concentré protéique de luzerne biologique est peu disponible et il semble que son utilisation pose des problèmes de digestibilité et d'appétence (ANDi, 2010). Un essai mené par SALICHON et BLUM (1994) a montré que l'incorporation de concentré protéique de luzerne comme source de protéines dans les formulations de poulets de chair conventionnels permettait une bonne croissance à condition de ne pas dépasser 4% de taux d'incorporation. Au-dessus de 4% le gain de poids diminue du fait d'une consommation moindre de l'aliment. Au niveau agronomique, il s'agit d'une bonne tête de rotation mais c'est une culture exigeante vis-à-vis de la qualité des sols.

3.5. Le concentré protéique de riz biologique

Le concentré protéique de riz est riche en protéines et en acides aminés essentiels. Il présente un ratio Met/Lys intéressant pour l'alimentation des volailles. Cette MP n'est pas d'origine française mais il semble que les quantités disponibles à l'import soient importantes (BALLET M., Global Nutrition, 2011, communication personnelle). Un faible taux d'incorporation de cette MP laisse envisager une meilleure valorisation des protéagineux produits localement.

3.6. L'ortie biologique

L'ortie est une MP riche en protéines qui peut être utilisée dans l'alimentation des volailles. L'ortie est une culture difficile à implanter, exigeante en eau et en matières organiques. Il est conseillé de la laisser en place au moins 10 ans sur une parcelle (DUTE, 2011). Des essais réalisés par le CTA (2005), ont montré que l'incorporation de 3 à 5% d'ortie dans les rations des poules pondeuses améliore le taux de ponte et maintient (ou améliore) l'indice de consommation technique œuf. De plus, avec 20% d'ortie dans les rations, il y a un effet significatif sur la coloration du jaune d'œuf. Cependant, des essais en poulets de chair conventionnels (CTA, 2005), ont montré une corrélation négative entre le gain de poids et le pourcentage d'ortie incorporé dans les formules (2, 4, 6, 8 et 10%). De plus, il semble que l'ortie prévienne de la coccidiose et de la diarrhée des volailles (Scherer, 1999).

3.7. Les drèches de brasserie biologiques déshydratées

Les drêches de brasserie représentent une matière première protéique intéressante. La déshydration des drêches est indispensable pour pouvoir les stocker et les utiliser dans l'alimentation des volailles. Actuellement cette MP est souvent valorisée en frais pour des ruminants et il n'existe pas de filière de drêches biologiques déshydratées (BOESSINGER, 2005).

3.8. La levure de bière déshydratée

Il s'agit d'une MP disponible à l'importation tant qu'il n'y a pas d'obligation d'être biologique. En effet, elle n'est pas considérée (actuellement) dans la réglementation de l'Agriculture Biologique comme une MP d'origine agricole et n'est donc pas soumise à l'obligation d'être biologique. C'est une MP économiquement accessible mais elle est peu énergétique et il y a des limites d'incorporation (AND, 2010).

3.9. La spiruline (micro-algue)

Cette MP est peu disponible et il existe une concurrence avec l'alimentation humaine. Par conséquent cette piste est économiquement inaccessible (ANDi, 2010).

3.10. Le lactosérum

Malgré sa faible teneur en protéines, le lactosérum présente une protéine de qualité. En effet, sa protéine est plus riche en AAE que la protéine de soja et est très digestible (SAUVANT et Al., 2004).

3.11. Les ovo-produits

Cette piste est intéressante sur un plan nutritionnel mais elle reste inaccessible économiquement et il y a peu de disponibilité. De plus, l'utilisation de cette MP poserait un réel problème d'image par rapport aux consommateurs (ANDi, 2010).

3.12. Les farines de poissons

Pour pouvoir utiliser des farines de poissons dans l'alimentation des monogastriques biologiques, il est nécessaire qu'elles soient issues de pêche durable. Cette MP est peu disponible en France. De plus, son utilisation nécessite une spécialisation des usines (interdiction d'utiliser cette MP dans l'alimentation des ruminants) et pose un problème d'image par rapport aux consommateurs (ANDi, 2010).

<u>Tableau 5 :</u> Récapitulatif des intérêts et limites des matières premières

	INTERETS	LIMITES
TOURTEAUX D'OLEAGINEUX		
Soja	Riche en protéines bien Riche en lysine	Obligation de cuisson / Pauvre en méthionine / Peu disponible sauf à l'import / Culture : contraintes pédoclimatiques
Tournesol	Bien pourvu en AAS	Teneur élevée en cellulose / Pauvre en lysine et tryptophane / Peu disponible
Colza	Teneur en protéines Bon équilibre en acides aminés essentiels	Présence de facteurs antinutritionnels / Problèmes d'appétence / Peu disponible / Culture : complexe et exigeante
Chanvre	Teneur en protéines / Teneur en Oméga Culture facile en bio	Profil en acides aminés
Lin	Teneur en protéines / Teneur en Oméga Intérêt dans les rotations	Disponibilité Présence de facteurs antinutritionnels (cyanogènes)
Sésame	Teneur en protéines Excellent ratio Met/Lys	Disponibilité / Production exclusivement hors France
Cameline	Valeurs nutritionnelles proches du tourteau de colza / Culture plus facile que le colza	Disponibilité Présence de facteurs antinutritionnels
PROTEAGINEUX		
Pois	Riche en protéine / Bien pourvu en Lysine Intérêt dans les rotations / Présence réduite de facteurs antinutritionnels	Difficile à produire / Pauvre en AA soufrés et tryptophane / Difficile à produire / Présente de tannins Pauvre en calcium
Féverole à fleurs blanche	Richesse protéique supérieure à celle du pois Bien pourvu en Lysine / Absence de tannins Intérêt dans les rotations	Pauvre en AA soufrés et tryptophane Baisse de la ponte
Lupin	Riches en protéines Intérêt dans les rotations	Profil médiocre en acides aminés essentiels Culture complexe / rendement aléatoire
CONCENTRE PROTEIQUE		
Concentré protéique de luzerne	Teneur en protéine et en AAE / Process industrielle existe / Intérêt agronomique de la luzerne / Riche en pigments	Disponibilité limitée / Process très consommateur d'énergie / Problèmes de digestibilité et d'appétence (taux d'incorporation élevé)
Concentré protéique de riz	Teneur en MAT Richesse en Méthionine	Nécessité d'importer la MP
LES MACRO-INVERTEBRES		
Farines de vers de terre	Nutritivement intéressant	Economiquement inaccessible / Problème d'image Production compliquée / Problème réglementaire
Larves d'insectes	Riche en protéines Volume potentiel important	Problème réglementaire / Problème d'image
Chair de crépidules	Disponibilité / Teneur en MAT / Qualité de la protéine / Lutte contre sa prolifération	Filière inexistante / Teneur en eau sur MP fraîche Problème réglementaire / Problème d'image
Farine de moules	Richesse en protéine	Problème réglementaire / Pas de filière de production en France / Problème d'image
AUTRES MATIERES PREMIERES		
Farines de poissons	Teneur et qualité de la protéine Digestibilité de la protéine	Peu disponible / Prix / Problème d'image Nécessite spécialisation des usines
Ortie	Teneur en MAT / Propriétés médicinales Appétence / Riche en pigments	Disponibilité / Difficulté d'implantation de la culture qui ne s'intègre pas dans le cadre d'une rotation
Drêches de brasserie	Ratio Mét/Lys	Composition variable (fonction orge et méthode de brassage) / Disponibilité limitée / Nécessité de déshydratation
Levures de brasserie	Riches en protéines / Disponible à l'import tant qu'il n'y a pas obligation d'être bio	Peu énergétique / Inquiétude réglementaire
Micro-algues : spiruline	Teneur en protéines Profil en acides aminés essentiels	Economiquement inaccessible Production contraignante
Lactosérum	Protéine de qualité	Variation de composition (fonction type de fromage) Teneur en protéines
Ovo-produits	Nutritivement intéressant	Prix / Non disponible / Problème d'image

3.13. Les macro-invertébrés : insecte, lombric, gastéropode et mollusque

Les invertébrés représentent la plus grande source mondiale de protéines animales. Une étude bibliographique britannique a démontré l'intérêt nutritionnel d'utiliser les macro-invertébrés dans l'alimentation des volailles (DEFRA, 2006). Cependant, il faut noter que leur utilisation nécessiterait une évolution de la réglementation car les farines animales sont actuellement interdites en alimentation animale.

3.13.1. La farine de vers de terre

La farine de vers de terre présente une teneur en protéines élevée et un profil en acides aminés intéressant pour l'alimentation des volailles (NAVARO & Al., 1989 in GREGOIRE & Al., 2004). L'essai mené par GREGOIRE et Al. (2004) a montré que la farine de lombriciens (taux d'incorporation de 10%) permet une croissance intermédiaire entre la farine de poissons et le tourteau de soja incorporés au même taux. Malgré l'intérêt de cette MP, celle-ci est inaccessible économiquement du fait du manque de production et de la difficulté de mise en œuvre d'une production à grande échelle (ANDi, 2010).

3.13.2. Les larves d'insectes

Les larves d'insectes sont particulièrement riches en matières protéiques et plusieurs publications scientifiques récentes les mentionnent comme source alternative de protéines à haut potentiel pour l'alimentation humain et animale (ELWERT, 2010 – BOUAFOU et Al., 2007 et 2011).

3.13.3. La chair de crépidules

La crépidule (Crepidula Fornicata) est un mollusque gastéropode marin présent sur l'ensemble des côtes françaises et particulièrement en Basse Normandie, en Bretagne et en Vendée. Il s'agit d'une espèce envahissante néfaste à la pêche et à la conchyliculture. Une récolte régulière et pérenne de crépidules permettrait de contenir sa prolifération. Des essais d'utilisation de la crépidule en tant que complément alimentaire (sur plusieurs espèces dont les volailles) ont été menés par le zoopôle de Ploufragran dans le cadre du projet CREPIVAL. Il semble que ces essais étaient prometteurs mais les résultats n'ont pas été publiés (BMO, 2006).

3.13.4. La farine de moules

Des essais menés en Suède ont montré que les moules pouvaient être une bonne source de protéines de haute qualité pour les volailles en remplacement de la farine de poissons. En effet, les essais à des teneurs d'incorporation de 12% en poulets de chair et 15% en poules pondeuses ont montré qu'il n'y avait pas d'incidence sur les performances et qu'il y avait un effet bénéfique sur la pigmentation du jaune d'oeuf. Cependant, il reste des questions non résolues autour des aspects sanitaires, des aspects éthiques et du procédé de production (JÖNSSON, 2009).

Une synthèse des intérêts et limites des différentes MP est présentée dans le tableau 5. Ce tableau permet de confronter les différentes pistes de travail sur un angle plus large que les seules données nutritionnelles.

PARTIE II. Problématique

La revue de la littérature a permis d'identifier plusieurs MPRP potentiellement pertinentes dans le cadre du passage à une alimentation 100% biologique. Ces MP sont susceptibles de limiter le recours massif aux tourteaux de soja biologiques envisagé dans le cadre du passage à une alimentation 100% biologique en élevage avicole. A noter que l'objectif ici n'est pas de formuler sans soja car il s'agit d'une MP intéressante en alimentation animale mais de limiter son utilisation.

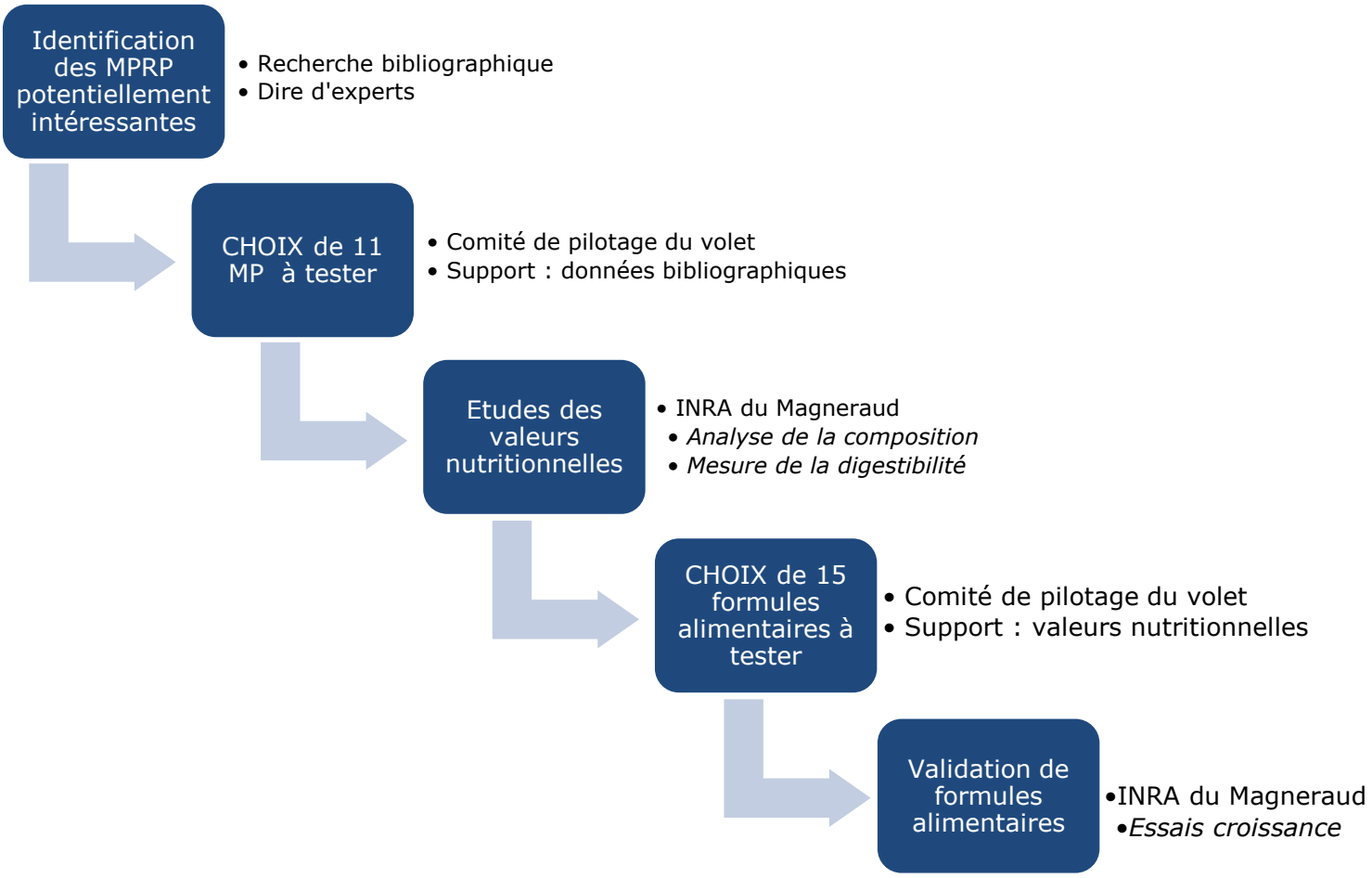
Les données relatives à l'utilisation de ces MP (valeurs nutritionnelles, seuil d'utilisation, etc.) sont bien connues pour celles utilisées habituellement en alimentation des volailles conventionnelles. Cependant, pas ou peu de données existent sur les MP un peu plus innovantes comme le tourteau de cameline, l'ortie, la crépidule,... De plus, les process autorisés en AB peuvent aboutir à des MP biologiques aux caractéristiques différentes des mêmes MP conventionnelles (exemple des tourteaux gras). Seuls quelques travaux sont à répertorier sur l'étude des valeurs nutritionnelles de ces MP aux caractéristiques différentes. Pour exemple, LESSIRE et Al. (2009b) se sont intéressés aux valeurs nutritionnelles des tourteaux de colza partiellement déshuilés. Ils ont mis en évidence l'existence d'une forte corrélation entre la valeur énergétique (en Kcal/kg de MS) et la teneur en MG (en % de la MS) de ces tourteaux. Les équations suivantes : EMAn coq =1644 +80,9 MG (r^2=0,97, n=4) et EMAn poulet =1474 + 63,9 MG (r^2=0,96, n=4) restent cependant à confirmer par l'analyse d'un plus grand nombre d'échantillons. De la même manière, en comparaison avec les MP utilisées pour les poulets à croissance rapide, peu de données existent sur la digestibilité des MP pour des poulets à croissance lente alors même que LESSIRE et Al. (2011) ont mis en évidence qu'il existait une variabilité inter souches. En effet, dans leur étude, les poulets à croissance lente valorisent mieux les aliments (EMAn et CUDn supérieurs) que ceux à croissance rapide.

La future interdiction d'utiliser 5% de MP conventionnelles dans les rations des monogastriques incite à une meilleure connaissance des MP utilisées en substitution. Ainsi, pour rappel, les objectifs de ce travail sont **(1) d'identifier et de caractériser qualitativement des MPRP potentiellement intéressantes pour l'alimentation 100% biologique des volailles et (2) de proposer des formules alimentaires 100% biologiques équilibrées et techniquement performantes.** Les questions sous-entendues par ces objectifs sont les suivantes :

- ***Q1 :*** *Quelles sont les MPRP potentiellement intéressantes pour une alimentation 100% biologique des volailles ?*
- ***Q2 :*** *Quelles sont les valeurs nutritionnelles de ces MPRP ?*
- ***Q3 :*** *Quelles formules 100% biologiques incluant une ou plusieurs MPRP identifiées permettent de bons résultats techniques sur poulets de chair ?*
- ***Q4 :*** *Quelles pistes de réflexion sur les limites d'incorporation des MPRP identifiées ?*

Suite à notre synthèse bibliographique, nous pouvons émettre les hypothèses de recherche suivantes :

- ***H1 :*** *Les MPRP identifiées présentent un profil nutritionnel intéressant pour l'alimentation des volailles.*
- ***H2 :*** *Les valeurs nutritionnelles des MP biologiques sont différentes des mêmes MP conventionnelles.*
- ***H3 :*** *Il existe une variabilité intra MP des valeurs nutritionnelles.*
- ***H4 :*** *A partir d'une ou plusieurs de ces MPRP, il est possible de réaliser des formules 100% biologiques (1) limitant l'utilisation de soja biologique et (2) aboutissant à des résultats techniques comparables à une formule base soja.*



<u>Figure 6 :</u> Organisation de la stratégie mise en place

Partie III. Etude expérimentale

1. Organisation (Cf. Figure 6)

Afin de répondre aux objectifs de travail précédemment cités et vérifier les hypothèses construites sur la base des lacunes de la bibliographie, une étude expérimentale a été mise en place à l'unité EASM de l'INRA du Magneraud (Cf. Présentation de l'unité en annexe 2). Cette étude a été réalisée dans un cadre spécifique d'utilisation de matières premières biologiques et de souche d'animaux à croissance lente. Elle se compose de deux essais associés :

- **Essai 1 :** Evaluation de la valeur nutritionnelle de MP biologiques chez (1) le poulet à croissance lente et (2) le coq (« Essais digestibilité »)
- **Essai 2 :** Etude comparative de formules alimentaires 100% biologiques chez le poulet entre 29 et 57 jours d'âge (« Essai parquet »)

Comme nous l'avons vu, ce travail s'inscrit dans le 1er volet du programme de recherche AVIALIM BIO. Le comité de pilotage technique du volet qui se compose de chercheurs, d'opérateurs de la filière (techniciens et formulateurs) et de techniciens de Chambres d'agriculture et d'instituts (ITAVI, ITAB) a donc eu la responsabilité de prendre les décisions relatives à ce travail. Ainsi le choix des matières premières et des formules alimentaires testées a été réalisé par ce comité de pilotage en fonction des informations dont ils disposaient. Pour l'essai 1, le choix des MP a été réalisé sur la base de la liste de MPRP potentiellement pertinente (aves ses atouts / contraintes / valeurs nutritionnelles connues) ressortant de l'étude bibliographique. Pour l'essai 2, le choix des formules alimentaires a été réalisé sur la base des résultats de l'essai 1 c'est-à-dire les valeurs nutritionnelles des MPRP.

A noter qu'afin de disposer de résultats rapidement (nécessaires à la réalisation des autres travaux du programme) et vis-à-vis des possibilités du dispositif expérimental, il a été décidé de diviser l'étude en deux séries de matières premières. Ainsi, un « essai digestibilité » a été réalisé sur une première série de 11 MP en février 2012 et un « essai parquet » sur des formules incorporant les MP testées précédemment a été réalisé en juillet 2012. Un « essai digestibilité » sur une seconde série de 11 MP sera mis en place en octobre 2012 (et sera suivi d'un 2nd « essai parquets »). Ce rapport ne concerne que les résultats de la première série d'essais.

2. Matériels et méthodes

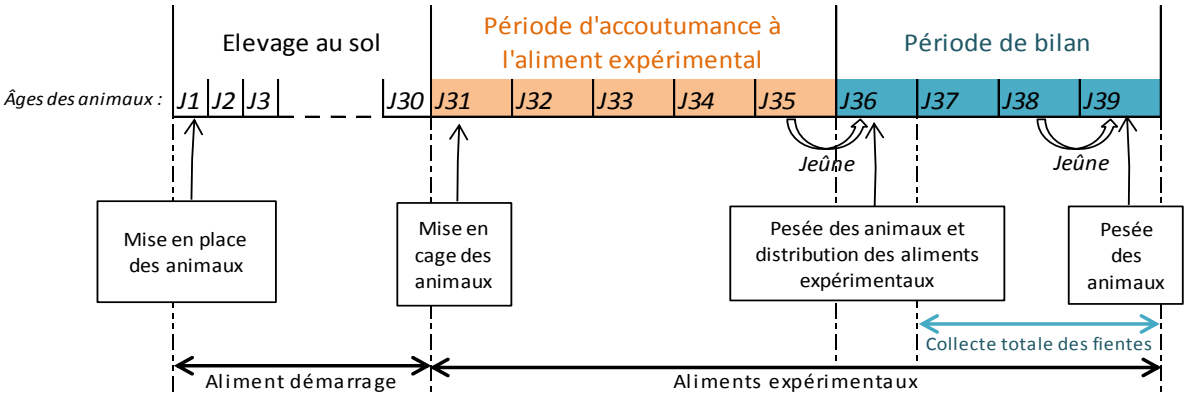
2.1. Essai 1 : Evaluation de la valeur nutritionnelle de matières premières biologiques chez (1) le poulet à croissance lente et (2) le coq

Ce 1er essai a pour objectif de répondre à la question 2 de notre problématique : *« Quelles sont les valeurs nutritionnelles des MPRP potentiellement intéressantes identifiées? ».* Les valeurs de digestibilité des MP chez des poulets de souche à croissance lente (âgés de 5 semaines) et chez des coqs adultes sont notamment attendues en résultats. Ainsi l'hypothèse 1 : *« Les MPRP identifiées présentent un profil nutritionnel intéressant pour l'alimentation des volailles »* pourra être vérifiée. De plus, nos résultats, en comparaison avec les valeurs connues pour des matières conventionnelles permettront de valider l'hypothèse 2 : *« Les valeurs nutritionnelles des MP biologiques sont différentes des mêmes MP conventionnelles ».*

Les choix méthodologiques qui ont été faits s'appuient sur les données de composition chimique de la bibliographie et de l'expérience de l'INRA en matière de digestibilité chez la volaille.

<u>Tableau 6 :</u> Composition des régimes expérimentaux en % - Essai digestibilité 1

REGIME	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
Base	62,2	67,2	67,2	82,2	67,2	67,2	77,2	67,2	77,2	87,2	62,2	97,2
MP1 – Ttx de soja / Origine 1	**35**											
MP2 – Ttx de tournesol/ Origine 1		**30**										
MP3 – Ortie plante entière			**30**									
MP4 – Conc. protéique de luzerne				**15**								
MP5 – Conc. protéique de riz					**30**							
MP6 – Ttx de colza						**30**						
MP7 – Ttx de lin							**20**					
MP8 – Ttx de tournesol/ Origine 2								**30**				
MP9 – Ttx de chanvre									**20**			
MP10 – Lactosérum										**10**		
MP11 – Ttx de soja/ Origine 2											**35**	
Carbonate	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Phosphate	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Sel	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Prémix	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5



<u>Figure 7 :</u> Déroulement de l'expérience sur poulet - Essai digestibilité 1

Les matériels et méthodes de **l'essai « digestibilité » sur poulets de chair à croissance lente sont présentés** ci-dessous. Par la suite suivra un exposé sur les différences de l'essai « digestibilité » sur coqs par rapport à celui sur poulets de chair.

2.1.1. Animaux

240 Poussins mâles, de souche JA657, âgés d'un jour ont été élevés au sol sur copeaux de bois dépoussiérés, jusqu'à 31 jours d'âge. Les animaux ont reçu pendant toute cette période un aliment démarrage « biologique » fourni par un industriel.

Les animaux ont été vaccinés contre la bronchite infectieuse et la coccidiose au couvoir. L'essai a été réalisé exclusivement sur des mâles car il n'y a pas d'effet sexe dans la digestion. De plus, en comparaison avec les femelles, l'effet alimentation est plus marqué chez les mâles. En effet, ils optimisent mieux les apports en protéines (et atteignent un poids supérieur).

A 31 jours d'âge, 120 animaux, répartis en 12 groupes homogènes centrés sur le poids moyen du lot ont été mis en cages individuelles. Les animaux ont été répartis de façon aléatoire entre les 12 traitements expérimentaux (10 animaux par traitement). A partir de 31 jours d'âge, les animaux sont nourris avec les aliments expérimentaux.

Durant toute la période de l'essai, les animaux ont disposé d'eau à volonté. En accord avec les recommandations admises en élevages, l'éclairement artificiel a été fixé à 18 heures de lumière à partir de 11 jours d'âge et la température ambiante du local a été de 28°C au démarrage, puis abaissée progressivement à 18 °C à partir de 29 jours.

