



Effets des pratiques d'alimentation et de gestion des animaux sur les résultats économiques et les impacts environnementaux de l'atelier d'engraissement porcin : une approche par modélisation

**Elodie Lopez**

Elève DU Conseiller en stratégies des systèmes polyculture-élevage, ALPA-Is4a

**Florence Garcia-Launay**

Maître de stage, INRA

**Emilie Lagarde**

Enseignant responsable

**Mémoire de stage**

Mars – Août 2016

Mon stage s'inscrit dans la perspective de l'utilisation d'un outil d'aide à la décision, un modèle représentant le fonctionnement d'un élevage porcin, dans le cadre du projet CASDAR MOGADOR.



Is4a  
9 rue de la Vologne -  
Bâtiment F  
54520 Laxou

INRA  
Domaine de la Prise  
35590 Saint-Gilles

Partenaires du projet  
CASDAR - MOGADOR



## Remerciements

Je remercie Florence Garcia Launay, ma maître de stage, pour sa grande disponibilité (même en vacances !) et sa gentillesse. Je remercie également Alice Cadéro pour son aide (surtout en programmation, ma matière de prédilection...). Leur aide m'a permis de me sentir à l'aise dans la réalisation de mon stage et au sein de l'unité. Merci également à Florence pour ses conseils sur mon projet professionnel.

Je remercie aussi Alexia Aubry pour son aide et cette demi-journée à l'unité expérimentale du Rheu de l'IFIP.

Ce stage a pu se réaliser grâce à la participation financière de l'INRA, l'IFIP et GIS Elevages Demain et je les en remercie.

Il fait bon vivre à l'INRA de Saint-Gilles et je remercie toutes les personnes que j'ai rencontrées pour cette bonne ambiance (les thésards et les autres stagiaires de la pause midi en particulier pour tous les moments bien drôles durant ces 6 mois, les thésards du bus, les chercheurs de Sysporc).

Enfin, je remercie l'ALPA-Is4a, pour cette formation où j'ai beaucoup appris. La passion des intervenants est communicative. Je les remercie aussi pour leurs conseils et leur écoute (Emilie Lagarde, Frederic Pierlot...).

La Bretagne ça vous gagne ☺



## Résumé

Cette étude est basée sur l'utilisation du modèle du projet CASDAR-MOGADOR (individu-centré et stochastique) pour explorer les effets techniques, économiques et environnementaux de différentes pratiques d'alimentation et de gestion des fins de bandes.

Certains paramètres de notre étude sont fixes : choix de la population étudiée (porcs performants), certaines pratiques d'alimentation (teneur en lysine à 110% du besoin de la femelle moyenne, composition alimentaire...) et contexte économique (prix d'achat et de vente de février 2014). Les 7 paramètres modulés, selon un plan d'expériences complet à 192 expérimentations virtuelles, sont : rythme de cohorte de 7 jours vs 35 ; salle tampon ou pas ; permission alimentaire (restriction à 2,5 kg/j ou *ad libitum*) ; nombre de phases (biphase ou multiphase journalier) ; échelle de la séquence alimentaire (individu, case ou salle) ; allotement au poids vs au hasard ; nombre de places par case (10 ou 30).

Les résultats sont étudiés par ANOVA (résultats individuels des porcs pour chaque scénario), pour mesurer l'impact des effets des 7 variables qualitatives, et par ACP et CAH (un résultat moyen par scénario), pour dégager des typologies.

Cette étude montre que l'optimum économique et environnemental ne correspond pas à l'optimum technique.

La combinaison des pratiques d'alimentation « rationnement » et « biphase » maximise les performances zootechniques. Le rationnement et la conduite MPJ donnent également de bons résultats techniques même s'ils sont inférieurs car le premier améliore un peu plus que le second détériore.