2.1.2. Aliments

12 régimes expérimentaux ont été fabriqués, en granulés (granulation à sec). La composition des régimes figure sur le tableau 6. Une base composée de 37,04 % de maïs biologique, 37,04 % de blé biologique, 22,84% de tourteaux de soja biologique et 3,09 % d'huile biologique a été fabriquée. Les aliments expérimentaux sont composés de la base, de la MP à tester (incorporée à un pourcentage variable en substitution de la base) et de 2,8% de complément (sel, carbonate, phosphate et prémix). La base et les taux d'incorporation ont été choisis pour éviter d'avoir des régimes trop carencés ou excédentaires en protéines et acides aminés (l'objectif étant que les animaux consomment normalement l'aliment), compatibles avec un taux le plus élevé possible des matières premières à tester. Ainsi le taux de protéines des formules était compris entre 15 à 28%.

Les MP sélectionnées par le Comité de pilotage sont :

- Pour leur teneur en protéines : le concentré protéique de riz, le concentré protéique de luzerne, le tourteau de colza, le tourteau de chanvre et le tourteau de lin
- Pour la qualité de leurs protéines : le lactosérum et l'ortie plante entière
- Pour caractériser leur variabilité et la différence entre MP conventionnelles et biologiques : 2 tourteaux de soja et 2 tourteaux de tournesol. Pour ces MP, 2 tourteaux d'origine différente ont été testés afin d'étudier la variabilité intra MP et vérifier l'hypothèse 3.

2.1.3. Déroulement de l'expérience (Cf. Figure 7)

a. Période 1 : Elevage au sol de J1 à J31

Les animaux sont mis en place à J1 et élevés au sol jusqu'à J30. Durant cette période, les animaux sont identifiés individuellement et ils reçoivent ad libitum un aliment démarrage biologique acheté à un industriel. A la fin de cette première période (J31 au matin), les animaux sont pesés individuellement de sorte à constituer 12 lots de 10 animaux centrés sur la moyenne du groupe.

b. Période 2 : Accoutumance à l'aliment de J31 à J36

La mise en cages individuelles des animaux a lieu dans l'après-midi de J31 selon le plan d'expérience défini (Cf. Annexe 3). Les animaux reçoivent alors les régimes expérimentaux. A J35, un contrôle de la consommation d'aliment en accoutumance est réalisé et les animaux sont mis à jeun à 16h00.

c. Période 3 : Bilans digestifs de J36 à J39

Les bilans digestifs sont réalisés par collecte totale individuelle des fientes. Pendant la période de bilan la consommation d'aliment et d'eau, ainsi que les poids début et fin des animaux sont enregistrés par animal. Les bilans digestifs ont été réalisés entre J36 et J39 car c'est la période où la croissance des animaux est la plus rapide et où la consommation d'aliment est importante.

A J36, 17 heures après la mise à jeun (soit à 9h00), une pesée individuelle des animaux est réalisée, les plateaux de collecte des fientes sont mis en place et la distribution des aliments expérimentaux recommence. Les collectes des fientes ont lieu à J37, J38 et J39. Celles-ci sont stockées au congélateur.

A J38, les animaux sont mis à jeun à 16h00. A 9h00 lendemain matin (J39), les animaux sont pesés.

2.1.4. Les mesures et calculs réalisés

a. Données recueillies

Durant l'essai, les données suivantes ont été recueillies:

- Poids individuels des animaux à J31, J36 et J39
- Consommation d'aliment individuelle de J36 à J39
- Consommation d'eau individuelle de J36 à J39
- Poids des excrétas par animal de J36 à J39

b. Analyses des aliments, des matières premières et des fientes

Plusieurs analyses ont été effectuées au laboratoire de l'unité expérimentale ESAM de l'INRA du Magneraud. Le tableau ci-dessous indique les analyses réalisées sur les aliments et/ou les matières premières et/ou les fientes. Les principes et les modes opératoires des différentes analyses sont présentées en annexe. Avant analyse, les fientes récoltées sont lyophilisées et broyées au Recht. Les aliments et les matières premières sont aussi broyés. Les échantillons sont stockés dans une chambre froide ou un réfrigérateur à +4°C.

Tableau 7 : Analyses réalisées sur les aliments, les MP et les fientes

Teneur déterminée	Aliment	MP	Fiente	Remarques / Mode opératoire
Matière Sèche	✓	✓	✓	Passage dans une étuve à 103°C pendant 4h (Aliment et MP) Norme NF V18-109 (Cf. Annexe 4) Détermination par pesée avant et après lyophilisation (Fientes)
Energie brute	✓	✓	✓	Combustion totale d'un d'échantillon dans un calorimètre 3 répétitions par MP et régime / 1 répétition pour les fientes Norme NF V18-111 (Cf. Annexe 5)
Azote total	✓	✓	✓	Méthode de Kjeldahl (Cf. Annexe 6) Teneur en protéines brutes = 6,25 X teneur en azote obtenu
Azote fécal			✓	Séparation de l'azote urinaire et de l'azote protéique non digéré Méthode de Terpstra et Hart (Cf. Annexe 7)
Matière grasse		✓		Sans hydrolyse préalable Norme NF V18-117 (Cf. Annexe 8)
Cendres brutes		✓		Passage dans un four à moufle à 550 ° pendant minimum 6h Norme NF V18-101 (Cf. Annexe 9)

Ces analyses, en complément des données recueillies, ont permis de calculer l'Energie Métabolisable Apparente et les coefficients d'utilisation digestive par animal, puis par régime expérimental et par matière première.

c. Calculs réalisés

i. Calcul de l'énergie Métabolisable Apparente (EMA)

Le calcul de l'EMA s'appuie sur la mesure individuelle de la quantité ingérée et de l'énergie brute des fientes et des aliments.

$$\text{EMA (kcal kg)} = \frac{\text{Qa} \times \text{EB aliment sec} - (\text{Qe} \times \text{EB excréta lyophilisé})}{\text{Qa}}$$

Où : Qa = Quantité d'aliment ingéré en kg
Qe = Quantité d'excréta lyophilisés en kg
EB= Energie Brute en kcal/kg

ii. Calcul de l'Energie Métabolisable Apparente à bilan azoté nul

Pour rappel, une partie des protéines ingérées chez un poulet en croissance est utilisée pour sa croissance. Pour pouvoir comparer des animaux à différents stades physiologiques, on effectue une correction de l'EMA de la façon suivante :

$$\text{EMAn} = \text{EMA} - \frac{\Delta\text{N} \times 8220}{\text{Qa}}$$

Où : ΔN (kg) = N ingéré - N excrété = (Qa * N aliment sec) - (Qe * N excréta lyophilisé)
N = Teneur en azote exprimée en pourcentage
8220 (kcal) = Chaleur de combustion de l'acide urique provenant de l'oxydation de 1 g d'azote contenu dans les protéines corporelles (Larbier et Leclercq, 1992)

iii. Calcul des coefficients d'utilisation digestive (CUD)

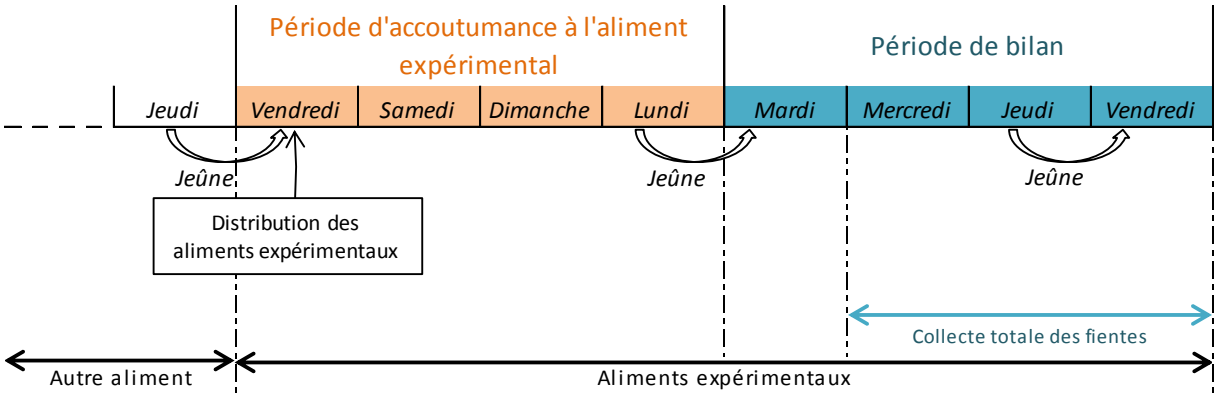
Le CUD (exprimé en %) correspond à la digestibilité apparente multiplié par 100. Il peut être calculé pour les différents composants de la ration. Ainsi on a :

$$\text{CUD}_{\text{MS}}\ \% = \text{dMS} \times 100 = \frac{\text{MS ingérée} - \text{MS fécale}}{\text{MS ingérée}} \times 100$$

$$\text{CUD}_{\text{N}}\ \% = \text{dN} \times 100 = \frac{\text{Protéines brutes ingérées} - \text{Protéines brutes fécales}}{\text{Protéines brutes ingérées}} \times 100$$

Où : CUD_{MS}= CUD de la Matière Sèche ; dMS = Digestibilité de la matière sèche
CUD_{N}= CUD de l'azote ; dN = Digestibilité de l'azote

Chacune de ces valeurs a été calculée par animal puis par régime expérimental (moyenne des 10 animaux du groupe expérimental). Ensuite, les données relatives aux matières premières testées ont été obtenues par différence entre la valeur des aliments expérimentaux et celle de la base.



<u>Figure 8 :</u> Déroulement de l'expérience sur coq - Essai digestibilité 1

2.1.5. Analyses statistiques

L'objectif de ces essais étant l'acquisition de données sur des MP, peu d'analyses statistiques sont nécessaires. Pour les données sur les MP identiques d'origine différente, un test de Student de comparaison de 2 moyennes est réalisé, au seuil de signification de 5%.

2.1.6. Différence avec l'essai « digestibilité » sur coqs

L'essai « digestibilité » sur coqs concerne 56 mâles Isabrown âgés de plus de 26 semaines. Les régimes expérimentaux distribués sont strictement identiques que pour l'essai sur poulets de chair. Il y a 8 animaux par traitement. Les 11 régimes expérimentaux sont testés en 2 séries (une première série comprenant 7 MP suivie d'une seconde série avec les 4 autres MP). Les traitements expérimentaux sont repartis selon un plan d'expérience défini pour chaque série (Cf. Annexe 10). Le déroulement de l'expérience est présenté sur la figure 8. A la différence des essais sur poulets :

- Les animaux sont déjà en cage au préalable du début des essais
- Les animaux ne sont pas pesés
- Les mises à jeun durent 24 heures
- Les consommations d'eau ne sont pas relevées

2.2. Essai 2 : Etude comparative de formules alimentaires 100% biologiques chez le poulet entre 29 et 57 jours d'âge

Ce 2nd essai a pour objectif de répondre aux questions 3 et 4 de notre problématique : « Quelles formules 100% biologiques incluant une ou plusieurs MPRP identifiées permettent de bons résultats techniques sur poulets de chair ? » et «*Quelles pistes de réflexion sur les limites d'incorporation des MPRP identifiées ?* » Les performances des poulets de chair nourris avec des formules 100% biologiques incorporant une ou plusieurs MPRP identifiées sont attendues en résultats. Ainsi l'hypothèse 4 : « A partir d'une ou plusieurs de ces MPRP, il est possible de réaliser des formules 100% biologiques (1) limitant l'utilisation de soja biologique et (2) aboutissant à des résultats techniques comparables à une formule base soja » pourra être vérifiée.

Les essais sont menés de 29 à 57 jours d'âge des animaux (phase croissance) afin de sécuriser la phase démarrage. En effet, le démarrage est une période critique où les besoins nutritionnels des animaux sont élevés. Dans notre contexte et avec notre objectif de limiter l'utilisation du soja, cette période représente moins d'enjeux car les volumes concernés sont limités. L'essai n'a pas porté sur la phase finition car les besoins nutritionnels des animaux y sont inférieurs à ceux de la période croissance. De plus, réaliser des essais sur des animaux en finition est plus coûteux et engendre des difficultés logistiques supplémentaires.

2.2.1. Animaux

1 125 poussins mâles, de souche S 757 N, âgés d'un jour ont été répartis en 45 groupes homogènes centrés sur le poids moyen du lot (3 répétition de 25 animaux par traitement). Les lots de 25 animaux ont été mis en parquets. Les animaux ont été répartis de façon aléatoire entre les 15 traitements expérimentaux. Les animaux ont été vaccinés contre la bronchite infectieuse et la coccidiose au couvoir. Jusqu'à J15, les animaux morts sont remplacés afin de maintenir un nombre constant dans chaque parquet.

Jusqu'à 29 jours d'âge, ils ont reçu un aliment démarrage « Biologique » fourni par un industriel. A partir de 31 jours d'âge, les animaux sont nourris à volonté avec les aliments expérimentaux.

Tableau 8 : **Composition et caractéristiques calculées des régimes expérimentaux en % - Essai parquet 1**

REGIME	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15
Composition en %															
Mélange Blé/Mais	68,7	68,7	68,5	65,61	67,13	64,2	68	67,47	66,8	63,7	72,74	70,7	70,5	72,9	63,7
Tourteaux de soja 1	27,7		15,4	20,8	14,1	15,7	12,1	17,4	17,1	27,75	14,5	21,1	15,83	19,37	27,75
Tourteaux de soja 2		27,7													
Tourteaux de tournesol					10	10	5	5							
Tourteaux de colza			8,57				6,83	5							
Concentré protéique de luzerne					6		5				10	5			
Concentré protéique de riz			4			6,5		1,59	6				10	4,08	
Ortie									7,23	5,7					
Lactosérum															5,7
Tourteaux de chanvre				10											
Carbonate	1,5	1,5	1,47	1,45	1,24	1,5	1,23	1,47	1,29	1,28	1,23	1,28	1,57	1,55	1,28
Phosphate	1,3	1,3	1,26	1,34	0,73	1,3	1,04	1,27	0,78	0,77	0,73	1,12	1,3	1,3	0,77
Sel	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Prémix	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Caractéristiques calculées en % du régime															
EMA coq (Kcal/kg)	2900	2900	2885	2880	2850	2850	2850	2850	2800	2800	2930	2910	2945	2920	2950
MAT	18,35	18,35	17,07	17,50	17,39	17,90	16,80	16,89	17,47	18,82	17,82	18,09	17,96	16,98	18,45
Lysine	0,93	0,93	0,79	0,83	0,82	0,79	0,79	0,79	0,79	0,96	0,88	0,91	0,79	0,79	0,93
Méthionine + Cystine	0,62	0,62	0,65	0,62	0,62	0,68	0,62	0,62	0,63	0,62	0,62	0,62	0,70	0,62	0,61
Thréonine	0,68	0,68	0,63	0,67	0,65	0,64	0,63	0,62	0,63	0,70	0,68	0,68	0,64	0,61	0,67
Tryptophane	0,22	0,22	0,20	0,21	0,24	0,21	0,22	0,20	0,20	0,23	0,27	0,24	0,21	0,20	0,22

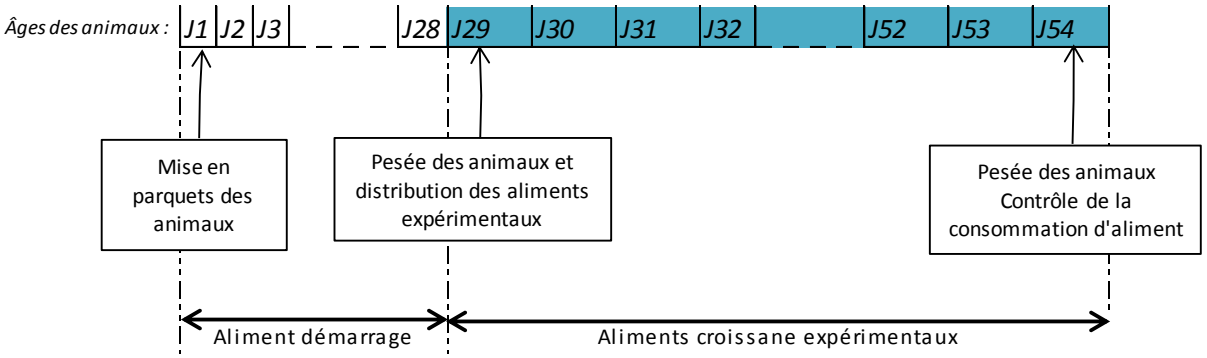


Figure 9 : **Déroulement de l'expérience - Essai parquet 1**

Durant toute la période de l'essai, les animaux ont disposé d'eau à volonté. En accord avec les recommandations admises en élevages, l'éclairement artificiel a été fixé à 18 heures de lumière par jour à partir de 11 jours d'âge et la température ambiante du local a été de 28°C au démarrage, puis abaissée progressivement à 18 °C à partir de 29 jours.

2.2.2. Aliments

15 régimes expérimentaux ont été fabriqués, en granulés (granulation à sec). La composition des régimes et les caractéristiques nutritionnelles calculées figurent dans le tableau 8. Le régime 1 constitue le régime témoin à base de soja. Le régime 2 est un régime expérimental de composition identique au régime témoin mais le tourteau de soja utilisé dans R2 présente des caractéristiques nutritionnelles différentes de celui de R1 (44,01% de MAT sur MS pour le tourteau de soja de R1 et 47,73% pour celui de R2). Le choix des matières premières à incorporer aux formules (seule ou en association) a été réalisé par le Comité de pilotage du volet 1 du projet en fonction des résultats de l'essai digestibilité. Les formulations ont été faites sur la base de valeurs tables. La table utilisée a été construite à partir des résultats de l'essai digestibilité, de données des fabricants (utilisées lors d'autres essais à l'INRA) et de données sur les matières premières conventionnelles (notamment pour le profil de la protéine). Pour l'ortie, la composition a été extrapolée à partir de celle de l'herbe. La marge de manœuvre étant étroite, les formules ont été souvent basées sur une teneur minimale en acides aminés limitants comparée à celle du régime témoin. Ainsi les contraintes de formulations étaient les suivantes :

- X % minimum des MP d'intérêt (Variable selon les MP)
- 2 800 Kcal minimum d'énergie métabolisable
- 16,5% minimum de MAT
- 7,90% minimum de Lysine
- 6,20% minimum de Méthionine + Lysine
- 1,50% minimum de Tryptophane
- 4,40% minimum de Thréonine

2.2.3. Déroulement de l'expérience (Cf. Figure 9)

a. Période pré-expérimentale : J1-J29

A J1, les animaux sont pesés individuellement de sorte à constituer 45 lots de 25 animaux centrés sur la moyenne du groupe. Ils sont ensuite mis en place dans les parquets. Jusqu'à J29, ils reçoivent ad libitum un aliment démarrage biologique acheté à un industriel. Au cours de la 2ème semaine, les animaux sont identifiés individuellement par baguage à l'aile.

b. Période expérimentale : J29-J57

A J29, les animaux sont pesés individuellement et reçoivent les régimes croissance expérimentaux selon le plan d'expérience défini (Cf. Annexe 11).

A J57, un contrôle de la consommation d'aliment est réalisé et les animaux sont pesés individuellement.

2.2.4. Les mesures et calculs réalisés

a. Données recueillies

Durant l'essai, les données suivantes ont été recueillies:

- Poids individuels des animaux à J29 et J57 (pesés sans mise à jeun)
- Consommation d'aliment par parquet entre J29 à J57
- Nombre et poids des morts / Causes de la mort (autopsie)
- Notation visuelle par 6 notateurs des litières par parquet à la fin de l'essai selon une échelle allant de 1 (litière très propre) à 5 (litière très sale).

b. Analyses des aliments et des matières premières

Comme pour l'essai précédent, des analyses sont réalisées sur les aliments (MS, EB, MAT) et les matières premières (MS, EB, MAT, MG et Cendres brutes).

c. Calculs réalisés

i. Calcul de l'indice de consommation

L'indice de consommation (IC) est calculé par parquet pour la période 29-57 jours de la façon suivante :

$$IC = \frac{\text{Aliment consommé (kg)}}{\text{(Poids fin (kg)-Poids début de période (kg)+Poids des morts (kg))}}$$

ii. Calcul du gain moyen quotidien

Le gain moyen quotidien est calculé par animal pour la période 29-57 jours de la façon suivante :

$$\text{GMQ (g)} = \frac{\text{Poids fin kg -Poids début de période (kg)}}{\text{Durée de la période considérée (jours)}}$$

2.2.5. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R (version 2.15.0), sur les données individuelles pour les poids vifs et les gains de poids, et les données des parquets pour la consommation d'aliment et l'indice de consommation. Pour chaque critère, une analyse de variance à un facteur suivie d'un test de Tukey de comparaison de moyennes est réalisée, au seuil de signification de 5% (Cf. Annexe 12).

Le modèle d'analyse de la variance est le suivant : $\mathbf{x_{ir} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ir}}$ avec i = 1 à 15 et r = 75 (cas des données individuelles) ou r = 3 (cas des données parquets).

Où x_{ir}= Réponse observée pour la $r^{ième}$ répétition du régime i

μ = Moyenne générale ; α_i= Effet du régime ; ε_{ir}=Effet résiduel

Tableau 9 : Valeurs nutritionnelles des matières premières testées

		En % sur sec		
MATIERE PREMIERE	**MS (%)**	**Cendres**	**MAT**	**MG**
MP1 – Tourteau de soja / Origine 1	**90,62**	**6,50**	**45,49**	**9,06**
MP11 – Tourteau de soja/ Origine 2	**90,35**	**6,61**	**45,43**	**4,66**
Base – Tourteau de soja	**93,24**	**6,80**	**47,50**	**7,84**
MP2 – Tourteau de tournesol/ Origine 1	**92,30**	**5,56**	**28,18**	**12,97**
MP8 – Tourteau de tournesol/ Origine 2	**92,76**	**5,36**	**25,43**	**16,90**
MP3 – Ortie plante entière	**91,65**	**16,57**	**17,27**	**2,79**
MP4 – Concentré protéique de luzerne	**93,40**	**12,76**	**52,31**	**-**
MP5 – Concentré protéique de riz	**94,81**	**2,43**	**49,01**	**3,83**
MP6 – Tourteau de colza	**88,84**	**7,24**	**31,78**	**12,79**
MP7 – Tourteau de lin	**92,01**	**4,62**	**40,65**	**12,15**
MP9 – Tourteau de chanvre	**90,35**	**6,91**	**31,68**	**14,13**
MP10 – Lactosérum	**96,30**	**11,36**	**9,57**	**1,77**
Base - Blé	**88,53**	**1,66**	**11,31**	**1,88**
Base – Maïs	**88,33**	**1,43**	**7,73**	**8,28**

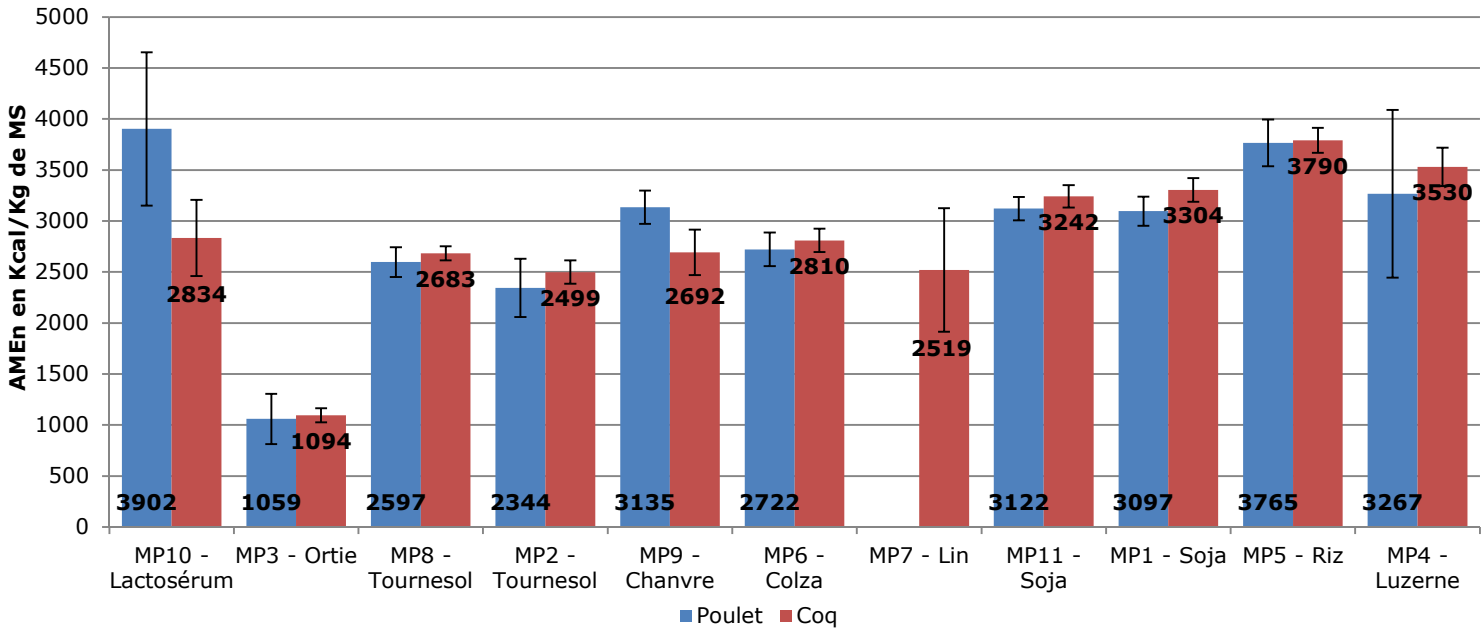


Figure 10 : Energie métabolisable apparente corrigée à bilan azoté nul des MP

Partie IV. Résultats

1. Essai 1 : Evaluation de la valeur nutritionnelle de matières premières biologiques chez le poulet à croissance lente et le coq

1.1. Gestion des données aberrantes

Le critère d'exclusion d'un individu retenu a priori de l'analyse des données est la non-appartenance d'au moins une des données calculées (CUD_{MS}, AMEn et CUD_N) à l'intervalle suivant :

$\bar{x}$ - 2,5 σ < Donnée calculée d'un individu < $\bar{x}$ + 2,5 σ

(intervalle calculé intra régime pour chaque donnée)

Où : $\bar{x}$ = Valeur moyenne et σ = Ecart-type

Ainsi, 1 coq présentant au moins une des données hors intervalle n'a pas été pris en compte dans l'analyse des données. Pour les coqs, les données relatives au régime 7 concernent donc 7 animaux au lieu de 8.

1.2. Valeurs nutritionnelles des MP testées

Les valeurs nutritionnelles analysées des MP testées sont présentées dans le tableau 9. Pour une même matière première, il existe une variabilité des valeurs nutritionnelles. Ainsi, le teneur en MAT des 3 tourteaux de soja varie entre 45,42 à 47,50% (sur MS) et la teneur en MG de 4,66 à 9,06%. De la même manière, les 2 tourteaux de tournesol présente un écart de 2,75 points de MAT et 3,93 points de MG.

L'ortie plante entière, le concentré protéique de luzerne et le lactosérum présentent une teneur en matière minérale élevée.

1.3. Performances des poulets à croissance lente

Pour rappel, seules les performances des poulets ont été relevées. A l'exception des poulets soumis au régime incluant du tourteau de lin, tous les autres animaux ont eu des performances acceptables (consommation d'aliment et prise de poids). Avec le régime incluant du tourteau de lin, la consommation d'aliments et le gain de poids ont été moindres. Ainsi, l'IC moyen sur les 5 jours de bilan a été de 5,6 pour le régime lin et de 2,3 en moyenne pour les autres régimes. Les animaux ont tellement peu consommés qu'il n'a pas été possible de déterminer les valeurs nutritionnelles du tourteau de lin pour le poulet.

A noter que le ratio consommation d'eau sur consommation d'aliment augmente pour les régimes incluant du lin (2,5L d'eau par kg d'aliment), de l'ortie (2,3) et du lactosérum (2,2). Pour les autres régimes, la consommation d'eau représente en moyenne 1,7 fois la consommation d'aliment.

1.4. L'énergie métabolisable

Il existe une forte variabilité de l'énergie métabolisable apparente corrigée à bilan azoté nul (EMAn) chez le poulet et chez le coq des MP (Cf. Figure 10). A l'exception du lactosérum et du tourteau de chanvre, l'EMAn des MP est plus élevé chez le coq que chez le poulet. L'ortie présente l'EMAn la plus faible (1059 Kcal/Kg de MS chez le poulet et 1094 Kcal chez le coq) alors que le riz (respectivement 3765 Kcal et 3790 Kcal) et le concentré protéique de luzerne (3267 Kcal et 3530 Kcal) présentent les EMAn les plus élevées chez le poulet et le coq. A noter que le lactosérum

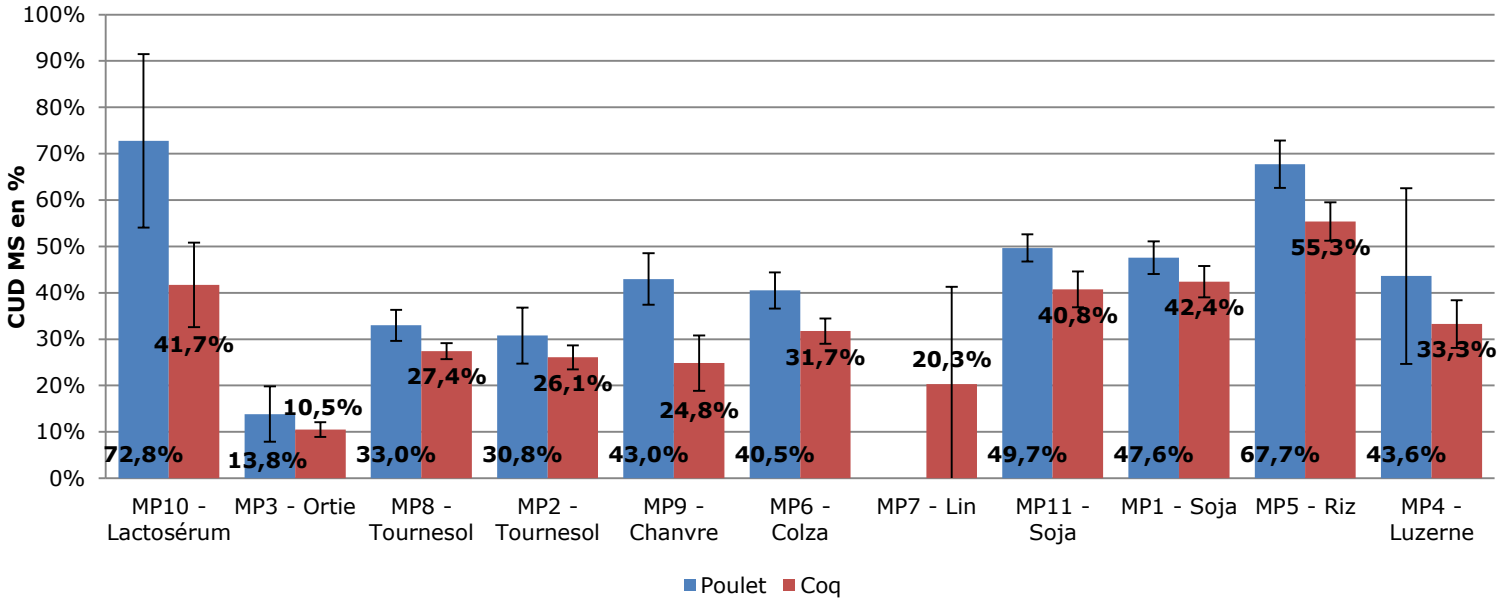


Figure 11 : CUD de la MS des MP

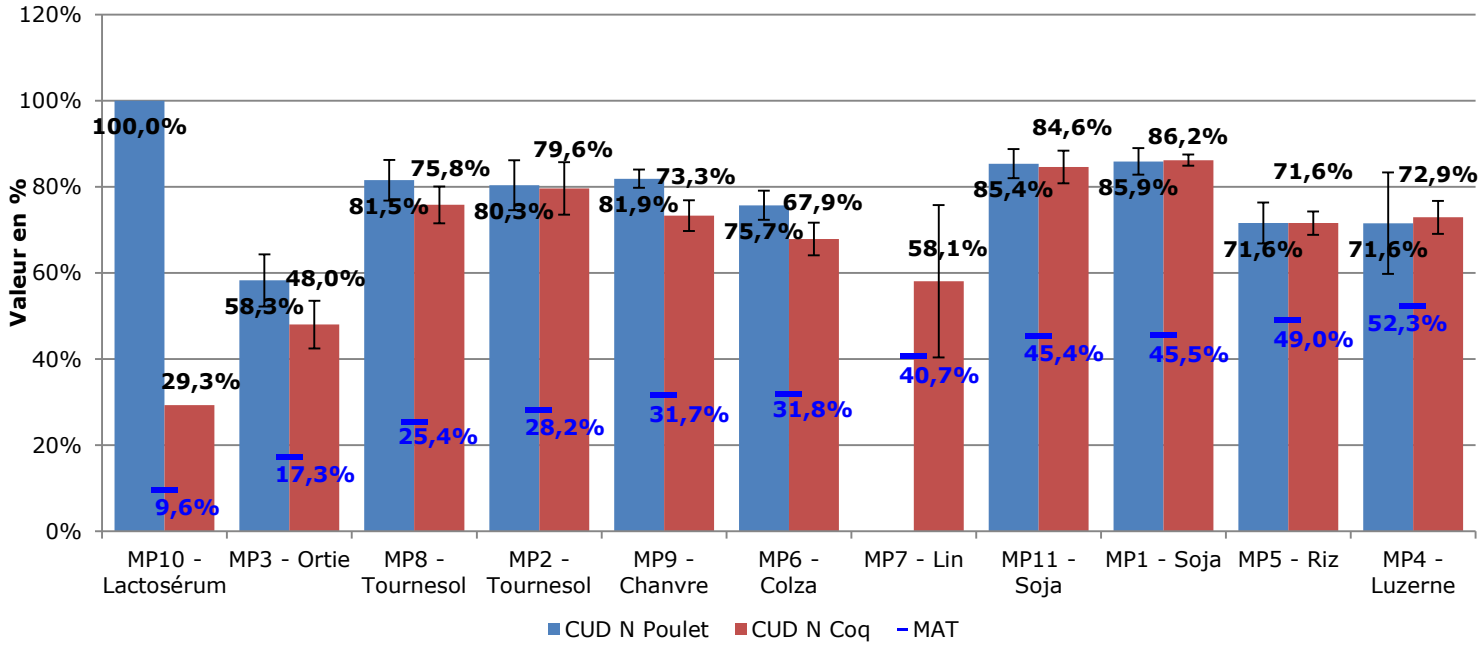


Figure 12 : CUD de l'azote des MP classées par teneur en MAT croissante

présente l'EMAn le plus élevé chez le poulet (3902 Kcal) mais celle-ci est nettement inférieure chez le coq (2834 Kcal).

De plus, il existe une variabilité de l'EMAn pour une même MP :

- Les EMAn des 2 tourteaux de soja sont en moyenne de 3122 et 3097 Kcal/Kg de MS chez le poulet soit une différence non significative de 25 Kcal/ Kg de MS (p-value = 0,6713). De la même manière, les EMAn de ces 2 tourteaux chez le coq sont de 3242 et 3304 Kcal soit une différence non significative de 62 Kcal (p-value = 0,2906).
- Les EMAn des 2 tourteaux de tournesol sont de 2344 et 2597 Kcal/Kg de MS chez le poulet soit une **différence significative** de 253 Kcal/ Kg de MS (p-value = 0,0227). Les EMAn de ces 2 tourteaux chez le coq sont de 2683 et 2499 Kcal soit une **différence très significative** de 184 Kcal (p-value = 0,0016).

1.5. Le CUD apparent de la MS

La digestibilité de la MS des MP varie entre 10,5% (l'ortie chez le coq) et 72,8 % (le lactosérum chez le poulet) (Cf. Figure 11). Elle est toujours supérieure chez le poulet que chez le coq.

Les CUD_{MS} du concentré protéique de riz (67,7% chez le poulet et 55,3% chez le coq) et du lactosérum (respectivement 76,1% et 41,7%°) sont les plus élevés alors que celui de l'ortie est le plus faible (13,8 % chez le poulet et 10,5% chez le coq). L'écart de CUD_{MS} des 2 tourteaux de soja est de 2,1 points chez le poulet et 1,6 point chez le coq. L'écart de CUD_{MS} des 2 tourteaux de tournesol est de 2,2 points chez le poulet et 1,3 point chez le coq. Ces écarts sont non significatifs.

1.6. Le CUD apparent de l'azote

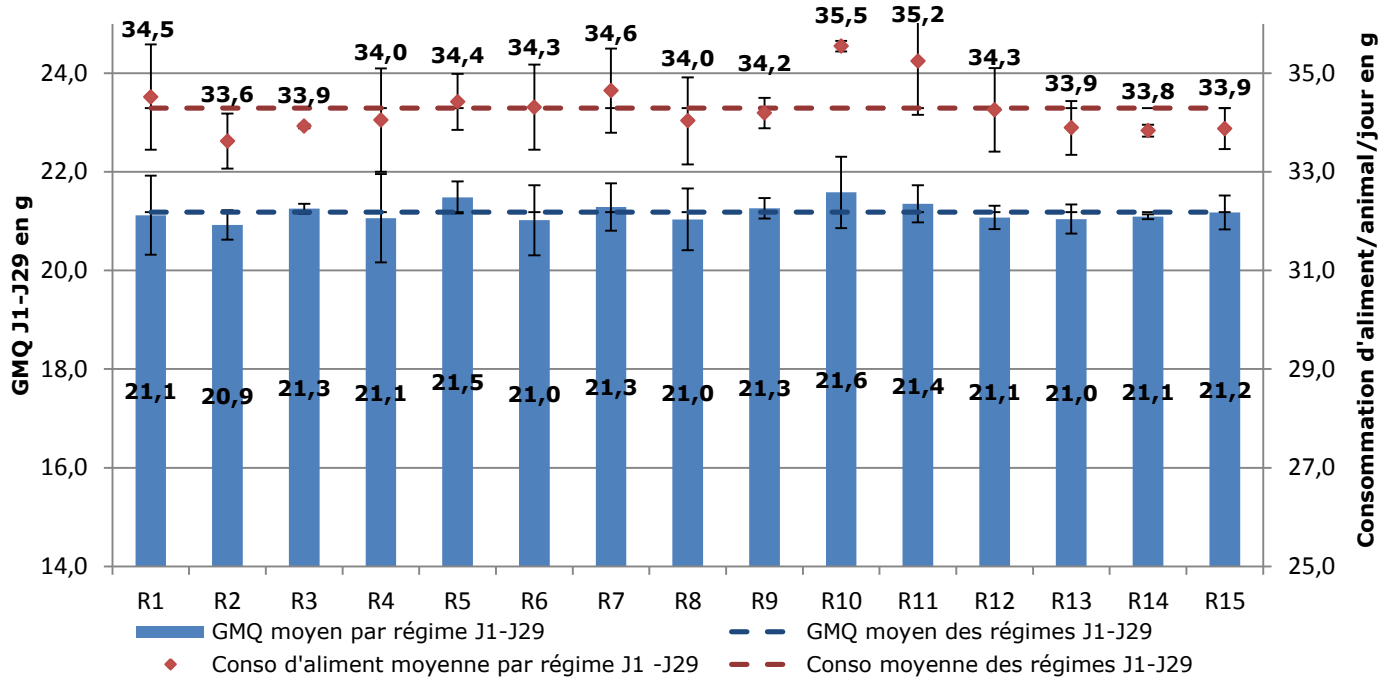
La digestibilité de l'azote des MP est présentée dans la figure 12 (MP rangées par teneur en MAT croissante). Le lactosérum présente la teneur en MAT la plus faible (9,6%) et le CUD_N le plus élevé chez le poulet (100%). A noter que la variabilité de cette valeur est élevée avec un écart-type de 58%. Chez certains animaux, le CUD_N de cette matière première était largement supérieur à 100%. On peut supposer que la matière première a entrainé des perturbations du transit intestinal avec notamment une desquamation du tube digestif. Chez le coq, le lactosérum présente un CUD_N plus faible (36,4%) et aussi très variable (écart-type de 62,40%). Chez le poulet et le coq, les CUD_N les plus bas sont ceux de l'ortie (58,3% et 48,0%), du riz (71,6%) et de la luzerne (71,6% et 72,9%). Il faut noter que pour le lin l'écart type de CUD_N est important. Les concentrés protéiques de riz et de luzerne présentent les teneurs en MAT les plus élevées (respectivement 49,0 et 52,3% sur MS) mais leurs CUD_N chez le poulet et le coq sont plus de 10 points inférieurs à ceux du tourteau de soja.

De plus, les CUD_N des 2 tourteaux de soja sont de 85,4 et 85,9% chez le poulet et de 84,6 et 86,2% chez le coq soient respectivement des différences non significatives de 0,5 point (p-value = 0,7175) et de 1,6 points (p-value = 0,2861). Les CUD_N des 2 tourteaux de tournesol sont de 81,5 et 80,3% chez le poulet et de 75,8 et 79,6% chez le coq soient respectivement des différences non significatives de 1,2 points (p-value = 0,6157) et de 3,8 points (p-value = 0,1698).

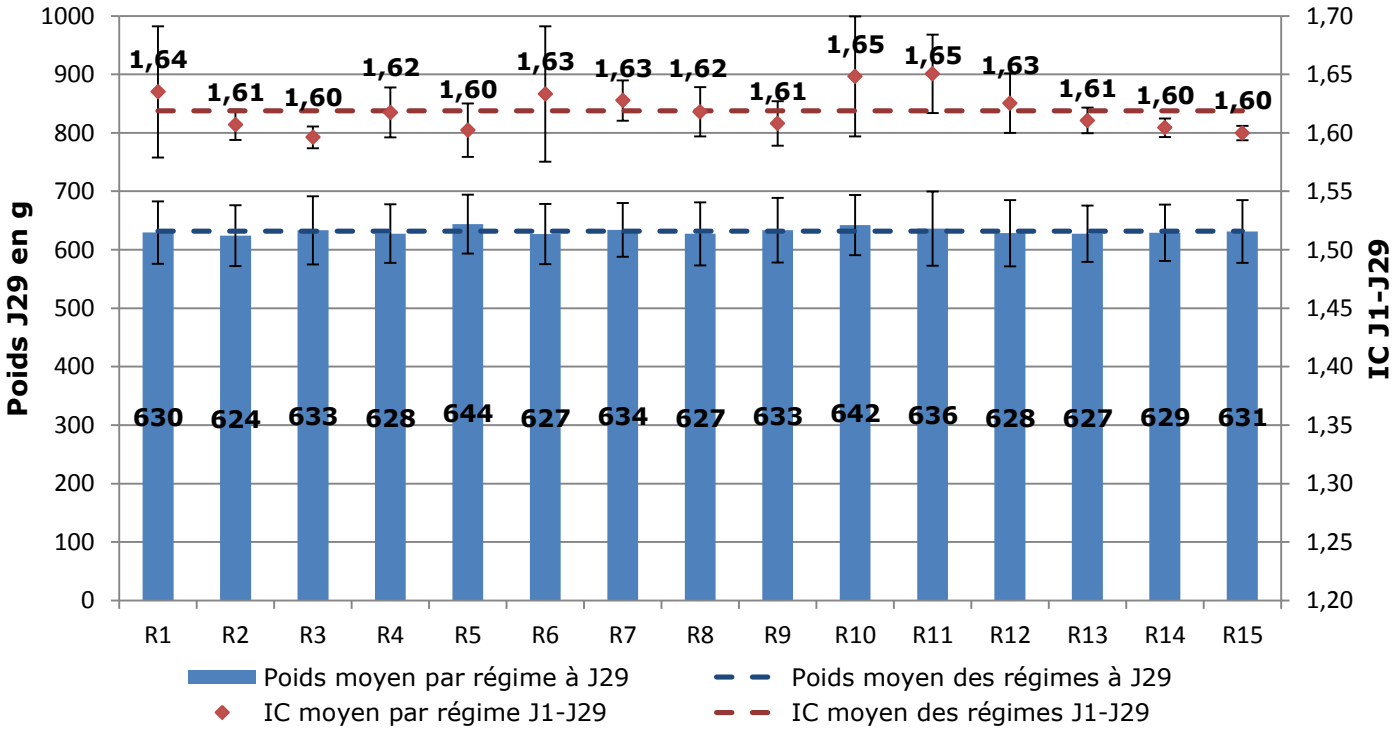
Ce premier essai a permis d'évaluer les valeurs nutritionnelles de MPRP chez le poulet de chair à croissance lente et chez le coq.

L'essai suivant a pour objectif de compléter ces données par :

- **La validation de l'intérêt zootechnique de ces MP utilisées seules ou en combinaison dans des formules 100% biologiques**
- **La détermination des limites d'incorporation des MP.**



<u>Figure 13 :</u> GMQ et consommation quotidienne d'aliment par animal par régime entre J1 et J29



<u>Figure 14 :</u> Poids moyen des animaux à J29 et IC moyen de J1 à J29 par régime

2. Essai 2 : Etude comparative de formules alimentaires 100% biologiques chez le poulet entre 29 et 57 jours d'âge

2.1. Gestion des données aberrantes

Le critère d'exclusion d'un individu retenu a priori de l'analyse des données est la non-appartenance des poids individuels à J29 et à J54 à l'intervalle ci-dessous :

$\bar{x} - 3\sigma <$ **Poids individuel** $< \bar{x} + 3\sigma$ (intervalle calculé intra groupe pour chaque pesée)

Où : $\bar{x}$ = Poids moyen et σ = Ecart-type des poids individuelles.

Un animal présentant des données aberrantes n'a pas été pris en compte dans le traitement des résultats individuels. Cet animal faisait partie du parquet 2 soumis au régime R5. Il présentait un poids anormalement faible avant le début de la période expérimentale (333g à J29) et à la pesée finale (791g à J54).

De plus, un animal est mort durant l'essai. Les causes de sa mort n'ont pas été mises en évidence durant l'autopsie. Cet animal faisait partie du parquet 43 soumis au régime R2. Pour les régimes R2 et R5, les données individuelles concernent donc 74 répétitions (animaux) au lieu de 75.

2.2. Valeurs nutritionnelles des aliments testés

A l'heure de l'écriture de ce rapport, les aliments testés n'ont pas encore été analysés.

2.3. Période pré-expérimentale : de J1à J29

Les performances zootechniques entre J1 et J29 par régime sont présentées sur les figures 13 et 14. Les amplitudes de variation des performances inter régimes sont faibles :

- 2 g pour la consommation quotidienne moyenne d'aliment par animal
- 0,7 g de GMQ
- 0,05 d'IC
- 19,9 g de poids à 29 jours d'âge

Les performances moyennes, minimal, maximal ainsi que l'écart-type sont reprises ci-dessous :

Tableau 10 : Effet régime sur les performances zootechniques entre J1 et J29

	Moyenne	Mini	Maxi	Ecart-type	EFFET REGIME	
					Probabilité	Significativité
Consommation quotidienne d'aliment par animal (g)	34,3	33,6	35,6	0,5	0,119	*NS*
GMQ (g)	21,2	20,9	21,6	0,2	0,9605	*NS*
IC J1 - J29	1,62	1,60	1,65	0,02	0,4805	*NS*
Poids à J29 (g)	631,6	624,0	643,9	5,70	0,586	*NS*

*NS = Non significatif / * = Effet significatif / ** = Effet très significatif / *** = Effet hautement significatif*

D'une façon générale, ni la consommation quotidienne d'aliment par animal, ni le GMQ, ni l'IC, ni le poids à J29 ne diffèrent significativement entre les différents groupes.

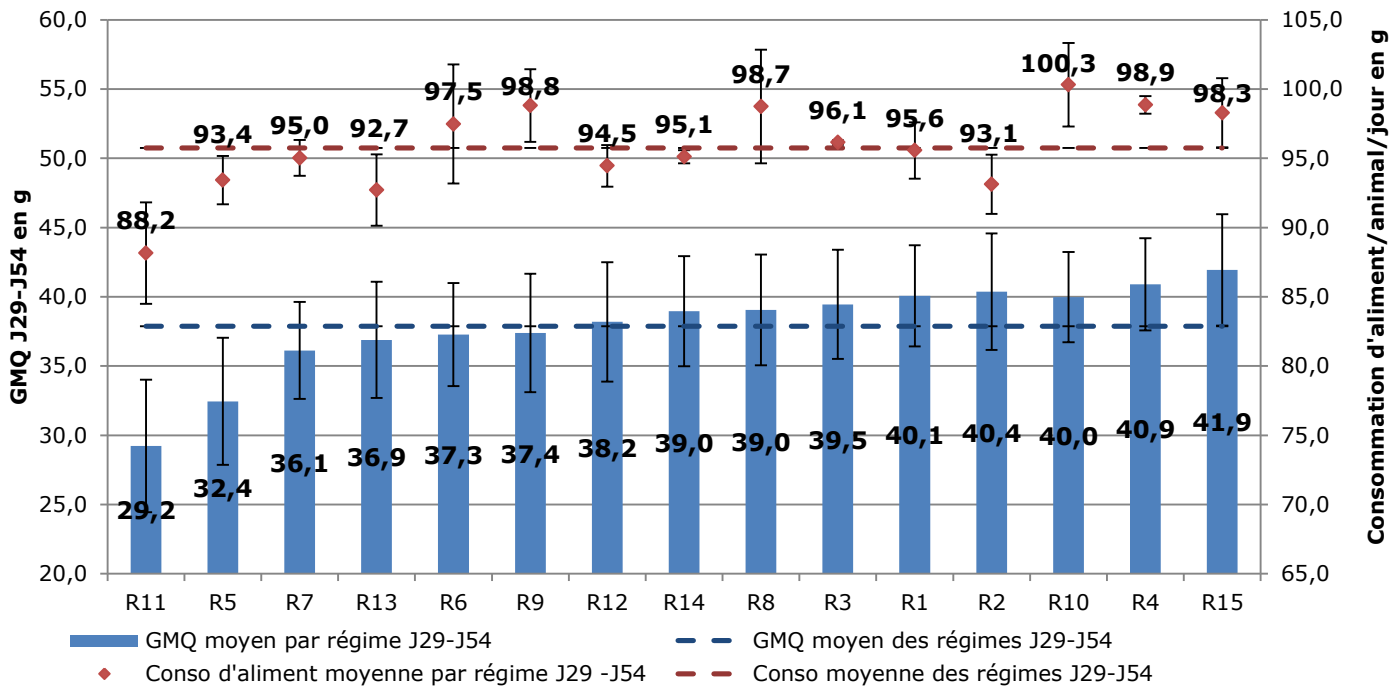


Figure 15 : GMQ et consommation quotidienne d'aliment par animal par régime entre J29 et J54

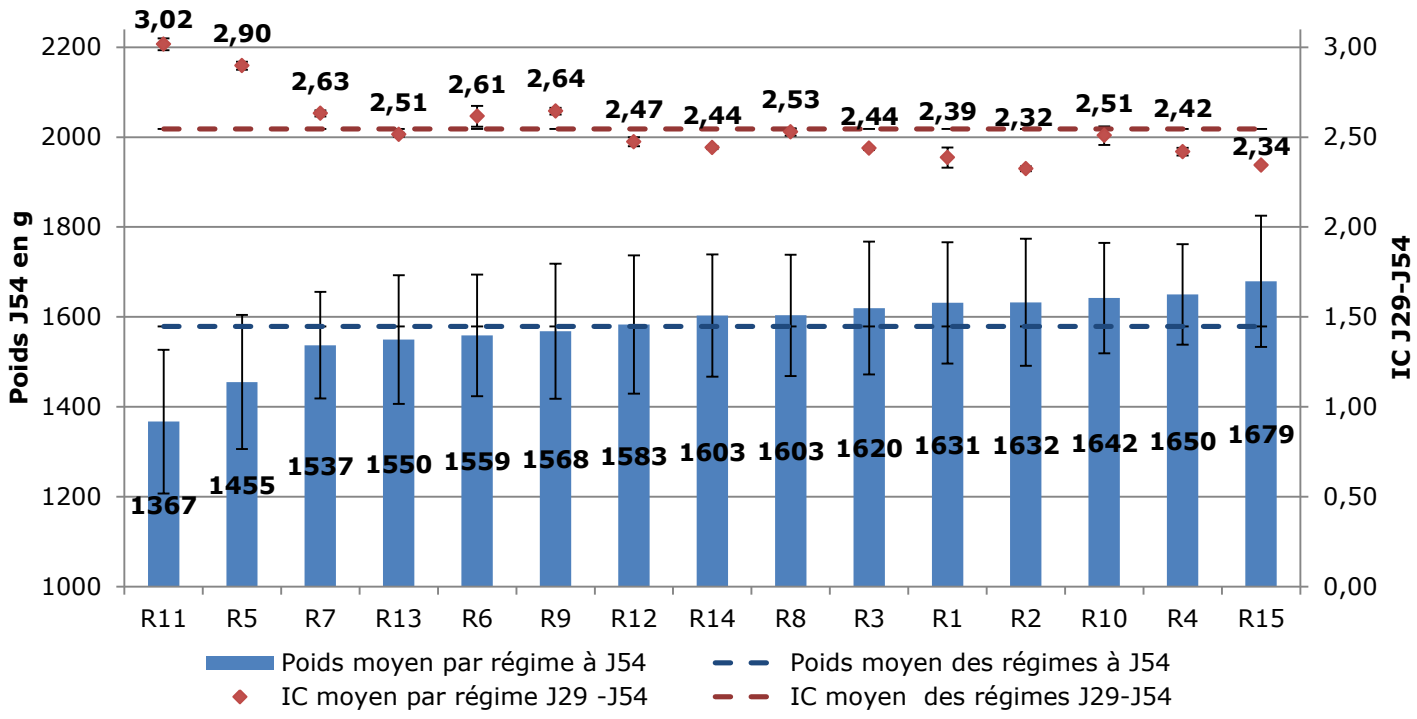


Figure 16 : Poids moyen des animaux à J54 et IC moyen de J29 à J54 par régime

2.4. Période expérimentale : de J29 à J 54

Pendant la période expérimentale, les animaux ont consommé plus d'aliment que ce qui avait été prévu. Par conséquent, il a été nécessaire d'avancer la fin de l'essai à J54 au lieu de J57.