Dans les conditions de cette étude (niveau en lysine élevé, porcs performants), les performances des animaux sont maximisées, la variabilité est minimisée. Ainsi, l'augmentation de l'âge d'abattage n'améliore que faiblement le pourcentage de porcs dans le cœur de gamme (car le porc à croissance rapide produit de plus en plus de gras au cours de sa vie, par rapport aux muscles). Par contre, la limitation de l'âge d'abattage permet de réduire la quantité d'aliments achetés et de diminuer les rejets dans l'environnement, plus fortement que l'augmentation du nombre de porcs dans le cœur de gamme.

Ainsi, les meilleures pratiques en termes de performances zootechniques sont une alimentation rationnée, une conduite biphase et un rythme de cohorte de 35 jours. Les meilleures pratiques en termes d'économie et d'environnement sont une alimentation rationnée, une conduite multiphase journalier et un rythme de cohorte de 35 jours.



## Sommaire

<b>Partie 1 : Présentation de l'INRA</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Approche globale de l'INRA</b> .....	<b>2</b>
1.1. Présentation générale de l'INRA .....	2
1.2. Environnement de travail et matrice SWOT.....	3
<b>2. Mes perspectives par rapport à mon projet professionnel</b> .....	<b>4</b>
<b>Partie 2 : Sujet de stage</b> .....	<b>5</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>6</b>
<b>I. Contexte et problématiques de l'étude</b> .....	<b>7</b>
1. Marché et filière porcine en France.....	7
2. Pratiques d'élevage porcin les plus courantes .....	8
3. La variabilité de poids et la conduite des fins de bandes .....	11
<b>II. Matériels et méthodes</b> .....	<b>12</b>
<b>1. Le modèle du projet CASDAR-MOGADOR</b> .....	<b>12</b>
1.1. Description du modèle .....	12
1.2. Modèle InraPorc.....	13
<b>2. Mise en application des modules économie et environnement du modèle</b> .....	<b>15</b>
2.1. Démarche de la programmation sur R .....	15
2.2. Module économie .....	15
2.3. Module environnement .....	16
<b>3. Sélection des scénarios</b> .....	<b>18</b>
3.1. Module animal .....	18
3.2. Module alimentation.....	18
3.3. Module éleveur .....	18
3.4. Choix des scénarios .....	19
<b>4. Méthodes statistiques mises en œuvre</b> .....	<b>20</b>
4.1. Analyse de variance.....	20
4.2. Analyse multivariée .....	21
<b>III. Résultats et interprétations</b> .....	<b>22</b>
<b>1. Résultats</b> .....	<b>22</b>
1.1. Quelques ordres de grandeur .....	22
1.2. Résultats de l'ANOVA et l'ACP.....	23
1.4. Résultats de la CAH .....	30
<b>2. Interprétation des résultats et discussion</b> .....	<b>31</b>
2.1. Discussions de la méthodologie .....	31
2.2. Hiérarchie des facteurs.....	32





2.3. Construction des classes en termes technique, économique et environnemental .....	35
<b>Conclusions .....</b>	<b>37</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>39</b>



## Index

AA : acide aminé  
AC : indicateur calculé par ACV (impact sur l'acidification)  
ACV : Analyse du cycle de vie  
AL : *ad libitum*  
BP : biphase  
CAH : Classification ascendante hiérarchique  
CC : indicateur calculé par ACV (impact sur le changement climatique)  
CED : indicateur calculé par ACV (énergie consommée)  
EN : énergie nette  
CG : cœur de gamme  
CMJ : consommation moyenne journalière  
CV : coefficient de variation  
DAC : distributeur automatique de concentrés  
EchI : échelle de l'individu  
EchC : échelle de la case  
EchS : échelle de la salle  
EU : indicateur calculé par ACV (impact sur l'eutrophisation)  
GMQ : gain moyen quotidien  
GTE : Gestion technico-économique  
GTTT : Gestion Technique des Troupeaux de Truies  
IC : indice de consommation  
LotH : allotement au hasard  
LotP : allotement au poids  
LYSd : lysine digestible  
MAT : matière azotée totale  
MPJ : multiphase journalier  
OS : indicateur calculé par ACV (occupation des sols)  
PAC : Politique commune agricole  
PME : petites et moyennes entreprises  
PV : poids vif  
RC : rythme de cohorte  
Rt : restriction  
TMP : taux de Muscles des Pièces



## Tables des tableaux

Tableau 1 : Matrice SWOT de l'INRA

Tableau 2 : Grille EUROP

Tableau 3: Grille UniPorc de paiement du porc - applicable au 30 mars 2015

Tableau 4 : Les 5 paramètres dans InraPorc décrivant le profil des porcs

Tableau 5 : Contraintes de formulation appliquées dans l'étude (basée sur les recommandations du CORPEN 2003)

Tableau 6 : Composition et prix en matières premières des aliments de croissance et de finition du porc

Tableau 7 : Surface minimale réglementaire par animal

Tableau 8 : Variables du modèle MOGADOR modulées

Tableau 9 : Description des 14 variables quantitatives de l'ANOVA

Tableau 10 : Description des 10 variables actives de l'ACP

Tableau 11 : Description des 10 variables illustratives de l'ACP

Tableau 12 : Impacts environnementaux moyen dans l'étude et dans une étude de Garcia Launay F. et al. (2014)

Tableau 13 : Résultats de l'ANOVA sur les variables environnementales, économiques et techniques des facteurs "plan de rationnement", "type de séquence alimentaire" et "échelle de la séquence alimentaire"

Tableau 14 : Résultats de l'ANOVA sur les variables environnementales, économiques et techniques des facteurs "allotement", "plan de rationnement" et "type de séquence alimentaire"

Tableau 15 : Résultats de l'ANOVA sur les variables environnementales, économiques et techniques des facteurs "présence ou pas d'une salle tampon", "plan de rationnement" et "échelle de la séquence alimentaire"

Tableau 16 : Résultats de l'ANOVA sur les variables environnementales, économiques et techniques des facteurs "rythme de cohorte" et "présence ou pas d'une salle tampon"

Tableau 17 : Résultats de l'ANOVA sur les variables environnementales, économiques et techniques des facteurs "allotement", "nombre de places par case" et "échelle de la séquence alimentaire"

Tableau 18 : Caractéristiques des classes

## Tables des figures

Figure 1 : Les pièces issues de la découpe du porc

Figure 2 : Bâtiments pour les truies

Figure 3 : Bâtiments pour les porcs en croissance

Figure 4 : Schéma générale du concept de InraPorc

Figure 5 : Caractérisation des profils de porcs par 5 paramètres

Figure 6 : Description globale du fonctionnement du modèle MOGADOR et sa programmation sur R

Figure 7 : Procédure générale d'une Analyse de Cycle de Vie (ACV)

Figure 8 : Etapes du cycle de vie de la production porcine par l'ACV

Figure 9 : Evolution du GMQ en fonction de l'espace pour des porcs charcutiers sur caillebotis

Figure 10 : Conduite en 4 bandes avec 3 salles d'engraissement et 7 jours de vide sanitaire

Figure 11 : Conduite en 20 bandes avec 17 salles d'engraissement et 7 jours de vide sanitaire

Figure 12 : Evolution des besoins en lysine (en rouge) et des apports en lysine en biphasé (en bleu) en fonction du poids du porc en croissance



Figure 13 : Evolution des besoins en lysine (en rouge) et des apports en lysine en 10 phases (en bleu) en fonction du poids du porc en croissance

Figure 14 : Contribution de la production des aliments, des rejets en bâtiments et de la gestion des effluents à l'impact environnemental du kg de porc vif

Figure 15: Représentation des variables de l'ACP

Figure 16 : Etude des corrélations Marge / Coût des aliments

Figure 17 : Etude des corrélations Marge / Produit

Figure 18: Etude des corrélations Age de fin / Poids vif de fin

Figure 19 : Etude des corrélations Age de fin / Coût des aliments

Figure 20 : Etude des corrélations IC / Coût des aliments

Figure 21 : Positionnement des différents "scénarios" étudiés sur les trois axes d'analyse de l'ACP - un graphique par variable qualitative - une couleur par modalité

Figure 22 : Description des variables économiques par classe (différence de la valeur de la classe et de la moyenne globale)