Les performances zootechniques entre J29 et J54 par régime sont présentées sur les figures 15 et 16. Les régimes y sont triés de gauche à droite par poids à 54 jours croissant. Nous pouvons voir que les amplitudes de variation des performances sont élevées (12,7 g de GMQ, 312,4g de poids moyen à J54,…). Numériquement, les régimes R2, R10, R4 et R15 ont un poids à J54 plus élevé que le régime témoin base soja c'est-à-dire R1. A noter que R10 présente un IC supérieur. A l'inverse, R11 et R5 ont un poids à J54 inférieur au témoin et à la moyenne des poids. R11 se démarque par une consommation moindre des animaux.

Tableau 11 : Effet régime sur les performances zootechniques entre J29 et J54

	Moyenne	Mini	Maxi	Ecart-type	EFFET REGIME	
					Probabilité	Significativité
Consommation quotidienne d'aliment par animal (g)	95,7	88,2	100,3	3,2	0,0001585	***
GMQ (g)	37,9	29,2	41,9	3,3	< 2,2e-16	***
IC J29 – J54	2,55	2,32	3,02	0,19	4,075e-15	***
Poids à J54 (g)	1578,6	1366,9	1679,3	80,61	< 2,2e-16	***
Note d'état des litières*	2,7	1,7	4,3	0,8	< 2,2e-16	***

*NS = Non significatif / * = Effet significatif / ** = Effet très significatif / *** = Effet hautement significatif*

** Pour la note d'état des litières, une analyse de la variance à 2 facteurs (régime et notateur) a tout d'abord été effectuée pour montrer l'absence d'interaction entre les 2 facteurs.*

Les analyses de la variance réalisées montrent un effet hautement significatif du régime sur (1) la consommation quotidienne d'aliment par animal, (2) le GMQ, (3) l'IC, (4) le poids à J54 et (5) la note d'état des litières.

Nous étudions maintenant un par un chacun de ces critères.

<u>Tableau 12 :</u> Significativité des comparaisons deux à deux des régimes pour la consommation quotidienne d'aliment par animal

	R11	R13	R2	R5	R12	R7	R14	R1	R3	R6	R15	R8	R9	R4
R13	NS													
R2	NS	NS												
R5	NS	NS	NS											
R12	NS	NS	NS	NS										
R7	NS	NS	NS	NS	NS									
R14	NS	NS	NS	NS	NS	NS								
R1	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS							
R3	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS						
R6	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS					
R15	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS				
R8	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			
R9	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS		
R4	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
R10	***	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

*NS = Non significatif / * = Effet significatif / ** = Effet très significatif / *** = Effet hautement significatif*

<u>Tableau 14 :</u> Significativité des comparaisons deux à deux des régimes pour le GMQ

	R11	R5	R7	R13	R6	R9	R12	R14	R8	R3	R10	R1	R2	R4
R5	***													
R7	***	***												
R13	***	***	NS											
R6	***	***	NS	NS										
R9	***	***	NS	NS	NS									
R12	***	***	NS	NS	NS	NS								
R14	***	***	**	NS	NS	NS	NS							
R8	***	***	***	NS	NS	NS	NS	NS						
R3	***	***	***	**	NS	NS	NS	NS	NS					
R10	***	***	***	***	**	**	NS	NS	NS	NS				
R1	***	***	***	***	**	**	NS	NS	NS	NS	NS			
R2	***	***	***	***	***	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS		
R4	***	***	***	***	***	***	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
R15	***	***	***	***	***	***	***	***	***	*	NS	NS	NS	NS

*NS = Non significatif / * = Effet significatif / ** = Effet très significatif / *** = Effet hautement significatif*

<u>Tableau 17 :</u> Significativité des comparaisons deux à deux des régimes pour l'IC

	R2	R15	R1	R4	R3	R14	R12	R10	R13	R8	R6	R7	R9	R5
R15	NS													
R1	NS	NS												
R4	NS	NS	NS											
R3	NS	NS	NS	NS										
R14	NS	NS	NS	NS	NS									
R12	NS	NS	NS	NS	NS	NS								
R10	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS							
R13	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS						
R8	**	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS					
R6	***	***	**	**	*	*	NS	NS	NS	NS				
R7	***	***	***	**	*	*	NS	NS	NS	NS	NS			
R9	***	***	***	**	**	**	*	NS	NS	NS	NS	NS		
R5	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	
R11	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	NS

*NS = Non significatif / * = Effet significatif / ** = Effet très significatif / *** = Effet hautement significatif*

2.4.1. La consommation quotidienne d'aliment par animal

D'après le tableau 12, 3 groupes homogènes de consommation quotidienne d'aliment par animal ont été créés (Cf. Tableau 13). Les consommations du régime « témoin » (R1) et de R2 ne sont pas significativement différentes. De plus, aucun régime n'est significativement différent du témoin.

Tableau 13 : Groupes homogènes de conso. d'aliment d'après le test de Tukey (α = 5%)

Régime	Moyenne en kg	Groupes		
R11	88,2	a		
R13	92,7	a	b	
R2	93,1	a	b	c
R5	93,4	a	b	c
R12	94,5	a	b	c
R7	95,0	a	b	c
R14	95,1	a	b	c
R1	95,6	a	b	c
R3	96,1		b	c
R6	97,5		b	c
R15	98,3		b	c
R8	98,7		b	c
R9	98,8		b	c
R4	98,9		b	c
R10	100,3			c

2.4.2. Le GMQ

Tableau 15 : Groupes homogènes de GMQ d'après le test de Tukey (α = 5%)

Régime	Moyenne en g	Groupes						
R11	29,2	a						
R5	32,5		b					
R7	36,1			c				
R13	36,9			c	d			
R6	37,3			c	d	e		
R9	37,3			c	d	e		
R12	38,2			c	d	e		
R14	39,0				d	e	f	g
R8	39,1				d	e	f	g
R3	39,5					e	f	g
R10	40,0						f	g	h
R1	40,1						f	g	h
R2	40,3						f	g	h
R4	40,9							g	h
R15	41,9								h

L'étude du GMQ entre J29 et J54 conclut à de nombreuses différences hautement significatives entre les régimes (Cf. Tableau 14). 6 régimes (R14, R8, R3, R10, R4 et R15) ont un GMQ non significativement différent du régime témoin. Dans l'ordre de GMQ croissant, R10, R1, R2, R4, et R15 forment un groupe homogène présentant les GMQ les plus élevés. A l'inverse, le GMQ de R11 qui est le plus faible (29,2 g) est significativement différent de tous les autres régimes. C'est aussi le cas pour le GMQ de R5 (32,5g) (Cf. Tableau 15).

2.4.3. L'IC

Grâce tableau 16, nous voyons que 5 régimes (R11, R5, R9, R7 et R6) ont un IC significativement supérieur au régime témoin. Les régimes R11 et R5 forment un groupe avec un IC significativement supérieur à tous les autres régimes. Le tableau 17 indique que ces différences sont hautement significatives. Les IC des régimes R1 et R2 ne sont pas significativement différents.

Tableau 16 : Groupes homogènes d'IC d'après le test de Tukey (α = 5%)

Régime	Moyenne	Groupes				
R11	3,02	a				
R5	2,90	a				
R9	2,64		b			
R7	2,63		b	c		
R6	2,61		b	c		
R8	2,53		b	c	d	
R13	2,51		b	c	d	
R10	2,51		b	c	d	e
R12	2,47			c	d	e	f
R14	2,44				d	e	f
R3	2,44				d	e	f
R4	2,42				d	e	f
R1	2,39				d	e	f
R15	2,34					e	f
R2	2,32						f

<u>Tableau 19 :</u> Significativité des comparaisons deux à deux des régimes pour le poids à J54

	R11	R5	R7	R13	R6	R9	R12	R14	R8	R3	R1	R2	R10	R4
R5	*													
R7	***	*												
R13	***	**	NS											
R6	***	***	NS	NS										
R9	***	***	NS	NS	NS									
R12	***	***	NS	NS	NS	NS								
R14	***	***	NS	NS	NS	NS	NS							
R8	***	***	NS	NS	NS	NS	NS	NS						
R3	***	***	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS					
R1	***	***	**	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS				
R2	***	***	**	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			
R10	***	***	***	**	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS		
R4	***	***	***	**	**	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	
R15	***	***	***	***	***	***	**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

*NS = Non significatif / * = Effet significatif / ** = Effet très significatif / *** = Effet hautement significatif*

<u>Tableau 21 :</u> Significativité des comparaisons deux à deux des régimes pour la note d'état de la litière

	R13	R14	R4	R12	R2	R1	R11	R3	R7	R8	R9	R6	R10	R15
R14	NS													
R4	NS	NS												
R12	NS	NS	NS											
R2	NS	NS	NS	NS										
R1	NS	NS	NS	NS	NS									
R11	NS	NS	NS	NS	NS	NS								
R3	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS							
R7	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS						
R8	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS					
R9	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS				
R6	***	**	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS			
R10	***	***	***	***	***	***	***	***	***	**	**	NS		
R15	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	NS	NS	
R5	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	**	NS	NS

*NS = Non significatif / * = Effet significatif / ** = Effet très significatif / *** = Effet hautement significatif*

<u>Tableau 22 :</u> Récapitulatif des groupes homogènes avec les régimes témoin

	Régimes formant un groupe homogène avec R1 (témoin)	Données significativement dégradées / témoin
Consommation quotidienne d'aliment par animal (g)	Tous les régimes	
GMQ (g)	R15 - R4 – R2 - R3 - R10 - R8 - R14	R12 - R9 - R6 - R13 - R7 - R5 - R11
IC J29 – J54	R2 - R15 - R4 – R3 - R14 - R12 – R10 – R13 – R8	R6 - R7 - R9 - R5 - R11
Poids à J54 (g)	R15 - R4 - R2 - R3 - R10 - R8 - R14 - R12 - R9 - R6	R13 - R7 - R5 - R11
Note d'état des litières	R13 - R14 - R4 – R2 - R12 - R11 - R3 - R7 - R8 - R9 – R6	R5 - R15 - R10

2.4.4. Le poids à 54 jours

Les régimes R11, R5, R7 et R13 ont atteint un poids à 54 jours significativement inférieur au régime témoin. Le poids moyen de R11 qui est le plus faible (1 367g) est significativement différent de tous les autres régimes. C'est aussi le cas pour celui de R5 (1 455g). Le groupe homogène présentant le poids à J54 le plus élevé est composé (dans un ordre croissant) de R8, R3, R1, R2, R10, R4 et R15 (Cf. Tableau 18 et 19).

Tableau 18 : Groupes homogènes de poids à J54 d'après le test de Tukey (α = 5%)

Régime	Moyenne	Groupes						
R11	1 367	a						
R5	1 455		b					
R7	1 537			c				
R13	1 550			c	d			
R6	1 559			c	d	e		
R9	1 568			c	d	e	f	
R12	1 583			c	d	e	f	g
R14	1 603			c	d	e	f	g
R8	1 603			c	d	e	f	g h
R3	1 620				d	e	f	g h
R1	1 631					e	f	g h
R2	1 632					e	f	g h
R10	1 642						f	g h
R4	1 650							g h
R15	1 679							h

2.4.5. Note d'état des litières (Cf. Tableau 20 et 21)

Tableau 20 : Groupes homogènes d'état de litière d'après le test de Tukey (α = 5%)

Régime	Moyenne	Groupes			
R5	4,3	a			
R15	4,2	a	b		
R10	3,8	a	b		
R6	3,2		b	c	
R9	2,7			c	d
R8	2,7			c	d
R7	2,5			c	d
R3	2,4			c	d
R1	2,3			c	d
R11	2,3			c	d
R2	2,3				d
R12	2,2				d
R4	2,1				d
R14	2,1				d
R13	1,7				d

Pour rappel, l'échelle de notation varie de 1 (litière très propre) à 5 (litière très sale). La note moyenne d'état des litières à J54 des régimes 5, 15 et 10 est significativement plus élevée de celle du régime témoin. Les litières de ces régimes sont donc significativement plus dégradées.

Le régime 6 est dans une situation intermédiaire en termes d'état de litière car il est dans le même groupe que le témoin R1 mais il est significativement différent des 5 régimes ayant les meilleures notes d'état de litière. Tous les autres régimes forment un groupe homogène avec une note d'état de litière variant de 2,7 (R9) à 1,7 (R13).

2.4.6. Récapitulatif des groupes homogènes avec le témoin

Même si certains régimes présentent numériquement des performances meilleures que le régime témoin, aucune de ces différences n'est significative. R15, R4, R2, R3, R10, R8 et R14 présentent un GMQ, un IC et un poids à J54 comparables au régime témoin. A noter que les notes d'état de litière de R15 et R10 sont significativement dégradées par rapport au témoin.

A l'inverse, R7, R5 et R11 présentent un GMQ, un IC et un poids à J54 significativement dégradés par rapport au témoin (Cf. Tableau 22).

Partie V. Discussion

1. Discussion du protocole expérimental

Cette première partie de discussion est consacrée à l'analyse du protocole expérimental. La question est de savoir si le dispositif mis en place a permis (1) d'obtenir les résultats souhaités et (2) de valider les hypothèses de recherche émises. De plus, cette partie permettra de connaitre sous quelles conditions et limites les résultats sont à recevoir et quelles sont les perspectives d'amélioration du protocole expérimental.

1.1. Dispositif général

Comme nous l'avons vu, afin de disposer de premiers résultats du programme de recherche AVIALIM BIO rapidement, il a été décidé de réaliser les premiers essais à l'INRA au plus vite. Ainsi, les premiers essais (qui font l'objet de ce rapport) ont porté sur une série de 11 MP. De nouveaux essais (évaluation de la valeur nutritionnelle + étude comparative de formules alimentaires) débuteront en octobre 2012 sur une seconde série de 11 MP.

Pour la première étude comparative de formules alimentaires effectuée, le fait d'avoir réalisé les essais en deux temps peut-être discuté. En effet, si l'évaluation des valeurs nutritionnelles de toutes les MP avait été effectuée au préalable, il aurait été possible de comparer des autres associations de MP présentant, au vu de leurs valeurs nutritionnelles, une complémentarité peut-être plus intéressante.

La décision de réaliser les essais en deux séries a été prise en fonction des contraintes calendaires du programme de recherche global et des contraintes du dispositif expérimental. Même si cette décision peut être discutée au seul niveau des essais déjà réalisés, elle est favorable au bon déroulement du programme dans sa globalité. De plus, il faut noter que lors de la seconde étude comparative de formules alimentaires (début d'année 2013), des associations de MP issues du panel complet de MP pourront être testées dans la limite du nombre de formules testées encore disponible (15 sur les 30 testées sur ce type d'essai dans le programme).

1.2. Essai 1 : Evaluation de la valeur nutritionnelle de matières premières biologiques chez (1) le poulet à croissance lente et (2) le coq

1.2.1. Intérêts et limites du choix d'une alimentation ad libitum

L'étude de la digestibilité des matières premières par collecte totale des fientes en situation d'alimentation ad libitum est une méthode reconnue et pratiquée à l'INRA depuis de nombreuses années. Seuls la souche et l'âge des animaux durant le bilan sur poulets à croissance lente diffèrent des essais réalisés couramment à l'INRA sur poulets à croissance rapide. Ceux-ci sont identiques aux autres essais réalisés à l'INRA du Magneraud sur poulets à croissance lente (LESSIRE et Al., 2011). Cette méthode a l'avantage de respecter au mieux la physiologie de l'animal (par rapport à la méthode avec gavage) mais elle peut poser problème en cas d'inappétence du régime (SAUVANT et Al., 2002), ce qui a été le cas pour un des régimes de l'essai sur poulets de chair. En effet, pour la formule contenant du tourteau de lin, les animaux ont fortement restreint leur alimentation au point qu'il n'a pas été possible de déterminer les valeurs de digestibilité de cette MP chez le poulet de chair. Pour obtenir ces valeurs, plusieurs solutions sont envisageables. Tout d'abord, il serait possible d'utiliser le même dispositif en diminuant le taux

d'incorporation du tourteau de lin dans la formule expérimentale qui était de 20%. En effet, des essais réalisés à l'INRA de Tours ont mis en évidence qu'au-delà de 20% d'incorporation de tourteau de lin dans les formules, la consommation des coqs diminuait de façon curvilinéaire (BUREAU et Al., 1997). En outre, le recours à une méthode par ingestion forcée (gavage) pourrait aussi palier le problème d'appétence de la MP.

1.3. Essai 2 : Etude comparative de formules alimentaires 100% biologiques chez le poulet entre 29 et 57 jours d'âge

L'étude comparative de formules alimentaires est aussi une méthode reconnue et pratiquée à l'INRA depuis de nombreuses années. Seuls des choix méthodologiques sur la souche et la période d'expérimentation considérée ont été réalisés et sont justifiés dans la présentation de la méthodologie. Le dispositif mis en place a permis d'avoir une excellente homogénéité des lots à 29 jours, cela était indispensable à l'interprétation des résultats sur la période expérimentale. Ce dispositif permet de tirer des conclusions sur la seule période étudiée (J29-J54).

1.3.1. Décision prise face aux quantités insuffisantes d'aliments expérimentaux

Lors de la période expérimentale, les animaux ont consommé beaucoup plus d'aliments que ce qu'il avait été prévu et donc fabriqué. Plusieurs options ont alors été envisagées :

1. Réaliser une seconde fabrication d'aliment : Cette option n'a pas été retenue pour des raisons d'approvisionnement en MP, de temps de travail et d'homogénéité des rations testées.
2. Rationner les animaux : Afin de ne pas introduire un biais dans l'analyse comparative des formules, cette option n'a pas été retenue. En effet, la consommation d'aliment n'étant pas homogène entre tous les régimes, nous pouvons supposer que le fait de rationner les animaux n'aurait pas eu les mêmes incidences sur les performances des animaux de tous les régimes.
3. Arrêter les essais plus tôt qu'initialement prévu : Cette option semblait la plus pertinente. En effet, même si elle nécessitait une réorganisation dans le planning des agents de l'INRA (jour de pesée différent), elle n'entrainait pas ou peu d'effets sur les résultats. C'est donc cette option qui a été choisie et l'évaluation des formules alimentaire a été réalisée sur 25 jours au lieu des 28 initialement prévus. Cela n'a pas eu d'incidences sur la comparaison des résultats entre les différentes formules. Cependant, il sera nécessaire de considérer la même période expérimentale sur l'essai parquet suivant.

<u>Tableau 23 :</u> Puissance d'un test de Student de comparaison de deux moyenne réalisé sur l'IC en fonction du nombre de répétitions (variabilité intra-groupe = 0,05)

Delta (Différence que l'on veut détecter) \ Nombre de répétitions	3	6
0,05	15,7%	34,7%
0,1	**46,3%**	**87,6%**
0,15	78,2%	99,6%
0,2	94,8%	100%

<u>Tableau 24 :</u> Effet d'une variation de 0,1 point d'IC sur la MPA moyennes des lots

	Références Grand-Ouest 2010/2011*	Impacts d'une variation d'IC	
I.C. technique	3,062	2,962 (- 0,1 point)	3,162 (+ 0,1 point)
Coût poussin (€/m²)	2,24	Identique	
Coût alimentaire (€/m²)	36,52	35,33 (-3,3%)	37,71 (+3,3%)
Recettes (€/m²)	55,85	Identique	
MPA (€/m²)	**17,1**	**18,3 (+6,9%)**	**15,9 (-7,0%)**

** Références sur 87 lots de poulets biologiques élevés en bâtiments fixes issues des résultats de l'enquête avicole réalisée auprès des aviculteurs du Grand-Ouest (DEZAT, 2011)*

1.3.2. Intérêt de la réalisation d'une répétition du dispositif

Durant l'étude, nous avons obtenu en fonction des données 75 données individuelles (données sur le poids des animaux) ou 3 données parquets (données sur la consommation des animaux dont l'IC) par régime. Il était initialement prévu de réaliser une répétition du dispositif global mais il est actuellement envisagé de réaliser à la place un essai sur 15 nouvelles formules. La question est alors de savoir si le dispositif est assez puissant pour mettre en évidence une différence entre traitement expérimentaux notamment une différence d'IC pour laquelle nous disposons seulement de 3 données par régime. La puissance d'un test est un bon indicateur du nombre d'individus statistiques nécessaires vis-à-vis de l'amplitude de différence que l'on veut détecter. Une puissance minimale de 80 % est à rechercher (c'est-à-dire 80 % de chance de détecter une différence si elle existe). Dans notre essai, nous avons utilisé le test de comparaison multiple de moyennes à posteriori de Tukey. Ce test est dit « conservateur » puisqu'il utilise un risque de 1ère espèce réel inférieur au risque choisi. Il a donc tendance à rejeter l'hypothèse d'égalité des moyennes (H_0) plus difficilement que prévu théoriquement. Ce test est moins puissant que le test SNK (Student Newman Keuls) mais il contrôle beaucoup mieux le risque d'erreur de l'ensemble. Afin d'avoir une idée de la puissance des tests réalisés, nous regardons celle d'un test de Student de comparaison de 2 moyennes appliqué à notre dispositif (Cf. Tableau 23). Avec 3 répétitions, la puissance de ce test est de 78,2% pour un delta de 0,15. Avec 6 répétitions, la puissance est de 87,6% pour un delta de 0,1. Or nous savons que la puissance de ce test est supérieure à celle du test réalisé de Tukey. On peut donc en conclure qu'avec la méthodologie déployée, **nous avons moins de 78,2 % de chance de détecter une différence d'IC de 0,15.** En outre, nous avons vu que le poste alimentation représente près de 80 % des charges opérationnelles d'un atelier avicole biologique. Par conséquent, une légère différence sur l'IC peut avoir un impact important sur la marge financière. Une simulation des effets d'une variation de l'IC sur la Marge Poussin-Aliment (MPA) est présentée dans le tableau 24. Elle indique qu'une variation de 0,1 point de l'IC fait varier la MPA d'environ 7%. L'objectif de détecter au minimum une différence d'IC de 0,1 semble approprié. Pour cela, la réalisation de 6 répétitions au minimum est nécessaire. La seconde étude comparative de formules alimentaires devra donc être un compromis entre la maximisation du nombre de formules différentes testées et la puissance des tests réalisés.

1.3.3. Les essais et le mode de production en AB : similitudes et dissimilitudes

Bien que cet essai soit un bon indicateur de la réponse des animaux vis-à-vis d'un régime alimentaire 100% biologique, il ne reflète pas fidèlement le mode d'élevage biologique. En effet, même si le dispositif vise à s'en rapprocher le plus possible (utilisation de souche à croissance lente, alimentation biologique, densité d'élevage selon cahier des charges biologique, etc.), les animaux n'ont pas accès à un parcours extérieur. Or nous avons vu qu'il existe une forte variabilité des besoins nutritionnels des poulets de chair qui est fonction de la souche, de l'âge, du sexe et de l'environnement (climat, conditions d'exploration du parcours, etc.) (ANTOINE, 2009). Nous pouvons donc supposer que les réponses observées seraient différentes dans le cas où les animaux auraient un accès à un parcours extérieur. Permettre l'accès à un parcours extérieur aux animaux dans le dispositif tel qu'il est aujourd'hui serait impossible (nécessite 45 mini-parcours homogènes aux abords du bâtiment). Ce dispositif a l'avantage de pouvoir tester en simultanée un nombre de formules avec 3 répétitions important (15 formules * 3 répétitions). Il est donc un bon préalable à la réalisation d'essais en mode de production biologique (avec accès à un parcours) sur un nombre plus restreint de formules.

Tableau 25 : Comparaison intra MP des valeurs nutritionnelles analysées et calculées

	MAT	Cendres	MG	EMAn	CUD_{MS}	CUD_N
Tourteau de soja	+++	+	++	++	++	+++
Tourteau de tournesol	+	+	+++	+	+	++
Tourteau de colza	++	+	+++	+	++	+
Tourteau de lin	+++	+	+++	+ (coq)	+ (coq)	-- (coq)
Tourteau de chanvre	++	+	+++	+	++	++
Concentré protéique de luzerne	+++	++	NR	++	++	-
Concentré protéique de riz	+++	--	-	+++	+++	-
Ortie plante entière	-	+++	-	-	--	-
Lactosérum	--	++	--	+++ (poulet) + (coq)	+++ (poulet) ++ (coq)	+++ (poulet) + (coq)

Légende : --- Faible → Teneur → +++ Elevée

2. Discussion sur les résultats obtenus

2.1. Essai 1 : Evaluation de la valeur nutritionnelle de matières premières biologiques chez (1) le poulet à croissance lente et (2) le coq

Une comparaison intra MP des valeurs nutritionnelles analysées et calculées est présentée dans le tableau 25**. Dans notre essai, le tourteau de soja ressort comme la MP la plus intéressante de la série** de MP vis-à-vis de sa teneur en MAT et de ses CUD_N. En effet, bien que les concentrés protéiques de luzerne et de riz présentent des teneurs en MAT supérieures au tourteau de soja, leur CUD_N est nettement inférieur.