Figure 23 : Description des variables environnementales par classe (différence de la valeur de la classe et de la moyenne globale)

Figure 24 : Description de l'homogénéité/hétérogénéité de poids vif des porcs par classe (différence de la valeur de la classe et de la moyenne globale)

Figure 25 : Description de 3 variables techniques par classe (différence de la valeur de la classe et de la moyenne globale)

Figure 26 : Dépôt de protéines et dépôt de lipides en alimentation *ad libitum* en fonction de l'énergie nette ingérée





## **Partie 1 : Présentation de l'INRA**



## 1. Approche globale de l'INRA

### 1.1. Présentation générale de l'INRA

- L'INRA en France

L'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) est un établissement public à caractère de recherche appliquée et finalisée, qui a pour vocation de produire des connaissances scientifiques au service de l'intérêt public, principalement dans les domaines de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement.

L'Institut s'appuie sur 200 unités de recherche (de gestion en propre et/ou partenariale). Il est divisé en 13 départements scientifiques, réparties géographiquement sur 17 centres.

L'INRA compte environ 9000 personnels titularisés. François Houllier était le Président de l'INRA de juillet 2012 à juillet 2016. C'est Philippe Mauguin qui lui succède, alors qu'il était chef de cabinet du Ministre de l'Agriculture et porte-parole du gouvernement.

- L'INRA en Bretagne

L'INRA de Rennes Bretagne Basse-Normandie compte aujourd'hui 13 unités de recherche dont 5 UMR, en partenariat avec Agrocampus Ouest et les Universités de Rennes et Caen, 5 unités d'expérimentation et 2 unités d'appui à la recherche. La structure emploie 1000 personnes dont un peu plus de 700 permanents, réparties sur 10 sites géographiques en Bretagne et Basse Normandie.

En Bretagne, l'essentiel des activités de l'INRA se déploie en Ile-et-Vilaine, et plus particulièrement dans l'agglomération rennaise qui héberge 85% des effectifs du centre, notamment en raison de ses liens avec l'école agronomique Agrocampus Ouest. L'INRA de Rennes est aujourd'hui le quatrième centre de recherche INRA de France et l'un des Etablissements publics scientifiques et techniques les mieux représentés en Bretagne et Basse-Normandie.

- L'UMR Pegase

L'Unité Mixte de Recherche « Physiologie, Environnement et Génétique pour l'Animal et les Systèmes d'Elevage » (UMR PEGASE) mène des recherches sur la biologie animale et les systèmes d'élevage dans le but d'améliorer la durabilité et la compétitivité de l'élevage. Elle a été créée en 2012 et est sous la double tutelle de l'INRA et d'Agrocampus Ouest.

L'UMR PEGASE coordonne une formation BAC+5 en Sciences et productions animales destinée au cursus ingénieur agronome à Agrocampus Ouest et aux universitaires. Cette formation a des finalités à la fois professionnelle ou de recherche.

Cette unité de recherche compte environ 150 agents titulaires, dont 45 chercheurs. Elle accueille chaque année environ 20 doctorants et post-doctorants et environ 20 étudiants de masters.

La direction de l'unité est assurée par le collège de direction (actuellement, Jaap van Milgen, directeur d'unité, Sandrine Lagarrigue et Philippe Faverdin directeurs-adjoints).

L'unité travaille sur différentes implantations à Saint-Gilles, Rennes et Le Rheu. Elle possède aussi des installations expérimentales pour les vaches laitières, les chèvres et les porcs.

L'unité est organisée en 11 équipes : 7 équipes de recherche et 4 équipes d'appui à la recherche.

Tableau 1 : Matrice SWOT de l'INRA – Source : réalisation personnelle.