Le tourteau de lin est le 2nd tourteau le plus riche en MAT de la série (après le soja). Cependant, cette MP a fourni des résultats décevants puisqu'elle n'a pas ou peu été consommée par les poulets et présente un CUD_N faible chez le coq. Cela est en accord avec les résultats de l'étude mené par BUREAU et Al. (1997), selon lesquels le tourteau de lin est une MP de faible qualité pour l'alimentation des volailles. C'est la teneur en cyanogènes (facteurs antinutritionnels) du lin qui semble expliquer ces résultats. A noter que ceux-ci peuvent-être détruits par un traitement thermique approprié. De la même manière, l'ortie séchée a fourni des résultats décevants. Cette MP est bien consommée par les animaux mais elle est peu énergétique et peu digeste. La forte teneur en matière minérale peut expliquer en partie ces résultats. Globalement, **le tourteau de lin et l'ortie plante entière tels que nous les avons testés ne présentent pas ou peu d'intérêt dans l'alimentation des volailles.**

Les tourteaux de tournesol, de colza et de chanvre ont quant à eux présenté des résultats tout à fait satisfaisants. La teneur en MAT du tourteau de colza est intéressante (31,8% sur MS) mais son CUD_N (75,7% chez le poulet) est relativement faible vis-à-vis des autres tourteaux. A l'inverse, le tourteau de tournesol a une teneur en MAT plus faible (environ 26,8% sur MS) mais la digestibilité de l'azote par les poulets y est supérieure (environ 80,9%). Le tourteau de chanvre, pour lequel peu de références existent, semble être un bon compromis entre ces 2 derniers tourteaux. En effet, sa teneur en MAT (31,7%) est comparable à celle du tourteau de colza et le niveau de digestibilité de l'azote de 81,8% est comparable à celui du tourteau de tournesol. A noter que concernant le tourteau de colza, les valeurs EMAn obtenues ne sont pas en accord avec les équations de prédiction établies par LESSIRE et Al. (2009b) lors de leurs travaux sur les tourteaux de colza partiellement déshuilés. En effet, ces équations prédisent sur la base de la teneur en lipides du tourteau une valeur EMAn coq de 2679 Kcal/kg de MS et EMAn poulet de 2291 Kcal/kg de MS. Les valeurs calculées dans l'essai sont de respectivement 2810 et 2722 Kcal/Kg de MS (soit une différence de 131 Kcal chez le coq et 431 Kcal chez le poulet). Cette différence peut être liée à la souche des animaux. En effet, les équations de prédiction ont été déterminées à partir d'animaux de souche à croissance rapide alors que nos essais portaient sur des animaux de souche à croissance lente. Cela serait en accord avec les résultats obtenus par LESSIRE et Al. (2011), selon lesquelles les poulets à croissance lente valoriseraient mieux les aliments (EMAn et CUDn supérieurs) que ceux à croissance rapide.

Le lactosérum est la MP qui présente la plus faible teneur en protéines dans notre série de MP testées. Cependant, en accord avec les données de SAUVANT et Al. (2004), il semble que ce soit une MP très énergétique et très digestible pour les poulets. Pour le coq, le lactosérum est ressorti comme étant moins énergétique. Cela va à l'encontre des résultats de WISEMAN et LESSIRE (1987) et des résultats de la majorité des autres MP testées dans cet essai pour lesquels les valeurs énergétiques mesurées chez le poulet sont plus faibles que celles mesurées chez le coq. A noter que dans nos essais, la présence de lactosérum (ou d'ortie) dans les formules tend à augmenter la consommation en eau des animaux (au prorata de la consommation d'aliment). D'après FRANCESCH (2005), cela a des chances d'avoir des répercussions négatives sur la qualité

Tableau 26 : Comparaison des résultats obtenus avec les valeurs tables INRA 2002 (sauf mention contraire)

	MAT (% MS)		MG (%MS)		EMAn (Kcal / kg de MS)			
					Coq		Poulet	
	Valeurs tables	Valeurs Essai	Valeurs tables	Valeurs Essai	Valeurs tables	Valeurs Essai	Valeurs tables	Valeurs Essai
Tourteau de soja	49,4	45,5	1,94	9,06	2568	3304	2523	3097
		45,4		4,66		3242		3122
Tourteau de tournesol	31,2	28,2	2,25	12,97	1522	2499	1488	2344
		25,4		16,90		2683		2597
Tourteau de colza	38,0	31,8	2,59	12,79	1646	2810	1590	2722
Tourteau de lin	34,2	40,6	8,96	12,15	1471	2519	NR	NR
Tourteau de chanvre*	28,6	31,7	12,40	14,13	NR	2692	NR	3135
Conc. protéique de luzerne	54,7	52,3	9,04	NR	2919	3530	2919	3267
Conc. protéique de riz*	79,0	49,0	6,80	3,83	NR	3790	NR	3765
Ortie plante entière**	24,1	17,3	NR	2,79	NR	1094	NR	1059
Lactosérum	9,9	9,6	2,14	1,77	NR	2834	NR	3902

*Sources : * Feed Base ; ** CTA* *NR : Non renseigné*

Tableau 27 : Récapitulatif des valeurs nutritionnelles des tourteaux de soja et de tournesol

		Tourteaux de soja			Tourteaux de tournesol		
		MP 1	MP 11	Effet MP	MP 2	MP 8	Effet MP
MS (%)		90,6	90,4		92,3	92,8	
MAT (% sur MB)		45,5	45,4		**28,2**	**25,4**	
Cendres (% sur MB)		6,5	6,6		5,6	5,4	
MG (% sur MB)		**9,06**	**4,66**		**12,97**	**16,90**	
EMAn (Kcal/ kg MS)	Coq	3304	3242	NS	2499	2683	**
	Poulet	3097	3122	NS	2344	2597	*
CUD_{MS} (%)	Coq	42,39	40,75	NS	26,09	27,43	NS
	Poulet	47,60	49,65	NS	30,78	32,98	NS
CUD_N (%)	Coq	86,20	84,63	NS	79,61	75,80	NS
	Poulet	85,90	85,37	NS	80,34	81,55	NS

*NS = Non significatif / * = Effet significatif / ** = Effet très significatif / *** = Effet hautement significatif*

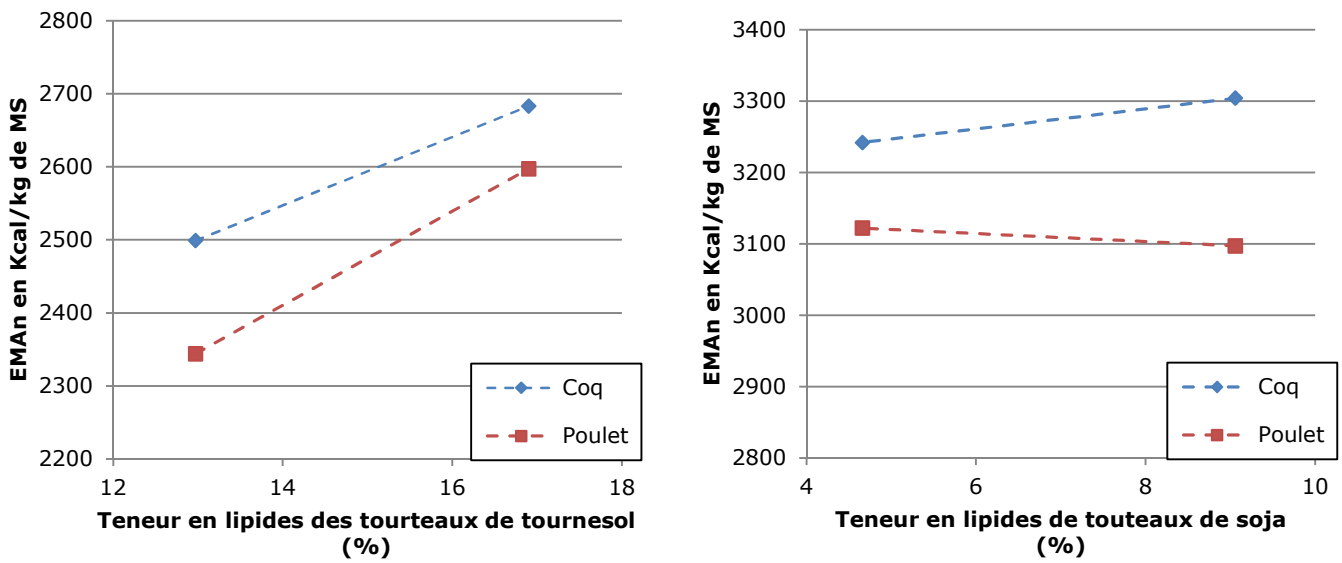
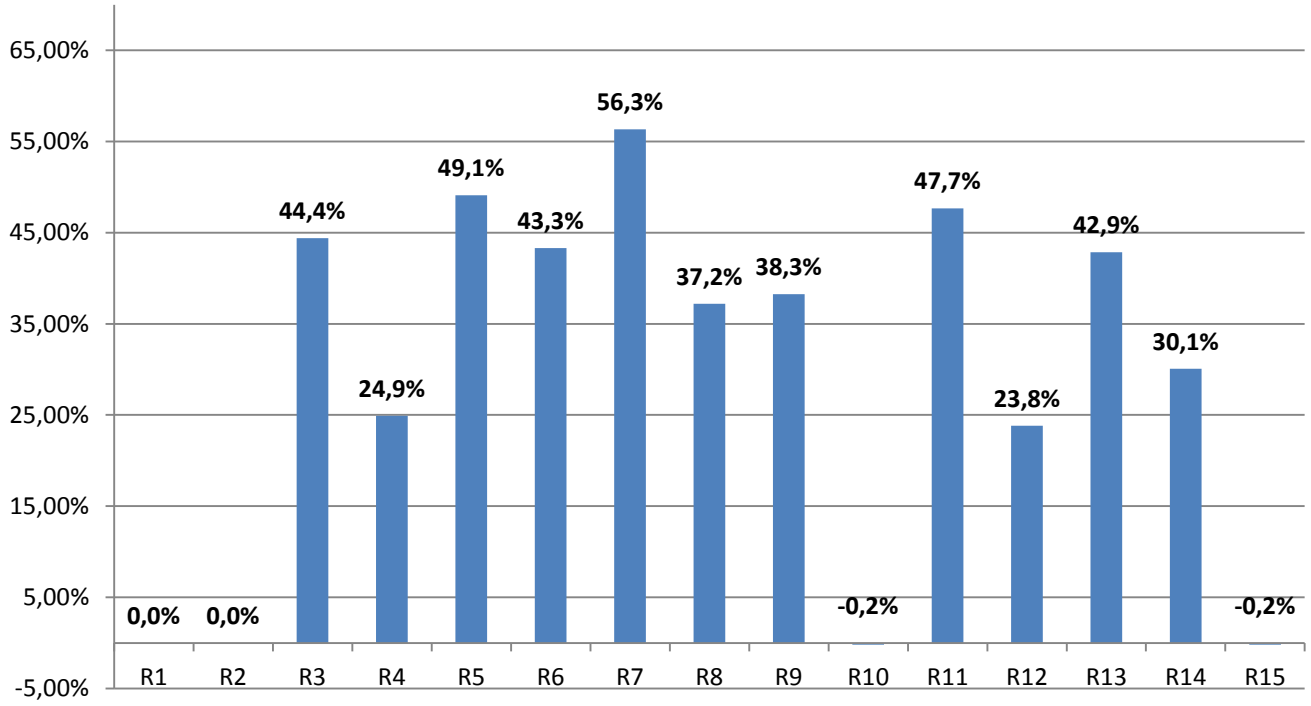


Figure 17 : EMAn calculées des tourteaux de soja et de tournesol en fonction de leurs teneurs en lipides

des excrétas et par conséquent sur la qualité de la litière. Or le maintien d'une litière de qualité est très important en production avicole (problèmes environnementaux, sanitaires et d'élevage). Dans les conditions de l'essai, l'hypothèse 1 « Les MPRP identifiées présentent un profil nutritionnel intéressant pour l'alimentation des volailles » a donc pu être validée ou invalidée selon les MP.

Afin de vérifier l'hypothèse 2 « Les valeurs nutritionnelles des MP biologiques sont différentes des mêmes MP conventionnelles », nous comparons les valeurs obtenues avec celles des valeurs tables (Cf. Tableau 26). Nous pouvons voir que les tourteaux biologiques analysés présentent une teneur en MG plus élevée que leur homologue conventionnel (jusqu'à 14,65 points d'écart pour un des tourteaux de tournesol). Cette plus grande richesse en lipides peut s'expliquer par la différence de process utilisé (extraction de l'huile par solvant interdite en AB). A l'instar de la teneur en MG, la teneur en EMAn des tourteaux analysés est largement supérieure aux références tables (jusqu'à 1164 Kcal/kg de MS de différence). Cela confirme les données de LESSIRE et Al. (2009a) selon lesquelles, les valeurs énergétiques seraient fonction principalement de la teneur en lipides résiduels des MP. En outre, nous avons vu dans la bibliographie que lorsque la teneur en MG augmente, il y avait une diminution de la teneur en MAT des MP. Cela est vérifié pour les tourteaux de soja, de tournesol et de colza testés (entre -3 et -6,2 points). A l'inverse, la teneur en MAT des tourteaux de lin (+6,4 points) et de chanvre (+3,1 points) biologiques analysés est plus élevée que leur équivalent conventionnel. Concernant les concentrés protéiques et l'ortie, leur teneur en MAT est inférieure aux références conventionnelles (-2,4 points pour la luzerne, -20 points pour le riz et -6,8 points pour l'ortie). Cette différence pourraient s'expliquer par une différence de process pour les concentrés protéiques et au stade de végétation pour l'ortie. Concernant notre panel de MP et dans les conditions de notre essai, nous pouvons conclure que **les valeurs nutritionnelles des MP issues de l'AB sont différentes des mêmes MP conventionnelles.** A noter, que nous n'avons pas comparé ici les valeurs nutritionnelles du lactosérum puisque celui analysé est issu de la filière conventionnelle. Il présente une teneur en MAT 0,3 point supérieure à celle des tables.

Pour finir, les essais réalisés sur 2 tourteaux de tournesol vont dans le sens de **l'existence d'une variabilité intra MP des valeurs nutritionnelles** (hypothèse 3). En effet, l'étude a mis en évidence des différences statistiquement significatives entre les 2 tourteaux de tournesol analysés (EMA_n chez le coq et le poulet) (Cf. Tableau 27). Le process de trituration est certainement en grande partie à l'origine de ces différences. En effet, les différences EMA_n constatées peuvent être mises en relation avec la différence de teneur en MG des tourteaux de tournesol (3,9 points d'écart). Les lipides étant une source importante d'énergie (JEAN-BLAIN, 2002), plus la teneur en MG du tourteau de tournesol est élevée, plus la valeur d'EMA_n est élevée (Cf. Figure 17). A l'inverse, il faut remarquer que l'EMA_n poulet pour le tourteau de soja est, de façon surprenante, plus élevée pour le tourteau présentant la teneur en MG la plus faible (pour une teneur en MAT et en cendres comparables). Nous ne disposons pas des éléments d'explications pour cette observation. Nous pouvons émettre l'hypothèse que le 2ème tourteau de soja (MP11) serait issu d'une trituration de graines de soja dépelliculées. En effet, d'après les observations de QUINSAC et Al. (2005) le depelliculage entraine une augmentation de la teneur en MAT, une augmentation de la teneur en lipides et une diminution de la teneur en parois végétales des tourteaux. Dans notre cas, le 2ème tourteau présente, au prorata de la teneur en lipides, un taux de MAT plus élevé que le 1er (effet dilution du taux de MAT non observé). De plus, il existe une relation négative qui associe les teneurs en énergie des aliments et en parois végétales (CARRE et ROZZO, 1990), ce qui pourrait expliquer que le 2nd tourteau moins riche en lipides ait une teneur en EMAn supérieure. Cependant, cela irait à l'encontre du sens d'évolution de l'EMA_N coq qui est plus élevé pour le tourteau présentant la teneur en lipides la plus grande. Sur ce point, il faut noter que QUINSAC et Al. (2005), ont observé dans leur essai que des tourteaux issus de graines dépelliculées présentaient des EMA_n coq inférieures à ceux issus de graines entières. Pour éclaircir ce point, il serait nécessaire de réaliser une analyse de la teneur en parois végétales des 2 tourteaux.



<u>Figure 18 :</u> Taux de substitution du tourteau de soja (%) dans les formules expérimentales

2.2. Essai 2 : Etude comparative de formules alimentaires 100% biologiques chez le poulet entre 29 et 57 jours d'âge

Les formules expérimentales testées présentaient un taux de substitution du tourteau de soja biologique compris entre 0 et 56,3% (Cf. Figure 18). Les 3 régimes ayant le taux de substitution au soja le plus élevé ont abouti à des performances techniques (GMQ, IC et poids à J54) significativement dégradées par rapport au régime témoin. Dans l'ordre de performances techniques croissantes, il s'agit des régimes :

- R11 composé de **10% de concentré protéique (CP) de luzerne**
- R5 composé de **6% de CP de luzerne** et 10% tourteau de tournesol
- R7 composé de **5% CP de luzerne**, 6,83% tourteau de colza et 5% tourteau de tournesol

Globalement, plus le taux d'incorporation du CP de luzerne dans les rations testées est élevé (à partir de 5%), plus les performances des animaux sont dégradées. Cela semble confirmer les résultats de SALICHON et BLUM (1994) qui ont montré qu'au-delà de 4% d'incorporation de cette MP dans les rations, le GMQ des animaux diminuait. Il faut cependant noter que le régime R12 composé de **5% de CP de luzerne** a abouti à un IC et à un poids à 54 jours comparables au régime témoin (seul le GMQ était significativement dégradé). Globalement, concernant le CP de luzerne, le seuil d'incorporation maximum de 4% semble être vérifié.

Le régime 3 composé de **4% de CP de riz et 8,57% de tourteau de colza** est le régime aboutissant à des performances comparables au témoin ayant le plus fort taux de substitution du soja (44,4%). Notre essai permet donc de valider l'hypothèse 4 selon laquelle il est possible de réaliser des formules 100% biologiques (1) limitant l'utilisation de soja biologique et (2) aboutissant à des résultats techniques comparables à une formule base soja. De plus, concernant le CP de riz, plusieurs associations et taux d'incorporation ont été testés. Ainsi les régimes R8 composé de **1,59% de CP de riz**, 5% de tourteau de tournesol et 5% de tourteau de colza et R14 composé de **4,08% de CP de riz** donnent aussi des performances techniques comparables au témoin. Par contre, les régimes R6 (**6,5% de CP de riz** et 10% tourteau de tournesol), R9 (**6% CP de riz et** 7,23% d'ortie) et R13 (**10% de CP de riz**) présentent certains critères de performances techniques significativement dégradés par rapport au régime témoin. Un seuil maximum d'incorporation aux alentours des 4% semblent être recommandé pour le CP de riz.

Quatre formules font partie d'un groupe de tête présentant les meilleurs performances techniques comparables voire numériquement supérieures au témoin. Il s'agit des régimes :

- R 2 composé de **27,7% de tourteau de soja d'origine différente**
- R 15 composé de **5,7% de lactosérum**
- R 10 composé de **5,7% d'ortie**
- R 4 composé de **10 % de tourteau de chanvre**

Trois de ces régimes (R2, R 10 et R15) ne diminue pas l'incorporation du soja. En effet, R2 présente la même composition que R1 à la différence que les tourteaux de soja utilisés ne sont pas de la même origine. Dans nos essais, il n'y a pas eu d'effet de l'origine du tourteau sur les performances techniques des animaux. De plus, dans R10 et R15, il y a substitution d'une partie des céréales par une MP ayant une faible teneur en protéines (ortie ou lactosérum). Ces formules ont donc une teneur en MAT calculée plus importante que le régime témoin. L'introduction de lactosérum dans les formules, améliore numériquement la consommation des animaux, le GMQ et l'IC par rapport au témoin. Cependant, comme nous pouvions-nous y attendre vis-à-vis des résultats de l'essai 1, l'introduction de ces MP provoque une détérioration significative de la qualité des litières. La légère augmentation de la teneur en protéines des rations peut expliquer ce phénomène puisque d'après LARBIER et LECLERCQ (1992), l'augmentation de la teneur en protéines brutes des aliments d'un point provoquerait une augmentation de la consommation d'eau de 3% en moyenne.

Le régime composé de **10% de tourteau de chanvre** (R4) a abouti à des résultats très satisfaisants. En effet, la consommation d'aliment, le GMQ et le poids atteint par les animaux à J54 ont été numériquement supérieurs au témoin. L'incorporation de 10% de tourteau de chanvre permet de diminuer de 6,9 points l'incorporation de tourteau de soja dans la ration. A l'instar des résultats d'essais menés en filière porcine (SERUP, 2010), le tourteau de chanvre semble être une source de protéines de qualité pour l'alimentation des volailles. Les résultats de cet essai encouragent la réalisation d'investigations supplémentaires (à des taux d'incorporation supérieurs à 10%) sur cette MP mal-connue.

3. Perspectives de travail

Dans la première partie de la discussion, nous avons vu les perspectives d'amélioration du dispositif mis en place. Vis-à-vis des résultats obtenus, nous nous intéressons maintenant aux perspectives de travail sur cette problématique.

Tout d'abord la réalisation prévue des mêmes essais sur une seconde série de 11 MP permettra d'enrichir le nombre de MPRP caractérisées qualitativement et le nombre de formules testées. Au niveau du choix des MP :

- L'ortie séchée et le tourteau de lin ont présenté des valeurs nutritionnelles décevantes ou ont posé problème lors de cet essai. Il pourrait être intéressant de réaliser les mêmes essais sur (1) du tourteau de lin ayant subi un traitement thermique afin de limiter sa teneur en FAN (cyanogènes) et (2) un concentré protéique d'ortie (du même type que le CP de luzerne).
- Multiplier les analyses sur des tourteaux de soja et de tournesol permettrait d'établir des équations de prédiction de la teneur en EMAn des tourteaux en fonction de leur teneur en lipides (à l'instar des équations prédites par LESSIRE et Al. (2009a) pour les tourteaux de colza déshuilés). Ce travail est indispensable à une meilleure prise en compte de la variabilité existante intra MP lors de la formulation d'aliments et à une meilleure réflexion sur la substitution du soja dans les rations.
- Vis-à-vis des résultats obtenus, il serait intéressant de tester de nouvelles associations et de nouveaux taux d'incorporation du tourteau de chanvre. De plus, il faudrait continuer les investigations sur les taux d'incorporation d'autres MP.

Pour aller plus loin dans la caractérisation qualitative des MP, il serait possible de calculer la disponibilité (digestibilité) des acides aminés. Une méthode de calcul de la digestibilité in vivo des acides aminés existent. Elle consiste à réaliser un bilan digestif où l'on mesure pour chaque acide aminé les quantités ingérées et les quantités excrétées au niveau fécal (SAUVANT et Al., 2002). Cette méthode est assez onéreuse puisqu'elle nécessite de réaliser des aminogrammes sur tous les échantillons d'aliments et de fientes.

De plus, comme nous l'avons vu, les formules ont été testées selon des conditions d'élevage proches de l'AB mais sans accès à un parcours extérieur et sur une période d'élevage donnée (entre J29 et J54). Afin de valider la faisabilité d'une alimentation 100% biologique techniquement performante, il faudrait réaliser des essais dans les conditions strictes de l'AB et sur toute la durée d'élevage des animaux. A noter que cela est prévu en 2013 sur la plateforme AlterAvi de l'INRA du Magneraud. Cette plateforme est composée de 8 bâtiments de 70 m² conduits et valorisés en AB.

Pour finir, nous nous sommes intéressés jusqu'à maintenant qu'au seul impact technique des formules 100% biologique. Il serait intéressant et même indispensable d'évaluer l'impact économique des rations testées. En effet, même si une formule 100% biologique est performante techniquement et que les résultats économiques sont fonction des résultats techniques, l'intérêt technique d'une MP ou d'une association de MP sera validé par leur coût. Cette approche économique est prévue dans un autre volet du programme de recherche AVIALIM BIO.

Conclusion générale

Lors de cette étude, inscrite dans le 1er volet du programme de recherche AVIALIM BIO, les objectifs annoncés ont été atteints. En effet, plusieurs matières premières riches en protéines potentiellement intéressantes pour l'alimentation 100% biologique des volailles ont été identifiées et caractérisées qualitativement. De plus, la faisabilité d'une alimentation 100% biologique performante techniquement sur le stade croissance des animaux (29 à 54 jours d'âge) a été prouvée. Cependant, ce premier travail a aussi mis en évidence (1) les difficultés de trouver des solutions pour le passage à une alimentation 100% biologique et (2) la nécessité de réaliser des investigations supplémentaires sur le sujet.

Il est indispensable pour tous les acteurs de la filière avicole française de trouver des solutions techniquement et économiquement performantes vis-à-vis de cette problématique, et ce afin de ne pas détériorer la compétitivité des élevages français déjà mise à mal. En effet, même si la France est actuellement au 1er rang sur la filière avicole biologique, le constat est que la compétitivité des élevages français s'effrite. Cela est notamment dû aux distorsions de concurrence qui peuvent exister entre les différents pays Européens concernant l'interprétation de la réglementation (MAGDELAINE & RIFFARD, 2010). La prolongation de 3 ans (du 1er janvier 2012 au 1er janvier 2015) de la dérogation sur l'utilisation de 5% de matières premières conventionnelles accorde un peu plus de temps pour explorer de nouvelles pistes et trouver des solutions satisfaisantes.