<b>Forces</b>	<b>Faiblesses</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Structure nationale, implantée sur tout le territoire</li> <li>• Diversité des sujets abordés (toutes les filières sont étudiées)</li> <li>• Conférences, groupe de travail avec des professionnels en France ou à l'étranger</li> <li>• Reconnaissance nationale et internationale auprès des professionnels du secteur</li> <li>• Panel de formations proposées</li> <li>• Horaires et cadre de travail agréable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CDI accessibles par concours</li> <li>• Beaucoup de stagiaires comparés aux CDD et titulaires</li> </ul>
<b>Opportunités</b>	<b>Menaces</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Budget important du Ministère alloué à l'agroécologie...</li> </ul>	

Les 7 équipes de recherche sont :

- SysLait – Les systèmes laitiers ;
- SysPorc – Les porcs dans les systèmes d'élevage ;
- Lactation – Physiologie de la lactation et synthèse du lait ;
- Adaptation – Physiologie de l'adaptation, nutrition et santé animale ;
- Croissance – Physiologie et métabolisme de la croissance ;
- GG – Génétique et génomique ;
- AliNut – Alimentation et nutrition.

- L'équipe SysPorc

Les travaux de l'équipe SysPorc s'articulent autour de deux axes principaux :

- comprendre le comportement des individus dans leur milieu de vie pour proposer des systèmes de logement et des modes de conduites innovants ;
- analyse et optimisation multicritères des systèmes d'élevage.

A Saint-Gilles, se trouvent les installations expérimentales de production porcine suivantes :

- d'un élevage de porcs de production type naisseur-engraisseur (180 truies) ;
- d'un élevage de porcs miniatures (60 truies) ;
- d'un secteur dit de métabolisme et physiologie (chirurgie, chambres respiratoires, cages de digestion...), composé de bâtiments agréés aux normes animaleries ;
- d'un moulin expérimental (fabrication d'aliments pour porcs, volaille, ruminants) ;
- d'un abattoir expérimental.

Organigramme de l'équipe SysPorc :

Chef d'équipe/chercheur titulaire : Ludovic Brossard

Chercheurs/euses titulaires : 4 dont Florence Garcia-Launay

Doctorants : 2 dont Alice Cadéro

Technicien : 1

Stagiaires : 4 dont moi

## 1.2. Environnement de travail et matrice SWOT

Des réunions de suivi de l'avancement de la thèse d'Alice Cadéro et de mon stage se déroulent dès que cela est jugé nécessaire, avec Florence Garcia-Launay (INRA, Chercheuse et Ingénieur de recherche), Alexia Aubry (IFIP, Ingénieur agronome), Alice Cadéro (en thèse CIFRE IFIP-INRA) et moi.

De plus, une réunion d'équipe Sysporc a lieu tous les deux mois environ. Les sujets principalement abordés sont le budget, les expérimentations / programmes en cours, les projets en cours de dépôt ou appels à projets, les futures thèses, CDD...

L'INRA présente un environnement de travail agréable (horaires, bon encadrement, cafétéria...). C'est une structure reconnue au niveau national et international, qui a l'habitude de recevoir des stagiaires, avec des chercheurs qui connaissent bien les attendus du mémoire du stage.

Le tableau 1 détaille les forces, faiblesses, opportunités et menaces de l'INRA.



## 2. Mes perspectives par rapport à mon projet professionnel

L'INRA recrute des CDD courts et beaucoup de stagiaires. Pour obtenir un CDI, il faut passer un concours qui permet d'être « titularisé ». Les inscriptions ont lieu entre mi-février et mi-mars pour une embauche début septembre. Les concours portent sur un poste précis. Le nombre (environ 80) et le type de postes ouverts aux concours (techniciens, administration, ingénieur d'étude, ingénieur de recherche) dépendent des besoins de l'INRA et sont publiés sur le site de l'INRA au moment de l'ouverture des inscriptions.

Ce stage m'a confirmé que je préférerais travailler à l'échelle d'un système, d'une filière.

Grâce à ce stage, j'ai pu satisfaire ma curiosité sur les pratiques d'élevage porcin, la modélisation et les nouveaux outils d'aide à la décision. Je serais heureuse de pouvoir approfondir mes connaissances sur ces sujets.