Bibliographie

- AGENCE BIO, 2011. L'agriculture biologique – Chiffres clés. Edition 2011. 243 p.
- ANDi, 2010. Mission d'appui technique en vue de la structuration et du développement des filières grandes cultures en agriculture biologique avec un focus sur l'alimentation animale à horizon 2012. AND pour Agence Bio, 75 p.
- ANTOINE D., 1984. L'élevage biologique de la poule pondeuse. Ed. Terre Vivante, Paris, 1984, 173 p.
- ANTOINE D., 2009. Optimiser son système d'alimentation. In Cahier technique : Produire du poulet de chair en AB, Techn'ITAB, ITAB, pp. 12-13
- ANTOINE D., 2010. Equilibrer l'alimentation. In Cahier technique : Produire des œufs biologiques, Techn'ITAB, ITAB, pp. 15-21
- AZIZA A A.E., QUEZADA N. et CHERIAN G., 2010. Feeding Camelina sativa meal to meat-type chickens : Effect on production performance and tissue fatty acid composition
- BLUM J.C. et Al., 1989. L'alimentation des animaux monogastriques : porc, lapin, volailles. 2ème édition, INRA, Paris, 1989, 282 p.
- BMO, 2006. Projet d'extraction et transformation de la crépidule en rade de Brest. Rapport d'étude dirigée par GLEMAREC J.P. pour Brest Métropole Océane, 2006, 45 p.
- BOESSINGER M., GERBER G. et WYSS U., Les drêches de brasserie, un aliment protéique intéressant. Revue UFA, Avril 2005, pp. 51-58
- BORGIDA L.P., 2005. Alternative meat chicken production; is our nutritional knowledge sufficient for their further development in EU? Proceedings of the 15th European Symposium on poultry nutrition, Balatonfüred, Hungary, 25-29 September, 2005, pp. 116-125
- BOUAFOU K. G. M., KONAN B., MEITE A., KOUAME K.G., KATY-COULIBALLY S., 2011. Détermination du taux optimal de farine d'asticots séchés dans le régime du rat en croissance. Journal of Animal & Plant Sciences, 2011. Vol. 12, Issue 2: 1553-1559
- BOUAFOU K.G.M., KOUAME K.G. et OFFOUMOU A.M., 2007. Bilan azoté chez le rat en croissance de la farine d'asticots séchés. TROPICULTURA, 2007, 25, 2, 70-74
- BUREAU J., EVRARD J., BURGHART P., LESSIRE M., RUDEAUX F., 1997. Valeurs alimentaires des tourteaux et graines de lin pour la volaille. 2ème Journées de la Recherche Avicole, 1997, pp.37-39
- CARRE B. et ROZO E., 1990. La prédiction de la valeur énergétique des matières premières destinées à l'aviculture. INRA Prod. Anim., 1990, 3(3), 163-169
- CREVIEU-GABRIEL I., 1999. Digestion des protéines végétales chez les monogastriques. Exemple des protéines de pois. INRA Prod. Anim., 1999, 12(2), 147-161
- CTA, 2005. Développement d'une nouvelle culture fourragère protéique : la Grande Ortie. Rapport d'activité final du projet, Strée (Belgique), juillet 2005, pp. 50-55
- DEFRA, 2006. Organic egg production – a sustainable methode for meeting the organics hen's protein requirements. Research project final report, 25 p.

- DEZAT E., 2011. Résultats de l'enquête avicole 2010/2011 – Enquête réalisée auprès des aviculteurs du Grand-Ouest. Pôle porc-aviculture des Chambres d'Agriculture de Bretagne, Novembre 2011, p. 42
- DUPETIT C., 2011. Etat des lieux des besoins des filières animales monogastriques biologiques et potentialités de production en légumineuses à graines biologiques en vue du passage à une alimentation issue à 100% de l'Agriculture Biologique. Rennes : Agro Campus Ouest, Mémoire de fin d'étude d'ingénieur Agronome
- DUTE J., 2011. La grande ortie : de la plante sauvage à la plante cultivable. Synthèse Bibliographique, Chambre Régionale d'Agriculture des Pays de la Loire, Mars 2011, 13 p.
- ELWERT C., KNIPS I. et KATZ P., 2010. A novel protein source : Maggot meal of the Black Soldier fly (hermetia illucens) in broiler feeed. [Acte de colloque] Tagung schweine - und geflügelernährung, Wittenberg, 23 -25 Novembre 2010, pp. 140-142
- FOUCHER F., 2009. Objectif 100% bio, la profession s'intérroge. Biofil, n°66, pp. 37-38
- FRANCESCH M., 2005. Facteurs nutritionnels modifiant l'humidité et la qualité des excrétas et de la litière en volailles. Sixièmes Journées de la Recherche Avicole, St Malo, 30 et 31 mars 2005, pp. 146-153
- GADOUD R., JOSEPH M.M., JUSSIAU R., LISBERNEY M.J., MANGEOL B., MONTMEAS L. et GREGOIRE R., PAGE F. et SAUVESTY A., 2004. Valeur nutritive de la farine de lombriciens de l'espèce Eisenia fetida pour l'alimentation du poulet. Agrosol, Compte rendu de recherche en agroenvironnement, juin 2004, vol. 15, n°1, pp. 43-52
- GUEMENE D., GERMAIN K., AUBERT C., BOUVAREL I., CABARET J. , CHAPUIS H., CORSON M., JONDREVILLE C., JUIN H., LESSIRE M., LUBAC S., MAGDELAINE P. et LEROYER J., 2009. Les productions avicoles biologiques en France : état des lieux, verrous, atouts et perspectives, Inra Prod. Anim., 2009, 22(3), pp. 161-178.
- GUILLEVIC M., MAIRESSE G. , WEILL P., GUIBERT J.M. et CHESNEAU G., 2010. Un apport en graines de lin extrudées chez le poulet et la dinde participe à l'amélioration de la qualité nutritionnelle de la viande. 13èmes Journées "Sciences du Muscle et Technologie des Viandes», Clermont-Ferrand, Octobre 2010, pp. 51-52
- JEAN-BLAIN C., 2002. Introduction à la nutrition des animaux domestiques. Editions Tec&Doc, Paris, 2002, 424 p.
- LAISSUS B. La Lombriculture. Paris, 1985, 63 p.
- LARBIER M., LECLERCQ B., 1992. Nutrition et alimentation des volailles. INRA. Paris, 1992, 355 p.
- LEBAS F. et OUHAYOUN J. 1984. Valeur d'usage du tourteau de chènevis dans l'alimentation du lapin en engraissement [en ligne]. Disponible sur http://www.chanvre-info.ch. Consulté le 15.02.2012
- LESSIRE M., HALLOUIS J.M., HERVE J., ROUSSEAU P. et GERMAIN K., 2011. Effet du génotype, du sexe, de l'âge et du mode d'élevage sur la digestibilité d'aliments certifiés biologiques. Neuvièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, 29 et 30 mars 2011, pp. 270-274
- LESSIRE M., HALLOUIS J.M., QUINSAC A., PEYRONNET C. et BOUVAREL I., 2009a. Influence du mode d'obtention du tourteau de colza : pression à froid, à chaud ou extraction à l'hexane sur les performances de croissance, la composition corporelle et le poids des thyroïdes chez le poulet de chair. Actes des 8èmes journées de la recherche avicole, St Malo, 2009, pp. 191-195

- LESSIRE M., HALLOUIS J.M., QUINSAC A., PEYRONNET C. et BOUVAREL I., 2009b. Valeurs énergétique et azotée des nouveaux tourteaux de colza obtenus par pressage; comparaison entre coq et poulet. Huitièmes Journées de la Recherche Avicole, St Malo, 25 et 26 mars 2009, pp.249-253
- MAGDELAINE P. et RIFFARD C., 2010. Analyse comparée des dynamiques des filières avicoles biologiques au sein de l'Union Européenne. Rapport de synthèse, ITAVI, Juin 2010, 41 p.
- OUJIFARD A., SEYFABADI J., KENARI A.A. et REZAEI M., 2012. Fish meal replacement with rice protein concentrate in a practical diet for the pacific white shrimp, Litopenaeus vannamei Boone, 1931. Aquacult Int (2012) 20 :117-129
- PALLESEN B. E., 2010. Hemp as organic protein source for pigs and poultry. Presentation held at the Eco Amino Conference, Koldaergaard, November 4, 2010
- QUINSAC A., BOUVAREL I., BUFFO P., BURGHART P., CARRE P., DUROUEIX F., EVRARD J., LARROUDE P., LEROUX Y., LESSIRE M., LOISON J.P., METAYER D., PAGES X. et RAIMBAULT J., 2005. Intérêt de différents tourteaux de soja partiellement déshuilés par extrusion-pression, pour l'élevage de poulets « label ». Sixièmes Journées de la Recherche Avicole, St Malo, 30 et 31 mars 2005, pp. 297-301
- RYHÄNEN E.L., PERTTILÄ S., TUPASELA T., VALAJA J., ERIKSSON C. et LARKKA K., 2007. Effect of Camelina sativa expeller cake on perofrmance and meat quality of broilers. J Sci Food Agric 87 :1489-1494 (2007)
- SALICHON M.R. et BLUM J.C., 1994. Utilisation des protéines de luzerne (PX Super) pour la croissance et la coloration du poulet de chair. Revue de l'alimentation animale, 1994, n°480, pp. 42-44
- SAUVANT D., PEREZ J.M. et TRAN G., 2002. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage – Porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. INRA Editions, Versailles, France, 301 pp.
- SERUP T., 2010. Hempseed-cake as feed for organic pigs. Presentation held at the Eco Amino Conference, Koldaergaard, November 4, 2010
- SOLTNER Dominique, 1999. Alimentation des animaux domestiques. Tome 1 – Les principes de l'alimentation de toutes les espèces – Collection sciences et techniques agricoles. 21ème édition, 1999, 180p.
- TARRIT A., 1992. Nutrition et alimentation des animaux d'élevage. Les éditions Foucher, Paris, 1992, 286p.
- VALBIOM, 2006. Les qualités nutritives du tourteau de colza gras. Fiche colza 07, version du 29 novembre 2006, 4p.
- WISEMAN J. et LESSIRE M., 1987. Interactions between fats of differing chemical content: Apparent metabolisable energy values and apparent fat availability, Brit. Poultry Sci., 28, pp. 663-676

Glossaire

- **Lyophilisation** : consiste en la dessiccation (déshydratation poussée) par sublimation d'un produit préalablement surgelé. La sublimation représente ici le passage direct de l'eau d'un état solide (glace) à un état gazeux (pas de passage par l'état liquide).

- **Pertes d'extra-chaleur :** Les pertes d'extra chaleur sont provoquées par (1) l'ingestion et la digestion des aliments (brassage, progression du bol alimentaire dans le tube digestif, chaleur des fermentations, etc.) et (2) l'utilisation métabolique des nutriments contenus dans l'aliment ingéré.

- **Transamination** : La transamination consiste à la biosynthèse d'acides aminés via le transfert d'un groupement aminé NH2 (provenant de la dégradation d'autres acides aminés) à un acide cétonique (une chaine carbonée). Cette réaction est permise par des enzymes spécifiques que l'on appelle les transaminases ou aminotransférases. Elle permet la formation d'un acide aminé déficitaire à partir d'un acide aminé excédentaire. A noter que la lysine et la thréonine ne peuvent pas être synthétisés par transamination chez les volailles car les transaminases correspondantes n'existent pas chez les animaux supérieurs.

Tables des figures et illustrations

FIGURES

Figure 1 : Représentation schématique de la digestion chez le poulet ---------- 2

Figure 2 : L'appareil digestif du poulet ---------- 2

Figure 3 : Les différentes étapes de l'utilisation de l'énergie de l'aliment ---------- 4

Figure 4 : Le métabolisme protéique ---------- 4

Figure 5 : Classement des acides aminés chez les volailles ---------- 5

Figure 6 : Organisation de la méthode mise en place ---------- 12

Figure 7 : Déroulement de l'expérience sur poulet - Essai digestibilité 1 ---------- 13

Figure 8 : Déroulement de l'expérience sur coq - Essai digestibilité 1 ---------- 16

Figure 9 : Déroulement de l'expérience - Essai parquet ---------- 17

Figure 10 : Energie métabolisable apparente corrigée à bilan azoté nul des MP ---------- 19

Figure 11 : CUD de la MS des MP ---------- 20

Figure 12 : CUD de l'azote des MP classées par teneur en MAT croissante ---------- 20

Figure 13 : GMQ et consommation quotidienne d'aliment par animal par régime entre J1 et J29 ---------- 21

Figure 14 : Poids moyen des animaux à J29 et IC moyen de J1 à J29 par régime ---------- 21

Figure 15 : GMQ et consommation quotidienne d'aliment par animal par régime entre J29 et J54 ---------- 22

Figure 16 : Poids moyen des animaux à J54 et IC moyen de J29 à J54 par régime -------- 22

Figure 17 : EMAn calculées des tourteaux de soja et de tournesol en fonction de leurs teneurs en lipides ---------- 29

Figure 18 : Taux de substitution du tourteau de soja dans les formules expérimentales ---- 30

Figure 19 : Organisation générale du pôle bio des Chambres d'Agriculture ---------- Annexe 1

Figure 20 : Présentation schématique du CASDAR AVIALIM BIO ---------- Annexe 1

Figure 21 : Organisation de l'unité expérimentale EASM ---------- Annexe 2

TABLEAUX

Tableau 1 : Apports recommandés pour le poulet « label » en % du régime ---------- 5

Tableau 2 : Apports recommandés pour la poulette biologique en % du régime ---------- 5

Tableau 3 : Apports recommandés pour la poule pondeuse biologique en % du régime --- 5

Tableau 4 : Récapitulatif des compositions et des valeurs nutritionnelles des différentes matières premières---------- 6
Tableau 5 : Récapitulatif des intérêts et limites des matières premières ---------- 10

Tableau 6 : Composition des régimes expérimentaux en % - Essai digestibilité 1 ---------- 13

Tableau 7 : Analyses réalisées sur les aliments, les MP et les fientes ---------- 14

Tableau 8 : Composition des régimes expérimentaux en % - Essai parquet 1 ---------- 17

Tableau 9 : Valeurs nutritionnelles des matières premières testées ---------- 19

Tableau 10 : Effet régime sur les performances zootechniques entre J1 et J29---------- 21

Tableau 11 : Effet régime sur les performances zootechniques entre J29 et J54 ---------- 22

Tableau 12 : Significativité des comparaisons deux à deux des régimes pour la consommation quotidienne d'aliment par animal---------- 23

Tableau 13 : Groupes homogènes de conso. d'aliment d'après le test de Tukey ---------- 23

Tableau 14 : Significativité des comparaisons deux à deux des régimes pour le GMQ ------ 23

Tableau 15 : Groupes homogènes de GMQ d'après le test de Tukey ---------- 23

Tableau 16 : Groupes homogènes d'IC d'après le test de Tukey ---------- 23

Tableau 17 : Significativité des comparaisons deux à deux des régimes pour l'IC---------- 23

Tableau 18 : Groupes homogènes de poids à J54 d'après le test de Tukey ---------- 24

Tableau 19 : Significativité des comparaisons deux à deux des régimes pour le poids à J54 ---------- 24

Tableau 20 : Groupes homogènes d'état de litière d'après le test de Tukey ---------- 24

Tableau 21 : Significativité des comparaisons deux à deux des régimes pour la note d'état de la litière---------- 24

Tableau 22 : Récapitulatif des groupes homogènes avec les régimes témoin---------- 24

Tableau 23 : Valeurs de MAT et EB analysées lors de l'essai digestibilité chez (1) le poulet de chair à croissance lente et (2) chez le coq ---------- 26

Tableau 24 : Puissance d'un test de Student de comparaison de deux moyennes réalisées sur l'IC en fonction du nombre de répétitions ---------- 27

Tableau 25 : Effet d'une variation de 0,1 point d'IC sur la MPA moyennes des lots -------- 27

Tableau 26 : Comparaison intra MP des valeurs nutritionnelles analysées et calculées ----- 28

Tableau 27 : Comparaison des résultats obtenus avec les valeurs tables INRA 2002 ------ 29

Tableau 28 : Récapitulatif des valeurs nutritionnelles des tourteaux de soja et de tournesol---------- 29

Annexes

Annexe 1 : Présentation du pôle Bio des Chambres d'Agriculture des Pays de la Loire et du programme de recherche AVIALIM BIO ---------- 1

Annexe 2 : Présentation de l'unité EASM de l'INRA du Magneraud ---------- 3

Annexe 3 : Plan d'expérience de l'essai « digestibilité » sur poulets de chair ---------- 4

Annexe 4 : Principe et mode opératoire de la détermination de la teneur en eau ---------- 5

Annexe 5 : Principe et mode opératoire de la détermination de l'énergie brute ---------- 7

Annexe 6 : Principe et mode opératoire de la détermination de la teneur en azote ---------- 10

Annexe 7 : Principe et mode opératoire de la détermination de la teneur en azote fécal-------- 13

Annexe 8 : Principe et mode opératoire de la détermination des Matières Grasses---------- 16

Annexe 9 : Principe et mode opératoire de la détermination des cendres brutes ---------- 19

Annexe 10 : Plan d'expérience de l'essai « parquet » sur coq – série 1 ---------- 21

Annexe 11 : Plan d'expérience de l'essai « parquet » ---------- 22

Annexe 12 : Analyse des données avec le logiciel R : Exemple de l'étude du Poids à 54 jours des poulets dans l'essai parquet---------- 23

Annexe 13 : Illustrations des essais réalisés ---------- 26

HOUBEN Vincent

Animation coordination globale du **RESEAU BIO** des CDAs des Pays de Loire
Relation avec les interlocuteurs externes (Région, DRAF, CAB, InterBio, ITAB, FNAB, APCA ....)

BEAUPERE Yves
MICHEL Louis

- partenaires financiers et techniques
Management de proximité du Service
Animation de la comission Professionnelle

Actions de recherche de Références et d'Accompagnement technique

BORDEAUX C.
HUET C.

Animation coordination du dispositif d'acquisition de références
- programme régional, synergie avec les demandes départementales
liens spécifiques avec les partenaires (CAB, GB, ITAB, ...)
animation des groupes projets
Synthèse, CR technique, valorisation des résultats

Animation du comité de pilotage **CRA PL** - CAB - Inter bio
Participation aux rencontres avec les partenaires financiers

Groupes projets	CHEF PROJET	Resp PROFESSIONNEL
Lait	DESARMENIEN D.	HUET C.
Viande	COUTARD J.P.	GUYAU B.
Porc	MAUPERTUIS F.	SHEARD C.
Volaille	PINEAU C.	CHEVREUIL R.
G. Culture	BOISSINOT F.	GURY P.
Légume	*PELLETIER B.*	SAUVETRE D.
Vigne	RUBIN N.	LECOMTE O.
Arboriculture	*COUREAU C.*	DURAND G.
Semence	BOISSINOT F.	GURY P.

Actions de développement (Conversion - Installation) et d'accompagnement des producteurs

HOUBEN V.
BEAUPERE Y.

Animation du groupe des référents départementaux
lien avec les commissions professionnelles départementales
suivi et coordination des groupes projets

Participation au comité de pilotage CRA PL - **CAB** - INTERBIO

Groupes projets	CHEF PROJET	Resp PROFESSIONNEL
Réglementation	HUREL P.	FRANCHETEAU C.
Dispositif conversion	COCAUD E.	BEAUPERE Y.
Dispositif installation et transmission	LAMBERT B.	MICHEL L.
Formation Continue	BARRET J.R.	LEBRET F.
Relation Formation de base - Enseignement	LETAILLEUR F.	CHEVREUIL R.
Communication technique	BORDEAUX C.	HUET C.
TERRITOIRE à ENJEUX EAU	HOUBEN V.	MICHEL L.

Animateurs bio généralistes départementaux :
(E. COCAUD / JR BARRET / B. LAMBERT / F LETAILLEUR / P. HUREL)

Action d'organisation des filières - Communication générale

HOUBEN V. & BORDEAUX C.
MICHEL L.

Participation au comité de pilotage CRA PL - CAB - **INTERBIO**

Groupes projets	CHEF PROJET	Resp PROFESSIONNEL
ORAB	GOSCIANSKI C.	BEAUPERE Y.
RHD	ROUART S.	BEAUPERE Y.
Tech & BIO	LEBERRE J.C.	BEAUPERE Y.
Communication générique SALONS/JPO	BORDEAUX C.	BEAUPERE Y.

Chaque chef de projet organise et anime son groupe projet en lien avec les acteurs départementaux et les resp. professionnels concernés

Figure 19 : Organisation générale du pôle bio des Chambres d'Agriculture des Pays de la Loire

Annexe 1 : Présentation du pôle Bio des Chambres d'Agriculture des Pays de la Loire et du programme de recherche AVIALIM BIO

Les chambres d'agriculture sont des établissements publics pilotés par la profession agricole au service des agriculteurs. Il existe trois échelons territoriaux : les chambres départementales (CDA), les chambres régionales (CRA) et l'Assemblée Permanente des Chambres d'Agriculture (APCA) au niveau national. La région des Pays de la Loire disposent de cinq chambres départementales et une chambre régionale qui sont des entités juridiques différenciées et indépendantes.

Le pôle Bio des Chambres d'Agriculture des Pays de la Loire consiste en la mutualisation des ressources (humaines et financière) destinées à l'AB des 6 chambres d'agriculture de la région. Ce pôle a vu le jour en 2009 sous l'impulsion de la Révision Générale des Politiques Publiques. Cette réforme gouvernementale, applicable au 1er janvier 2009, a pour objectif d'améliorer l'efficacité des services de l'Etat en mettant notamment en avant la volonté de renforcer l'échelon régionale.

Le pôle est constitué : - d'une commission professionnelle régionale composée d'élus qui oriente les programmes de recherche en agriculture biologique et décide du programme d'actions

- d'une organisation technique équivalente à 22 ETP composée d'un chef de pôle, d'un animateur AB généraliste par département, d'un coordinateur régional du programme de recherche en AB et de ressources techniques spécialisées dont je fais partis en tant qu'apprentie.

Les finalités du pôle sont d'accroitre le nombre de producteurs et les volumes de production en AB et de pérenniser les exploitations en place. Pour cela, les différentes actions du pôle s'articulent autour de (1) l'accompagnement juridique et technique des producteurs dans la conversion ou l'installation, (2) l'accompagnement technique des agriculteurs en place, (3) la communication de références technico-économiques, (4) l'accompagnement de la structuration des filières pour assurer les débouchés et (5) le pilotage de programmes de recherche en AB et la réalisation d'expérimentations.

L'organisation générale du pôle bio est présentée sur la figure 19.

PRESENTATION DU CASDAR AVIALIM BIO

TITRE : AVIALIM BIO - Proposer des solutions et outils techniques pour accompagner le passage à une alimentation 100% Bio en élevage avicole biologique.

MOTS CLES : Agriculture biologique – Filière avicole
Matières premières – essais zootechniques – Aliment biologique

ORGANISME CHEF DE FILE :
Chambre Régionale d'Agriculture des Pays de la Loire (CRA PdL)

CHEF DE PROJET :
BORDEAUX Célia, Chargée de mission Agriculture Biologique à la CRA PdL

DATE DE DEBUT DU PROJET : Octobre 2011

DUREE : 36 mois

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORÊT
Avec la contribution financière du compte d'affectation spéciale «développement agricole et rural»

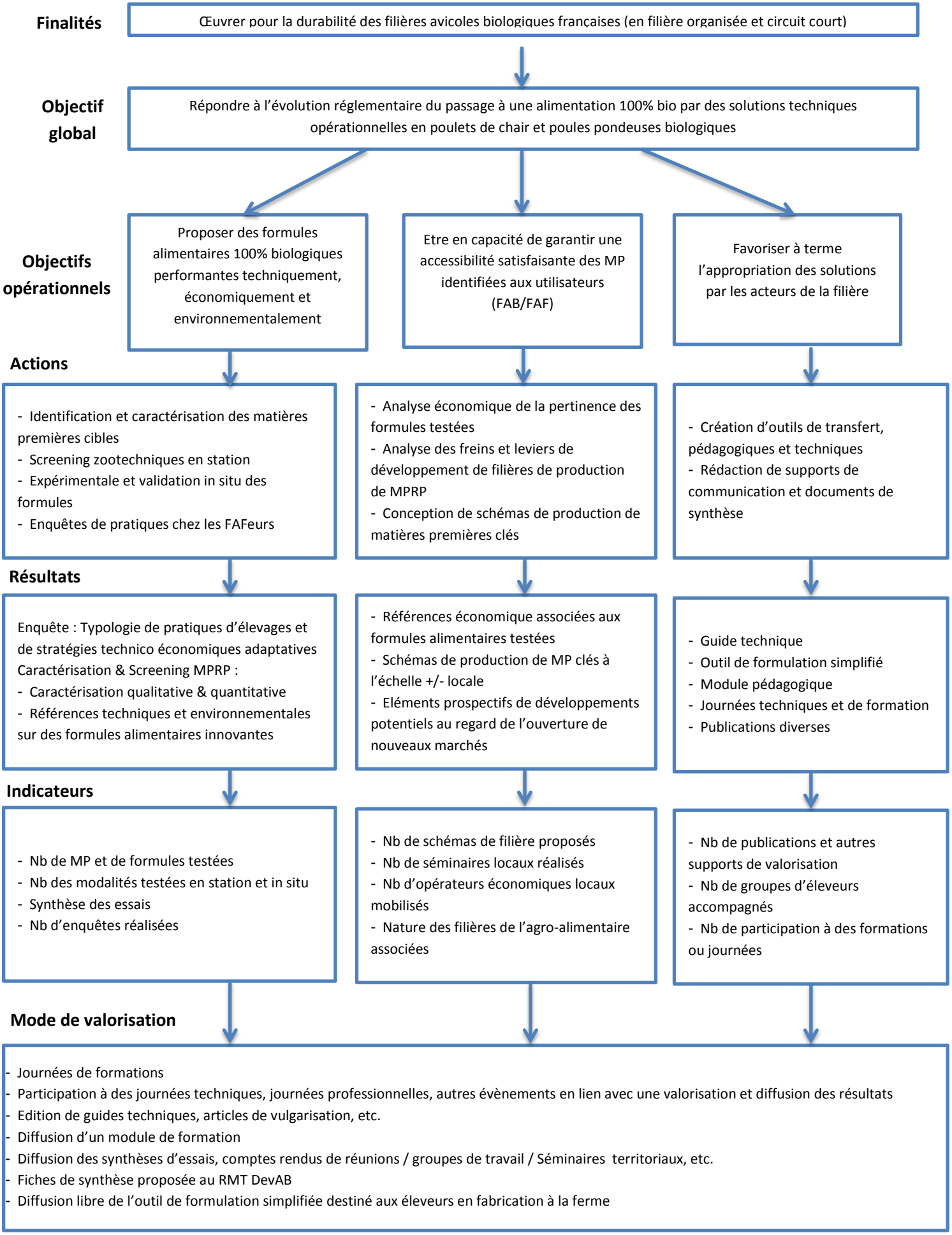
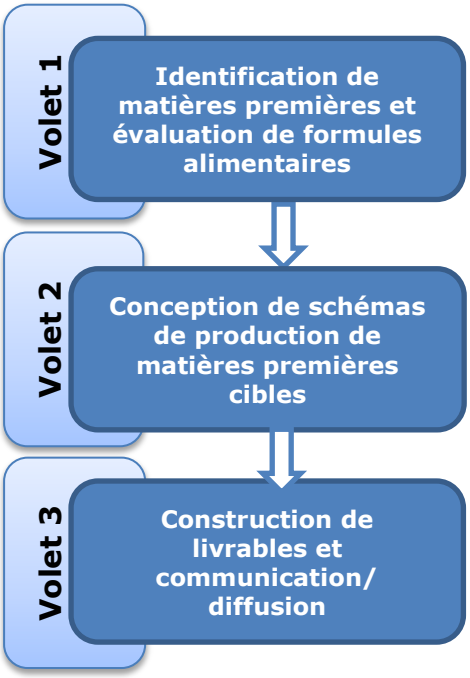


Figure 20 : Présentation schématique du CASDAR AVIALIM BIO

Le programme AVIALIM BIO se compose de 3 volets :



Un premier volet propose la mise en place d'une série d'essais en station expérimentale et en élevages, qui devrait permettre de trouver et de caractériser des MP riches en protéines, ainsi que de proposer des formules alimentaires innovantes et équilibrées. Dans un second temps, ce projet propose une réflexion autour des filières de production des MP identifiées dans le volet 1. Il s'agira d'identifier les freins et leviers de production et de valorisation de ces MP cibles à destination de l'alimentation des volailles, de donner des références économiques sur ces MP et sur les formules qui les incorporent et de concevoir différents schémas de production de ces MP à destination des fabricants d'aliments et des éleveurs en fabrication à la ferme. Les résultats de l'ensemble de ces travaux, destinés à être adaptés aux contextes des opérateurs et des territoires, seront valorisés à travers multiples supports : un guide technique, un outil simplifié de formulation à destination des éleveurs fabricants leur aliment à la ferme, des fiches de préconisations, etc. De plus, l'ensemble des résultats fera l'objet de publications ou sera diffusé dans le cadre de journées techniques et de formation.