Je suis intéressée par de nombreuses thématiques et j'ai encore beaucoup à apprendre. Ce qui est compte pour moi, dans mon futur métier, c'est de réaliser des études, travailler en équipe, faire du terrain et vulgariser l'information, en restant sur des thématiques agricoles, qui prennent en compte l'environnement. Je vise à la fois des postes d'ingénieur agro-économiste ou des postes plus techniques (chargée d'études, conseillère...).





## **Partie 2 : Sujet de stage**



## Introduction

La production porcine est aujourd'hui confrontée à un double enjeu : renforcer sa compétitivité et réduire ses impacts sur l'environnement.

Les producteurs de porcs considèrent que le prix de vente n'est pas suffisamment élevé pour financer leurs coûts de production et assurer la rentabilité de leur exploitation. En juin 2015, ils ont réclamé un prix de vente du porc au kilo de 1,40 euros sur le Marché du porc breton de Plérin, niveau difficilement atteint cet été là (Marché du porc breton, 2015). A titre de comparaison, le prix n'était que de 1,34 euros le kilo en juin 2016 (Marché du porc breton, 2016). Le coût des aliments représente environ les deux tiers du coût de production de l'élevage (IFIP, 2013). Il est estimé à 225 euros la tonne en engraissement en avril 2016 (IFIP, 2016), soit environ 80 centimes le kilo de carcasse froide produite.

Les principales émissions et excréments du porc sont l'azote, le phosphore, le cuivre et le zinc, depuis les fèces et l'urine. Notamment, c'est en phase d'engraissement que les porcs sont les plus gros producteurs de rejets. En moyenne, un porc à l'engrais élevé sur caillebotis rejette respectivement 2,2, 1,4 et 2,0 kg d'azote, de  $P_2O_5$  et  $K_2O$  entre 27 et 113 kg, dans le lisier qu'il produit (Texier C. et al., 2003).

Afin de répondre à ces enjeux économiques et environnementaux, des outils d'aide à la décision, s'appuyant sur la modélisation, à destination des conseillers agricoles ou des éleveurs, ont été créés pour simuler le fonctionnement des élevages porcins et calculer des indicateurs de durabilité. Un modèle est une représentation simplifiée d'un système d'élevage. Il fournit des outils de conseil et permet l'apport de connaissances (moyen privilégié pour s'affranchir des contraintes d'observation et d'expérimentation de terrain).

Il existe plusieurs modèles qui ont pour vocation d'étudier les effets économiques et/ou environnementaux de différentes stratégies employées par les éleveurs, mais peu d'entre eux incluent les interactions entre pratiques d'alimentation, d'allotement et de gestion des fins de bandes.

Dans ce contexte, le projet CASDAR MOGADOR (associant l'IFIP – Institut du Porc, l'INRA UMR Pégase et l'ACTA RMT Modélisation et Agriculture) a pour objectif la construction d'un modèle représentant le fonctionnement d'un élevage porcine. En entrées, il intègre des pratiques d'élevage. En sorties, il fournit des résultats sur les performances de croissance des animaux, des indicateurs économiques et environnementaux.

Cette étude est basée sur l'utilisation du modèle pour explorer les effets techniques, économiques et environnementaux de différentes pratiques d'élevage. Deux leviers à disposition des producteurs sont étudiés dans ce mémoire :

- d'une part, les pratiques de gestion en fin d'engraissement (présence ou non d'une salle tampon), qui influencent la variabilité de poids inter-individuelle et donc la proportion de carcasses produites dans la gamme de poids assurant un paiement optimal ;
- d'autre part, les pratiques d'alimentation (biphase/multiphase, rationnement/*ad libitum*, allotement, nombre de places par case...).

La démarche repose sur l'expérimentation virtuelle, c'est-à-dire que nous cherchons des pratiques d'élevage aux impacts contrastés et significatifs, pas toujours représentatif de la réalité sur le terrain, bien qu'il s'agisse des pratiques les plus courantes généralement.

La première partie du mémoire permet d'ancrer le sujet, en présentant les pratiques d'élevage les plus courantes et qui peuvent influencer l'hétérogénéité de poids chez les animaux.