Les finalités, objectifs, actions, résultats attendues, indicateurs et modes de valorisation d'AVIALIM BIO sont résumés dans la figure 20.

Ce projet implique de nombreux partenaires dont des Chambres d'Agriculture (APCA, CDA de la Drôme, CDA du Gers, CDA de Sarthe, CDA de Vendée et CRA des Pays de la Loire), des instituts (INRA du Magneraud, ITAB et ITAVI), des organismes professionnels agricoles (Coop de France, Coordination Agrobiologique des Pays de la Loire, FNAB et SYNALAF), des supports pédagogiques (CEZ Bergerie Nationale / Exploitation agricole de Rambouillet) et des opérateurs économiques (BODIN / Gastronome, Aliments MERCIER, Maïsadour, Terre du Sud et Valsoleil).

Les ressources humaines dédiées au projet sur les 3 ans sont de 4,6 ETP (soit 1,5 ETP par an). Au niveau du budget, le coût total estimé du projet est de 862 861 € et les ressources sont des financements CASDAR (500 000€), des aides du conseil Régional des Pays de la Loire (44 700€), des salaires publics (18 810€), appui de l'état aux stations INRA (45 310€) et de l'autofinancement de la part des différents partenaires (254 041€).

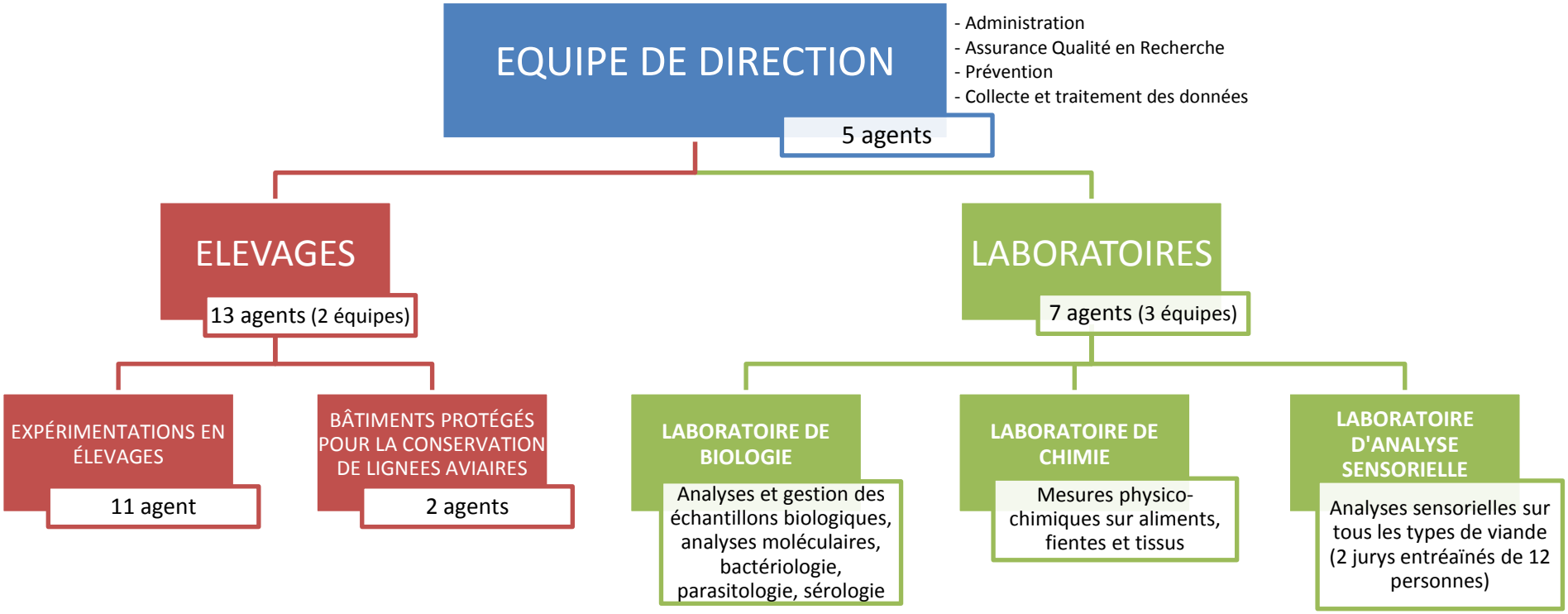


Figure 21 : Organisation de l'unité expérimentale EASM

Annexe 2 : Présentation de l'unité EASM de l'INRA du Magneraud

L'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) est un organisme de recherche finalisée créé en 1946. C'est un Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique (EPST) placé sous la tutelle des ministères chargés de la Recherche et de l'Agriculture. L'INRA est un dispositif de recherche unique en Europe qui comprend près de 8 500 agents (dont 1 837 scientifiques et 2 590 ingénieurs) répartis dans 14 départements scientifiques dans le domaine de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement. Le dispositif de recherche de l'institut est composé de 213 unités de recherche (UR), 49 unités expérimentales (UE) représentant une surface d'environ 10 000 ha et élevant 94 000 animaux, 84 unités « Service Déconcentré d'Appui à la Recherche » (SDAR) et 10 unités de service. Ce dispositif est répartit dans 20 centres régionaux dont le centre INRA Poitou-Charentes.

Le centre INRA Poitou Charentes se compose de 9 unités dont 1 UR, 6 UE, 1 unité d'appui à la recherche et 1 unité du Groupe d'Etude des Variétés Et des Semences (GEVES). Il compte environ 250 agents permanents et dispose d'un budget de 15 millions d'euros dont 75% provient de dotations de l'Etat. Les structures du centre INRA Poitou Charentes sont réparties sur 4 sites dont le site du Magneraud (17) qui comprend 100 agents, 1 unité du groupe GEVES, 1 antenne du SDAR et 3 UE dont l'UE Elevage Alternatif et Santé des Monogastriques (EASM).

Les UE sont des unités propres au sens de l'INRA dont l'usage est généralement partagé entre plusieurs UR partenaires et des partenaires extérieurs. Elles sont dirigées par un directeur d'unité, disposent d'un budget et sont dotées de moyens propres. Très souvent, ces unités disposent d'un dispositif agronomique important, (domaine agricole, installations d'élevage, écosystèmes naturels,…) ou d'infrastructures expérimentales lourdes (parc de serres, halle technologique, animaleries,...).

L'UE EASM dépend de deux départements de recherche : « Physiologie Animale et Systèmes d'Elevage » (PHASE) et « Santé Animale » (SA). Pour répondre aux enjeux de la filière avicole, l'unité a quatre missions principales : (1) concevoir et évaluer des systèmes de production avicole innovants et durables, (2) conduire des expérimentations pour les départements PHASE et SA dans le domaine de la nutrition avicole, (3) évaluer les qualités organoleptiques des produits carnés et (4) assurer la conservation de lignées aviaires sous statut exemptes d'organismes pathogènes spécifiques (EOPS).

L'unité est équipée de laboratoires (analyses biologiques, physico-chimiques et sensorielles) et d'installations expérimentales composées :

- d'un bâtiment d'élevage sous statut sanitaire protégé
- d'un dispositif de mesures de digestibilité (des cellules d'élevage, une fabrique d'aliments, des équipements pour le traitement des échantillons)
- d'un dispositif pour l'élevage d'animaux en claustration (3 bâtiments) et avec parcours (8 bâtiments de 72m² attaché chacun à 1 parcours de 2500 m²).

Un total de 25 agents permanents répartis en équipes (Cf. Figure 21) est affecté à cette unité dont le budget annuel de fonctionnement est d'environ 400 K€.

Annexe 3 : Plan d'expérience de l'essai « digestibilité » sur poulets de chair

Cage	1101	1102	1103	1104	1105	1106	1107	1108	1109	1110
Régime	R3	R12	R11	R6	R4	R5	R8	R10	R9	R2
Régime	R7	R1	R3	R9	R5	R12	R11	R10	R6	R8
Cage	1201	1202	1203	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1210

Cage	2101	2102	2103	2104	2105	2106	2107	2108	2109	2110
Régime	R7	R2	R1	R4	R8	R6	R12	R5	R4	R10
Régime	R3	R1	R7	R2	R11	R9	R2	R11	R3	R12
Cage	2201	2202	2203	2204	2205	2206	2207	2208	2209	2210

Cage	3101	3102	3103	3104	3105	3106	3107	3108	3109	3110
Régime	R10	R1	R7	R5	R6	R9	R4	R8	R1	R4
Régime	R9	R2	R5	R11	R7	R3	R8	R6	R10	R12
Cage	3201	3202	3203	3204	3205	3206	3207	3208	3209	3210

Cage	3301	3302	3303	3304	3305	3306	3307	3308	3309	3310
Régime	R6	R5	R12	R1	R11	R7	R4	R10	R3	R8
Régime	R2	R9	R8	R6	R2	R3	R11	R1	R7	R4
Cage	3401	3402	3403	3404	3405	3406	3407	3408	3409	3410

Cage	4101	4102	4103	4104	4105	4106	4107	4108	4109	4110
Régime	R5	R10	R9	R12	R7	R10	R1	R6	R4	R5
Régime	R11	R8	R12	R2	R3	R9	R8	R2	R10	R1
Cage	4201	4202	4203	4204	4205	4206	4207	4208	4209	4210

Cage	4301	4302	4303	4304	4305	4306	4307	4308	4309	4310
Régime	R6	R4	R11	R9	R3	R5	R7	R12	R8	R11
Régime	R4	R6	R3	R2	R1	R5	R9	R7	R12	R10
Cage	4401	4402	4403	4404	4405	4406	4407	4408	4409	4410

Annexe 4 : Principe et mode opératoire de la détermination de la teneur en eau

INRA Unité EASM	**Mode Opératoire** **DETERMINATION DE LA TENEUR EN EAU** **Dans les aliments des animaux et les fientes** **Selon la norme Afnor V18-109**	Réf. : MO-LC-150 Teneur en Eau Version : 1 Date de création : 08/10/03 page 5/76

1) Objet et domaine d'application

L'objectif de ce mode opératoire est de présenter la procédure de détermination de la teneur en eau des aliments des animaux. Ce mode opératoire est applicable aux fientes lyophilisées.

2) Référence normative

Afnor V 18 – 109

3) Principe

Le principe est fondé sur la perte de masse de l'échantillon après passage dans une étuve à 103°C pendant 4h. La perte de masse est déterminée par pesée après refroidissement au dessiccateur sous vide.

4) Appareillage

- Récipient permettant d'obtenir une répartition de la prise d'essai d'environ 0.3g/cm2
- Etuve électrique (Thermosi) ventilée, réglable à 103°C+/-1°C
- Dessiccateur avec du gel de silice déshydraté
- Balance analytique précision au 1/10èm e de mg

5) Mode opératoire

5-1 Préparation de l'échantillon

Echantillon aliment des animaux broyé à la grille 0.5mm du Retsch ou fientes lyophilisées puis broyées à la grille 0.5mm au Retsch ou aliment des animaux non broyés.
Les échantillons aliments conservés au réfrigérateur à +4°C doivent être sortis la veille au soir ,avant les pesées.

5-2 Prise d'essai

Bien homogénéiser l'échantillon (qui doit être à température ambiante) avant de prélever la prise d'essai.
Peser à 1mg près, environ 5 g d'échantillon dans un récipient préalablement séché à l'étuve à 103°C et refroidi 30mn au dessiccateur puis taré à 1mg près.

5-3 Détermination

- Placer le récipient dans l'étuve, préalablement chauffée à 103°C +/-1°C.
- Laisser sécher pendant 4h comptées à partir du moment ou la température de l'étuve atteint à

nouveau 103°C.

- **Ne plus ouvrir l'étuve ou introduire d'échantillon dans l'étuve pendant ce temps de 4h à 103°C.**
- Retirer le récipient de l'étuve et laisser refroidir pendant environ 30mn dans le dessiccateur et peser à 1mg.

5-4 Nombre de déterminations.

Effectuer 3 déterminations sur le même échantillon.

6 Expression des résultats.

Mode de calcul pour la procédure A

T = poids de la tare du récipient
Mo = est la masse, en grammes, de la prise d'essai de l'échantillon
M1= est la masse, en grammes, de l'échantillon après séchage + de la tare du récipient

Le résultat est exprimé en pourcentage

$$MS\% = [(M1-T) / Mo] \times 100$$

Mode de calcul pour la procédure B

T = poids de la tare du récipient
Mo = est la masse, en grammes, de la prise d'essai de l'échantillon + de la tare du récipient
M1= est la masse, en grammes, de l'échantillon après séchage + de la tare du récipient

Le résultat est exprimé en pourcentage

$$MS\% = [(M1-T) / (Mo-T)] \times 100$$

7) Répétabilité

La différence entre les résultats de 3 déterminations effectuées en parallèle sur un même échantillon ne doit pas dépasser 0.2% de l'humidité.

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom : Fonction : Visa :	Dalila FEUILLET	Thierry SOUCHE	Renaud POUGET

1) Objet et domaine d'application

L'objectif de ce mode opératoire est de présenter la méthode de détermination de l'énergie brute des matières premières, des aliments, des fientes et des tissus animaux à l'aide du calorimètre IKA C7000.

2) Référence normative

M O3.005 Détermination du pouvoir calorifique supérieur (combustibles solides).

3) Principe

L'énergie brute est déterminée par la combustion totale d'une masse connue d'échantillon sous excès d'oxygène. La quantité de chaleur dégagée est rapportée à la masse de l'échantillon c'est l'énergie brute. La quantité de chaleur est mesurée directement par les capteurs se trouvant sur le corps de bombe.
Celle-ci est déterminée grâce à l'étalonnage du calorimètre avec une substance de référence, l'acide benzoïque.

4) Réactifs

Fil de coton *(réf IKA : C710.4 (50 J))*
Fil de nickel Chrome *(réf IKA: C710.3 (30J))*
Oxygène qualité alpha gaz1 Air Liquide (réf *: P0361L50R2A001*)
Acide benzoïque *(conservées au dessiccateur)*

5) Appareillage

Balance analytique de précision Mettler 1/10ème mg
Balance Sartorius L220 S
Calorimètre IKA C7000
Refroidisseur IKA C7002
Poste de remplissage d'oxygène C48
Presse à pastiller IKA C21

Bombes calorimétriques C7010, numérotées 0, 1, 2
Bombe 0 : *ref* 1993 / 9 / 553161
Bombe 1 : *ref* 1992 / 9 / 552360

Bombe 2 : *ref* 1993 / 9 / 553436
Electrode *(ref IKA 2369100*)
Creusets de combustion inox
Pinces et spatules

6) Mode opératoire

6-1 Préparation de l'échantillon

Pour les matières premières, les aliments et les fientes échantillons broyés à 0.5mm. Les tissus animaux broyés finement et homogènes.

Prise d'essai de l'échantillon en fonction de l'élévation de température produite. Celle-ci doit être la plus proche de l'élévation de température de 0.5g d'acide benzoïque servant à la calibration.
En règle générale :

- Fientes : 0.9g
- Gluten de mais : 0.6g
- Aliment Dindon : 0.77g
- Aliment poussin : 0.85g
- Sorgho : 0.8g
- Blé : 0.8 g
- Tourteau soja : 0.75g

Tarer un creuset inox avec un fil de coton
Récupérer le fil de coton pour former le comprimé avec l'échantillon à analyser.
Pour les échantillons riches en matières grasses, déposer dans le creuset l'aliment à l'état brut.

6-2 Installation de l'échantillon dans le corps de bombe.

Bien contrôler l'état de propreté du corps de bombe.
Vérifier : l'état des joints
de l'électrode
du pas de vis
Installer le fil de nickel chrome au niveau de l'électrode. Contrôler que le contact est bien établi.
Placer le creuset contenant l'échantillon dans l'électrode.
A l'aide de la pince installer le fil de coton sur le fil métallique en réalisant un nœud coulant.
Ne pas émietter l'échantillon lors de cette opération délicate.

6-3 Préparation de la bombe calorimétrique pour la mesure.

Introduire délicatement l'électrode et le creuset dans le corps de bombe.
Fermer le couvercle.
Mettre sous pression d'oxygène à 30 bars.
Placer la bombe dans le refroidisseur C7002 et attendre qu'il la libère.

6-4 Mesures au calorimètre IKA C7000

Mettre sous tension le calorimètre IKA C7000 et le refroidisseur IKA C7002 au minimum 30mn avant de réaliser une mesure (sur l'écran affichage:Dépassement Temps Intérim).
Eteindre la sonnerie en appuyant sur **ATN.**
Ouvrir à demi le robinet d'eau alimentant le refroidisseur IKA C7002 30 minutes avant le début des mesures.
Au démarrage réchauffer les corps de bombe en les remplissant d'eau chaude (30 minutes avant le début des mesures).

6-4-1- Détermination de la capacité calorifique de chaque bombe.

L'étalonnage de chaque bombe est réalisé tous les 6 mois en règle générale.
Si un élément de l'ensemble formé par la bombe, l'électrode et le couvercle est modifié l'étalonnage de la bombe est à réaliser systématiquement.
Chaque bombe possède sa valeur caractéristique de capacité calorifique qui correspond à la quantité de chaleur captée par ce corps de bombe lorsque sa température augmente de 1°K. Elle s'exprime en cal/°K.
La capacité calorifique dépend de la nature et de la masse des matériaux qui composent le corps de bombe.

Pour la détermination de la capacité calorifique réaliser au minimum 5 déterminations par bombe à l'aide de pastilles d'acide benzoïque de référence.

7) Expression des résultats

Les résultats d'énergie brute ou de pouvoir calorifique supérieur sont exprimés en cal /g ou en J / g de produit brut ou sec si le résultat est corrigé par la matière sèche.

(1 joule = 4.18685 calories)

3 mesures sont réalisées pour les matières premières ainsi que pour les aliments.
1 mesure est réalisée pour les fientes.

Le coefficient de variation toléré entre les mesures est de 1 %.

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom : Fonction : Visa :	David SABOURIN	Dalila FEUIILET	Renaud POUGET

Annexe 6 : Principe et mode opératoire de la détermination de la teneur en azote

INRA Unité EASM	Mode Opératoire **DETERMINATION de la TENEUR en AZOTE des ALIMENTS, des FIENTES et des TISSUS ANIMAUX** **Selon la méthode de Kjeldahl**	Réf. : MO-LC-50 Azote Total Version : 1 Date de création : page 10/76

1) Objet et domaine d'application

L'objectif de ce mode opératoire est de présenter la méthode de détermination de l'azote totale des aliments pour animaux, des fientes et des tissus musculaires lyophilisés.

2) Référence normative

NF V03 050
ISO 5983 : 1997 (F)

3) Principe

Le principe est fondé sur la minéralisation de la matière organique par l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur.
Le produit minéralisé est ensuite neutralisé par une base puis distillé et l'ammoniac libéré est titré.
Calcul de la teneur en azote. Multiplication du résultat par le facteur conventionnel 6.25 afin d'obtenir la teneur en protéines brutes.

4) Réactifs

- Acide sulfurique pour analyses
- Acide orthoborique pour analyses
- Catalyseur THOMPSON et CAPPER *code AA20*
  LTD 5g de potassium sulfate K2SO4
  0.15g Copper II sulfate CuSO4,5H2O
  0.15g Titanuim Dioxide TiO2
- Acide sulfurique TITRINORM 1N
- Hydroxyde de sodium pour analyses soit en pastille soit solution hydroxyde de sodium prête à l'emploi à 32%

5) Appareillage

Balance analytique de précision 1/10ème mg
Minéralisateur GERHARDT
Capteur de vapeurs GERHARDT Turbosorg
Distillateur GERHARDT VAPODEST 45
Burette Titroline Easy de chez Schott

6) Mode opératoire

6-1 Préparation de l'échantillon

Echantillon aliment des animaux broyé à la grille 0.5mm du Recht.
Fientes lyophilisées puis broyées à la grille 0.5mm au Recht.
Tissus musculaires lyophilisés puis broyés à la moulinette électrique.

6-2 Préparation des réactifs

Fiche technique jointe pour la préparation des réactifs

Acide sulfurique titrinorm à 0.25N

H2SO4 36N normapur 18 ml / matras

H3BO3 40g / L

NaOH à 34.5 %.

NaOH qualité technique à 10% (eau du robinet +bleu de bromothymol 100mg pour 3L)

6-3 Prise d'essai

Bien homogénéiser l'échantillon (qui doit être à température ambiante) avant de prélever la prise d'essai.

Peser à l'aide de papier de pesée découpé à 1mg près selon la teneur supputée en protéines :

Entre 0.75g et 1 g pour un échantillon à 20% de protéines (prise d'essai recommandée dans nos conditions de dosage)

Introduire dans le matras en prenant soin de ne pas en déposer sur les parois et au fond du tube.

6-4 Nombre de déterminations.

Réaliser au minimum 2 déterminations par échantillons pour les aliments, les matières premières, les tissus animaux et 1 pour les fientes.

6-5 Minéralisation

Introduire l'échantillon dans le matras en essayant de le déposer le plus au fond du tube.
Mettre 1 pastille de catalyseur
Verser 18 ml d'acide sulfurique concentré en faisant tourner le tube pour entraîner les traces d'échantillon vers le fond du matras.
ATTENTION LORS DE LA MANIPULATION DE L'ACIDE SULFURIQUE PORT DE GANTS ET LUNETTES
Placer le portoir de matras dans le bloc

Laisser la minéralisation se poursuivre à 407°C pendant 45mn jusqu'à apparition de la couleur verte dans tous les tubes.
(Selon la nature des échantillons adaptée la minéralisation pour une montée progressive à 407°C).

Laisser refroidir les échantillons avant de les doser au vapodest. L'azote présent dans les échantillons à l'état organique se trouve désormais à l'état minéral sous forme de sulfate d'ammonium $(NH_4)_2SO_4$.

6-6 Distillation de l'azote

Déplacement de l'ammoniaque de son sel

$$2\ NaOH + (NH_4)_2SO_4 \longrightarrow 2\ Na^+ + SO4^{2-} + 2H_20 + 2\ NH_3$$

L'ammoniac libéré est piégé par l'acide orthoborique sous forme de borate d'ammonium

$$3\ NH_3 + H_3BO_3 \longrightarrow (NH_4)_3BO_3$$

Installer le matras au niveau du distillateur en prenant soin de bien l'adapter au niveau du joint

Puis lancer le programme du vapodest 45 programme1 (programme de dosage)

Eau ----------8 secondes correspond à un volume de 79ml
NaOH à 36%----------6 secondes correspond à un volume de 96ml
Temps de réaction ----------0 secondes
Distillation----------04mn30
Vapeur ----------80%
Point Final ----------oui
Vidange tube---------- 30
Vidange récepteur ----------30
H3BO3----------6 correspond à un volume de 90ml

Volume de déchet de 460ml par distillation

6-7 Dosage de l'azote

L'azote sous forme d'ammoniac (borate d'ammonium) est dosé par l'acide sulfurique à 0.25 N L'appareil mesure le pH de la solution initiale d'acide orthoborique avant la distillation. L'arrivée de l'ammoniac dans le milieu augmente le pH. On dose l'azote présent par retour au pH initial par neutralisation de l'ammoniac grâce à l'acide sulfurique.

$$3\ H_2SO_4 + 2\ (NH_4)_3BO_3 \longrightarrow 2\ H_3BO_3 + 3\ (NH_4)_2SO_4$$

7) Expression des résultats

7 – 1 Résultat en Matière Azotée Totale (MAT) en pour cent de la matière organique.

Le nombre de mole de H^+ nécessaire pour neutraliser l'azote est égal au nombre d'atome d'azote présent dans le milieu.

MAT en % = ((Volume d'H2SO4 x 10^{-3} x (M*2 x 14) / poids de l'échantillon) x 100

M = la concentration de l'acide sulfurique en mol de H_2SO_4 / l

7 – 2 Résultat en Protéines en pour cent de la matière organique.

Le coefficient de conversion, de la matière azotée totale en protéine, retenu au laboratoire est celui de 6.25.

Protéines en % = MAT ×6.25

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom : Fonction : Visa :	Dalila FEUILLET	Karine METEAU	Renaud POUGET

Annexe 7 : Principe et mode opératoire de la détermination de la teneur en azote fécal

INRA Unité EASM	Mode Opératoire	Ref : MO-LC-40 Azote fecal
	DOSAGE DE L'AZOTE FECAL	Version:1 Date de creation 01/03/2005 Page 13 sur 3

1) OBJET & DOMAINE D'APPLICATION

Le but de cette procédure est de séparer l'azote d'origine fécal et l'azote d'origine urinaire selon la méthode décrite par K. TERPSTRA & N de HART en 1973.

Elle s'applique aux fientes des oiseaux qui excrètent un mélange d'urine et de fèces. Il est indispensable pour doser l'azote fécal de le séparer de l'azote urinaire présent essentiellement dans l'acide urique.

2) PRINCIPE

Cette méthode est basée sur la dissolution de l'acide urique dans un tampon acétate de sodium pH 4,7 en présence de formol et à chaud. Les protéines sont ensuite précipitées en présence d'acétate de plomb et séparées par filtration. L'addition d'éthanol permet de faciliter la filtration. Après séchage du filtre, l'azote est dosé par la méthode de Kjeldahl.

Un coefficient de correction intervient dans cette méthode car le taux d'acides aminés libres dans les excrétas représente 18 % de l'azote fécal total, fraction protéique non précipité. Le résultat obtenu avec la méthode Kjeldahl sera donc multiplié par le coefficient 1,18.

3) REACTIFS

3-1 Liste des réactifs (de qualité analytique)

3-1 Acétate de sodium $3H_2O$, *référence VWR 27652298*

3-2 Acétate de plomb II $3H_2O$, *référence VWR 26483297*

3-3 Acide acétique glacial

3-4 Ethanol à 95°

3-5 Formol à 35%, *référence VWR 20909290*

3-6 Eau distillée

3-2 Phrases de risques et conseils de prudence

L'acétate de plomb a pour phrase de risque R 60-61-33-48/22

R 60 Peut altérer la fertilité.

R 61 Risque pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant.

R 33 Danger d'effets cumulatifs

R 48/22 Nocif : risque d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par ingestion.

3-3 Préparation des solutions

Solution 1 : **Tampon acétate pH 4,7 à préparer dans une fiole jaugée de 2 litres**

- 27,2 g acétate de sodium 3H2O à dissoudre dans 1600 ml d'eau distillée
- Ajouter 12 g d'acide acétique
- Ajouter 100 ml de formaldhéhyde à 35%

- Ajuster à 2000 ml

  Pour 16 échantillons préparer 4 l. Il est préférable de préparer 2 fois 2 litres.

Solution 2 : Réactif acétate de plomb (à préparer dans un bêcher de 1 litre)

- Dans le bêcher, dissoudre 100g d'acétate de plomb dans environ 800ml d'eau distillée
- Ajouter 50 ml de formaldhéhyde à 35%
- Ajouter l'acide acétique jusqu'à pH 4,7

Solution 3 : Mélange éthanol + formaldhéhyde à préparer dans une fiole jaugée de 2 litres

- Mélanger 1900 ml d'éthanol à 95%, à
- 100 ml de formaldhéhyde à 35%

Solution 4 : Mélanger :

- 1000 ml de la solution 1
- 200 ml de la solution 2
- 1000 ml de la solution 3

4) APPAREILLAGE

4-1 Balance analytique de précision 1/10ème mg
4-2 Balance analytique au 1/100ème de g
4-3 Bain-marie avec agitation permettant d'atteindre 100°C
4-4 Erlenmeyer de 250 ml
4-5 Buchners
4-6 Filtres Durieux n°111 diamètre 90m/m

5) MODE OPERATOIRE

5-1 Préparation de l'échantillon

- Peser 500mg de fèces lyophilisées dans un erlenmeyer de 250 ml, et y ajouter quelques ml d'eau distillée pour obtenir une bouillie
- Ajouter 50 ml de tampon acétate (sol.1)
- Mettre au bain-marie bouillant pendant 20 minutes en agitant, (dissolution de l'acide urique présent dans les excréta (fèces + urine))
- Ajouter 12.5 ml d'acétate de plomb (sol.2), poursuivre le chauffage pendant 10 minutes au bain-marie en continuant d'agiter, ceci pour précipiter les protéines.
- Retirer les erlenmeyers du bain-marie, et laisser refroidir à la température de la pièce.
- Ajouter 50 ml de la solution 3 et laisser reposer toute la nuit.

5-2 Filtration

- Le lendemain, filtrer. Laver le résidu avec 3 fois 40 ml de la solution de lavage du précipité (sol.4). Attendre que le liquide soit passé totalement à travers le filtre entre chaque rinçage.
- Laisser sécher le filtre. Il est important que cette méthode soit réalisée sous hotte ventilée.
- Après complet séchage, introduire le filtre dans un matras Kjeldahl pour minéraliser et traiter comme un Kjeldahl classique.

6) CALCUL DES RESULTATS

Teneur en protéines (%) = $\frac{V \times (M*2) \times 14 \times 6,25 \times}{1,18 \times 100}$

V = descente de burette en ml
M = à la concentration de l'acide sulfurique en mol d'H_2SO_4 / l
14 = masse molaire de l'azote
6,25 = coefficient de conversion azote/protéines
1,18 = coefficient de correction
Poids échantillon en gramme

Les résultats sont exprimés à 0,01% près

7) REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

K.Terpstra & N. de Hart en 1973 (Z Tierphysiol., Tierenährg., U. Futtermittelkde 32 (1974), 306-320).

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom : Fonction : Visa :	Dalila FEUILLET	Karine METEAU	Hervé JUIN

Annexe 8 : Principe et mode opératoire de la détermination des Matières Grasses

INRA **Unité EASM**	**Mode Opératoire** **Détermination des Matières Grasses** **selon la norme NF V18-117**	Réf : MO-LC-91 Matières Grasses Version : 1 Date de création : 24/02/04 page 16/76

1) OBJET & DOMAINE D'APPLICATION

L'objet de ce mode opératoire est de déterminer les matières grasses, contenues dans les matières premières, les aliments des animaux et les fientes d'oiseaux, selon la norme NF V18-117. Selon la nature de l'échantillon la procédure d'extraction doit être réalisée avec ou sans hydrolyse acide au préalable.

1-1 procédé A ; extraction sans hydrolyse :

Ce procédé s'applique aux matières premières et aux aliments d'origine végétale à l'exception de ceux contenant des matières grasses qui ne sont pas complètement extractibles sans hydrolyse préalable (soja, gluten…).

1-2 procédé B ; extraction avec hydrolyse préalable :

Ce procédé s'applique aux matières premières et aux aliments d'origine animale (farines de viandes, produits laitiers…) et aux aliments d'origine végétale contenant des matières grasses qui ne sont pas complètement extractibles sans hydrolyse préalable (soja, gluten) ainsi qu'aux fientes lyophilisées.

2) PRINCIPE

2-1 Procédé A :

Les matières grasses sont extraites par trempage puis par percolation dans un solvant organique, l'éther de pétrole. Le solvant est ensuite évaporé et le résidu séché et pesé.

2-2 Procédé B :

L'échantillon est traité par l'acide chlorhydrique à chaud pour hydrolyser les savons et les lipides complexes (non extractibles directement par les solvants organiques usuels). Après filtration et séchage, l'échantillon est traité selon le procédé A.

3) REACTIFS

4-1 Ether de pétrole technique 40-65°C (*référence VWR 23837.360*)

Phrases de risques R11-51/53-65-66-67 hautement inflammable, nocif, dangereux pour l'environnement

4-2 Acide chlorhydrique à 36% -12N ; dilution de la solution au ¼ pour 3N

4-3 Célite 545 (*référence VWR 22552.290*) phrases de risques R48/20

4) MATERIEL

5-1 Balance analytique de précision 1/10ème mg
5-2 Cartouche de cellulose 33*80 mm référence Gerhardt
5-3 Erlenmeyer de 200ml
5-4 Bain Marie ou bain sec avec agitation
5-5 Creusets filtrants diamètre 35mm, hauteur 75 mm porosité 1
5-6 Etuve réglée à 103°C ±3°C
5-7 Etuve réglée à 80°C ±3°C
5-8 Coton hydrophile
5-9 Billes de verre ou Pierre ponces
5-10 Dessiccateur
4-11 Extracteur GERHARDT

5) MODE OPERATOIRE

Sortir l'échantillon du réfrigérateur à +4°C au moins 1 heure avant de peser la prise d'échantillon

5-1Procédé A

Dans une cartouche de cellulose peser à 0.1mg environ 5 g de la matière à doser. La prise d'échantillon doit être moindre si la teneur en matière grasse est supérieure à 10%.
Recouvrir l'échantillon avec un tampon de coton hydrophile.
Placer la cartouche sur son support métallique
Poser la cartouche et son support sur le bêcher d'extraction taré, dans lequel on aura introduit 2 pierres ponces ou 2 billes si la matière grasse doit faire l'objet d'analyse ultérieure.
Introduire 150ml de solvant en prenant soin de bien imprégner la cartouche par le dessus.
Placer les béchers sur l'appareil

5-1-1Extraction des matières grasses au Soxtherm

Programme de travail méthode EASM-150°C
Ouvrir l'eau et fixer la pression de l'air à 4.2bar
Sécurité 200°C
Volume de solvant 150mL
Température de chauffe 150°C
Trempage 30 min
Récupération solvant 4*15mL
Rinçage 1h00
Récupération solvant B 15min
Temps de remplissage du collecteur 3min
Temps de vidange du collecteur 3s

5-1-2 Séchage du bécher

Sécher à l'étuve à 80°C pendant 15min
Mettre au dessiccateur sous vide
Laisser refroidir 1 h au minimum au dessiccateur avant de peser

5-1 Procédé B

Dans un erlenmeyer de 200 mL peser à 0.1 mg près 2.5g environ d'aliment *(ajuster la prise d'essai en fonction de la teneur supposée en lipides ou effectuer une délipidation grossière à froid au préalable).*
Ajouter environ 2 g de célite 545 et 60 mL d'acide chlorhydrique 3N
Boucher avec un bouchon percé
Porter à ébullition douce sur plaque chauffante avec agitation aux environs de 180°C pendant 1heure.
Préparer un creuset filtrant dans lequel on aura placé 1 g de célite
Laisser refroidir jusqu'à 50°C
Filtrer sous vide
Laver avec 200 mL d'eau distillée à 50°C (4 à 5 rinçages avec 50mLenviron) récupérer ce premier filtrat dans un bidon de déchet puis à nouveau rincer avec 200ml d'eau distillée à 50°C.
Bien évacuer l'eau, décompacter, sécher à l'étuve à 80°C pendant 4h ;
remuer de temps en temps les agglomérats
Extraire ensuite les matières grasses selon le procédé A et Le programme EASM-150°C.

6) EXPRESSION DES RESULTATS

m = masse d'échantillon +
T = poids du bêcher + billes de verre ou pierres ponces
L = poids de T + matières grasses

% de lipides totaux = ((L – T) / m) × 100

7) REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE:

Aliment des animaux Dosage de la matière grasse NF V18-117

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom : Fonction : Visa :	Dalila FEUILLET	Nathalie MOREAU	Renaud POUGET

Annexe 9 : Principe et mode opératoire de la détermination des cendres brutes

INRA Unité EASM	**Mode Opératoire**	Réf. : MO-LC-140 Cendres Brutes Version : 1 Date de création : 28/01/04 page 19/76
	DETERMINATION DES CENDRES BRUTES **dans les aliments et les fientes**	

1) Objet et domaine d'application

L'objectif de ce mode opératoire est de présenter la procédure de détermination des cendres brutes d'un échantillon aliment des animaux et/ou de fientes.

2) Références

Aliment des animaux - Préparation des échantillons pou r essai NF V 18-091
Aliment des animaux - Dosage des cendres brutes NF V 18-101
Mode opératoire – MS_MO_D_01a Détermination de la teneur en eau

3) Principe

Il s'agit de détruire la matière organique par incinération et de peser le résidu obtenu.

4) Appareillage

Balance analytique précision au 1/10 mg
Four à moufle équipé d'un thermostat (550°C + - 20°C)
Etuve électrique bien ventilée, réglable à 103°C+-1°C
Dessiccateur avec du gel de silice déshydraté (attention gel de silice phrase de risque R49 peut causer le cancer par inhalation)
Creuset en porcelaine

5) Mode opératoire

5-1 Préparation de l'échantillon

Echantillon aliment des animaux broyé à la grille 0.5mm du Recht ou de fiente lyophilisée puis broyée à la grille 0.5mm au Recht.

5-2 Prise d'essai

Peser, à 1mg près, environ 2.5 g d'échantillon pour essai dans un creuset porcelaine préalablement séché à l'étuve à 103°C au minimum 30mn et taré à 1mg près après passage au dessiccateur.

5-3 Détermination des cendres brutes.

Placer les creusets dans le four à moufle froid.
Réglage du thermostat à 550°C +/- 20°C.
Maintenir la température à 550°C pendant 6 h au minimum pour l'obtention de cendres dépourvues de particules charbonneuses.
Laisser redescendre la température du four avant de récupérer les creusets et les placer au dessiccateur jusqu'à température ambiante.
Peser rapidement à 0.001g près

5-4 Nombre de déterminations.

Effectuer 3 déterminations sur le même échantillon.

6) Expression des résultats

6-1Calcul de la teneur en cendres brutes

MM % = ((m2 – m0) * 100 /

m0 est la masse en g du creuset vide
m1 est la masse en g du creuset vide + de la prise d'essai
m2 est la masse en g du creuset et des cendres brutes
MM matière minérale ou cendres

6-2 Calcul de la teneur en cendres en % de la matière sèche

MM%MS = (((m0 + ms) – (m0 + ms) / (m0 +ms

ms est la masse en g du creuset vide + de la prise d'essai sèche.
Au préalable réaliser la teneur en eau de l'échantillon puis mettre au four et procéder comme décrit pour la teneur en cendres brutes.

7) Autocontrôle

Dans le cadre de l'autocontrôle on effectue des déterminations de matières minérales sur des échantillons « témoins labo UEM » dont la teneur en matières minérales est connue.
Fréquence de passage 3 témoins pour 12 échantillons à analyser. Au minimum 1 témoin par série de minéralisation.
Règles de décision sur la carte de contrôle des résultats individuels.

- Témoins entre les limites de surveillance : résultats satisfaisants
- Témoins entre les limites de surveillance et de contrôle : à surveiller
- Témoins au delà des limites de contrôle : série d'analyses à refaire; rédiger une fiche d'anomalie.

8) Répétabilité

La différence entre les deux résultats de deux déterminations parallèles effectuées sur un même échantillon dépend de la teneur en cendres brutes et ne doit pas dépasser la valeur R

Teneur en cendres de l'échantillon	R
T<3%	0.3 val. absolue
3%< T< 5%	10% val. relative
5%< T< 20%	0.5 val absolue
20%< T < 40%	2.5% val. relative
T>40%	1 val. absolue

	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
Nom : Fonction : Visa :	Dalila FEUILLET	Thierry SOUCHE	Renaud POUGET

Annexe 10 : Plan d'expérience de l'essai « parquet » sur coq – série 1

Cage	Traitement		Cage	Traitement		Cage	Traitement		Cage	Traitement
101	R1		201	R3		301	R6		401	R4
102	R2		202	R8		302	R1		402	R1
103	R3		203	R1		303	R8		403	R12
104	R12		204	R12		304	R2		404	R3
105	R6		205	R2		305	R3		405	R6
106	R8		206	R6		306	R12		406	R8
107	R4		207	R4		307	R4		407	R2
108	R3		208	R1		308	R3		408	R4
109	R8		209	R2		309	R6		409	R3
110	R1		210	R8		310	R1		410	R8
111	R2		211	R12		311	R12		411	R1
112	R4		212	R3		312	R4		412	R6
113	R6		213	R6		313	R2		413	R12
114	R12		214	R4		314	R8		414	R2
115	NON		215	NON		315	NON		415	NON

Annexe 11 : Plan d'expérience de l'essai « parquet »

Case	Traitement	Bloc	Couloir	Bloc	Traitement	Case
24	Blanc				R4	25
23	R12				R7	26
22	R2				R8	27
21	R1				R9	28
20	R3				R10	29
19	R6				R14	30
18	R13				R5	31
17	R11				R15	32
16	R2				R14	33
15	R15				R7	34
14	R12				R13	35
13	R4				R3	36
12	R7				R9	37
11	R8				R6	38
10	R10				R12	39
9	R1				R15	40
8	R11				R8	41
7	R14				R10	42
6	R13				R2	43
5	R6				R5	44
4	R9				R1	45
3	R3				R11	46
2	R5				R4	47
1	Blanc				Blanc	48
			Entrée SAS			

Annexe 12 : ANALYSE DES DONNES AVEC LE LOGICIEL R
- Exemple de l'étude du Poids à 54 jours des poulets dans l'essai parquet -

Rappel du modèle étudié :

$$x_{ir} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ir} \text{ avec i = 1 à 15 et r = 75}$$

Où x_{ir}= Réponse observée pour la $r^{ième}$ répétition du régime i

μ = Moyenne générale ; α_i= Effet du régime ; ε_{ir}=Effet résiduel

```
>Modele <- aov(PdsJ54 ~ Reg, data=BD)
>summary(Modele)
```

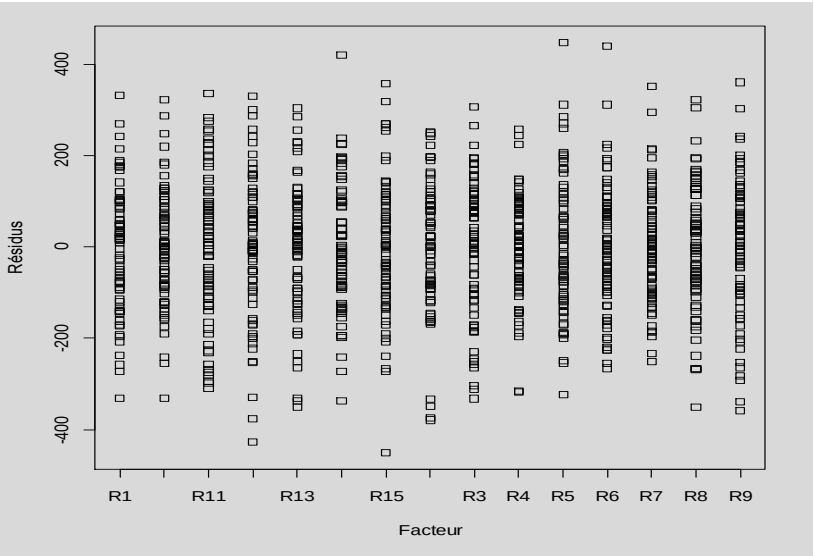
1. Etude des résidus

a. L'indépendance des résidus

L'hypothèse d'indépendance des résidus est supposée car les animaux ont été répartis de façon aléatoire entre les 15 traitements expérimentaux selon le plan d'expérience définie (Cf. Annexe 10).

De plus, nous réalisons la cartographie des résidus :

```
> stripchart(Modele$residuals~Facteur, xlab="Facteur", ylab="Résidus", vertical=T)
```



b. La normalité des résidus

Réalisation du test de Shapiro-Wilk avec Ho= Les résidus suivent une loi normale :

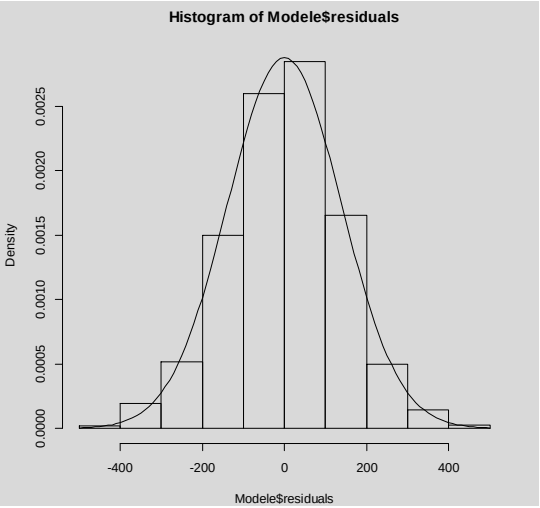
```
>shapiro.test(Modele$residuals)
```

```
Shapiro-Wilk normality test
data:  Modele$residuals
W = 0.9981, p-value = 0.229
```

On accepte l'hypothèse de normalité si p-value>0,05

Etude graphique de la normalité :

```
>hist(Modele$residuals,freq=F)
>curve(dnorm(x,mean(Modele$res),sd(Modele$res)),add=T)
```



c. L'homoscédasticité des résidus

Réalisation du test de Lèvène avec Ho= Les variances résiduelles sont homogènes :

```
>leveneTest(Modele$residuals, Facteur)
```

```
> leveneTest(Modele$residuals, Facteur)
Levene's Test for Homogeneity of Variance (center = median)
      Df F value Pr(>F)
group  14  1.2626 0.2241
    1108
```

On accepte l'hypothèse Ho d'homoscédasticité des résidus si p-value>0,05

2. Tableau de l'ANOVA

Hypothèses testées :

- H_0 = Les moyennes sont toutes égales
- H_1= Au moins une des moyennes est différente

```
>anova(Modele)
```

```
> anova(Modele)
Analysis of Variance Table

Response: Y
          Df  Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
Facteur    14 6804009  486001  24.946 < 2.2e-16 ***
Residuals 1108 21586528   19482
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

On accepte Ho si p-value>0,05

Si p-value>0,05, on conclue qu'il y a un effet du facteur (ici le régime) sur la variable et on réalise une comparaison multiple de moyennes

3. Comparaison multiple de moyennes

Réalisation du test de Tukey qui compare deux à deux les moyennes par ordre croissant avec Ho= Les moyennes sont égales

```
>TukeyHSD(Modele, ordered = TRUE)
```

```
> TukeyHSD(Modele, ordered = TRUE)
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level
    factor levels have been ordered

Fit: aov(formula = Y ~ Facteur, data = BD)

$Facteur
          diff          lwr          upr       p adj
R5-R11   88.1744144   10.438999   165.90983   0.0103700
R7-R11   170.0666667  92.592548   247.54079   0.0000000
R13-R11  182.6266667  105.152548  260.10079   0.0000000
R6-R11   191.8666667  114.392548  269.34079   0.0000000
R9-R11   200.9866667  123.512548  278.46079   0.0000000
R12-R11  216.1333333  138.659214  293.60745   0.0000000
R14-R11  235.9333333  158.459214  313.40745   0.0000000
R8-R11   236.4666667  158.992548  313.94079   0.0000000
R3-R11   252.6133333  175.139214  330.08745   0.0000000
R1-R11   264.2666667  186.792548  341.74079   0.0000000
...
R7-R5    81.8922523   4.156837    159.62767   0.0276367
R10-R1    10.7333333  -66.740786  88.20745    1.0000000
R4-R1    18.9200000   -58.554119  96.39412    0.9999601
R15-R1   48.0933333   -29.380786  125.56745   0.7281955
R10-R2   9.5147748    -68.220640  87.25019    1.0000000
R4-R2    17.7014414   -60.033974  95.43686    0.9999832
R15-R2   46.8747748   -30.860640  124.61019   0.7678441
R4-R10   8.1866667    -69.287452  85.66079    1.0000000
R15-R10  37.3600000   -40.114119  114.83412   0.9497540
R15-R4   29.1733333   -48.300786  106.64745   0.9947129
```

On accepte Ho pour une comparaison si p-value ajustée > 0,05

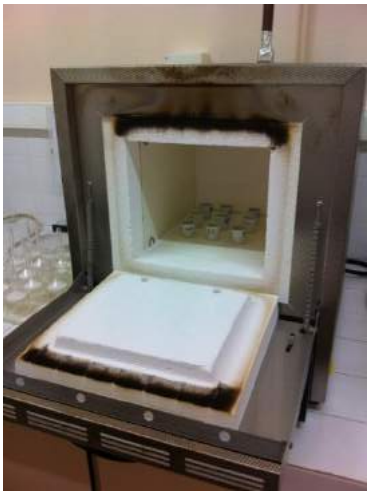
Annexe 13 : Illustrations des essais réalisés

I. Conception des aliments expérimentaux

Photographies : Matériels nécessaires à la conception des aliments expérimentaux
(De gauche à droite : broyeur, pétrin et mélangeuse)

Photographies : Granuleuse et exemple de granulés obtenus

II. Analyses au laboratoire



Photographies : Matériels d'analyse du laboratoire
(De gauche à droite : Four à moufle froid, matériels de titrage de l'azote et calorimètre)

III. Essai 1 : Evaluation de la valeur nutritionnelle de matières premières biologiques chez le poulet à croissance lente

Photographie : Exemple de parquets

Photographies : Allotement et mise en place des poussins

Photographie : Animaux à J54

Photographie : Pesée des animaux à J54

IV. Essai 2 : Etude comparative de formules alimentaires 100% biologiques chez le poulet entre 29 et 57 jours d'âge

Photographie : Dispositif digestibilité pour poulets

Photographie : Dispositif digestibilité pour coq

Photographie : Barquettes de fientes lyophilisées pour broyage et analyse