La deuxième partie décrit d'une part, le modèle du projet CASDAR-MOGADOR et ses différents modules, notamment économique et environnemental (méthode de l'Analyse du cycle de vie pour ce



dernier) et d'autre part, la méthodologie retenue (analyse de variance, analyse en composantes principales et classification ascendante hiérarchique).

Enfin, les résultats obtenus sont présentés, avant d'être interprétés et discutés. Les pratiques d'élevage, qui impactent le plus les résultats, sont présentées et les scénarios sont classés selon leur degré de ressemblance.

## I. Contexte et problématiques de l'étude

### 1. Marché et filière porcine en France

- La filière porcine française

Le porc est la viande la plus consommée en France. En 2010, un habitant français consomme l'équivalent de 34 kg de carcasse. La plus grande partie de la viande est consommée sous la forme de produits transformés (70%), essentiellement charcuteries-salaisons, et le reste sous forme de produit frais (30%) (IFIP, 2013).

La filière porcine française regroupe plus de 100 000 professionnels amont et aval (INAPORC, 2016). En amont, environ 20 000 exploitations porcines et 24,8 millions de porcs sont recensées en 2010 en France (INAPORC, 2016). Depuis 2000, le nombre d'exploitations de production porcine a tendance à diminuer. Cette baisse est compensée en partie par l'amélioration de la productivité des élevages. De plus, la production de porcs a tendance à se concentrer de plus en plus dans l'Ouest de la France. En 2010, la Bretagne compte 57% des porcs de la métropole (IFIP, 2013).

La localisation de l'industrie d'abattage-découpe est très liée à celle de l'élevage de porcs. La Bretagne représente 58% des abattages en 2010 et concentre les plus grands outils d'abattage (IFIP, 2013). Les deux premiers groupes d'abattage-découpe en France sont Cooperl Arc Atlantique (coopérative) et Bigard-Socopa Viandes (groupe privée) (IFIP, 2013).

Les principaux exportateurs mondiaux sont l'Europe, l'Amérique du Nord et le Brésil. Les principaux importateurs sont l'Asie (Japon, Chine et Corée du sud) et la Russie (IFIP, 2013). Certaines destinations, notamment la Chine, permettent de valoriser les parties de l'animal qui le sont peu dans les pays exportateurs (cinquième quartier...).

La production porcine française est confrontée, de longue date, à la concurrence européenne (produits selon des standards voisins sans différenciation marquée), et de plus en plus, à la concurrence mondiale, avec l'ouverture de plus en plus grandes des frontières.

- La formation du prix

Le contexte politique, économique et sanitaire influence plus ou moins fortement la formation du prix du porc en Europe. De plus, les prix fluctuent avec la saisonnalité. Actuellement, le porc est mieux valorisé en été qu'en hiver.

Le prix du porc est défini selon une grille de paiement, mise en place par Uniporc, avec un prix de base, une plus-value technique (poids de la carcasse, Taux de muscles des pièces), une plus-value traçabilité (2 centimes, attribuée pour chaque porc dont le tatouage est lisible à l'abattoir), une plus-value qualité liée à l'adhésion à un cahier des charges donné.

Les éleveurs sont mieux payer s'ils commercialisent des porcs de poids vif et de TMP homogènes, contenu dans le cœur de gamme (entre 87 et 99 kg de carcasse et avec un TMP entre 61 et 63, correspondant à des porcs maigres). Ils doivent donc minimiser au mieux l'hétérogénéité des lots.

Tableau 2 : Grille EUROP - Source : Daumas G., 2006.

Teneur en viande maigre estimée	Classe
55 et plus	E
50 à moins de 55	U
45 à moins de 50	R
40 à moins de 45	O
Moins de 40	P

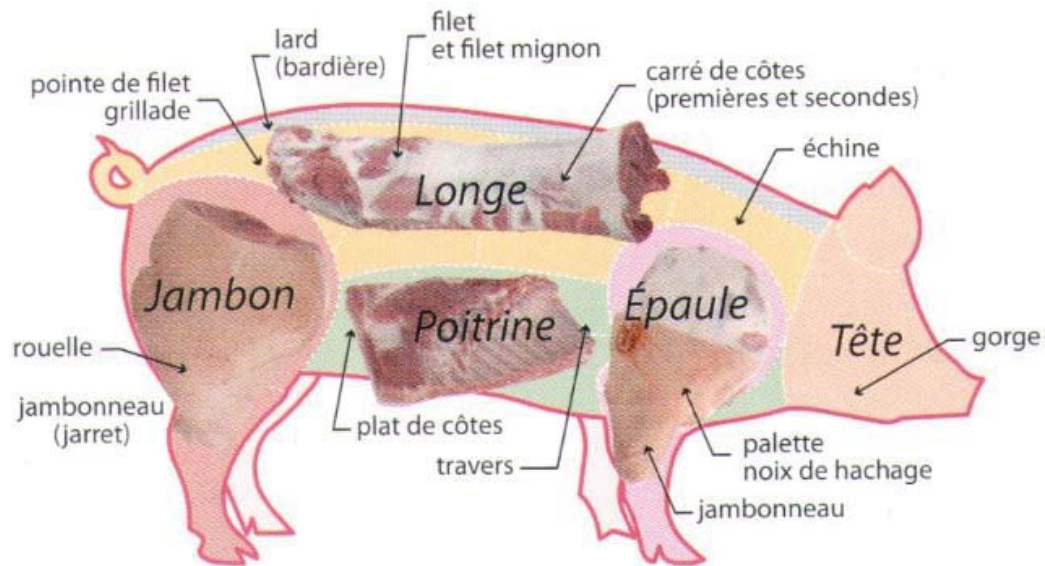


Figure 1 : Les pièces issues de la découpe du porc - Source : IFIP, 2013.

Selon la teneur en viande maigre, les carcasses sont classées selon la codification E, U, R, O, P (E pour les meilleures et P pour les plus mauvaises) (tableau 2).

Les fluctuations du prix du porc en France s'apprécient principalement au travers des cotations au Marché du Porc Breton. C'est un marché au cadran, qui fonctionne sous forme de ventes aux enchères, et qui assure une meilleure transparence des prix. Il a lieu tous les lundis et jeudis et réunit des abatteurs et des groupements de producteurs. FranceAgriMer collecte et publie ces cotations de façon hebdomadaire. Il s'agit d'un prix départ ferme, hors taxe, qui désigne la carcasse de porc avec sa tête, selon le classement sous contrôle d'Uniporc Ouest.

Deux autres cotations permettent de suivre les évolutions conjoncturelles du marché du porc :

- la cotation du porc de classe E. Ce sont les abatteurs qui fournissent l'information à FranceAgriMer, qui se charge de sa diffusion. Sa collecte est une obligation réglementaire européenne pour l'ensemble des 27 Etats membres ;
- une estimation du prix réellement perçu par les éleveurs en France, mais également dans les 4 principaux bassins de production. Ces cotations sont collectées par l'IFIP.

Le consommateur moyen souhaite de la viande maigre. Plus précisément, il souhaite de la viande tendre, sans exsudat, qui ne réduit pas à la cuisson, de couleur rose homogène. Les abattoirs adaptent leur outil de production à la demande des consommateurs et définissent ainsi des plus-values selon le poids et le Taux de Muscles des Pièces (TMP). De même, l'industriel tient compte de ses critères, notamment la qualité de la viande est déterminée selon sa couleur et son pH.

En France, la carcasse ne comprend pas la langue, les soies, les onglons, les organes génitaux, la panne, les rognons et le diaphragme. Dans certains pays, la définition de la carcasse est différente.

La découpe primaire du porc consiste à séparer la carcasse en 2 grandes catégories de produits :

- les pièces dites nobles (longe, jambon, épaule et poitrine). Le TMP (taux de muscles des pièces) est calculé sur ces 4 parties ;
- Le cinquième quartier, comprenant les abats rouges et blancs, le gras et les autres morceaux (gorge, tête, pieds...).

Les pièces issues de la découpe primaire peuvent être à nouveau découpées pour obtenir des morceaux aux usages plus spécifiques (figure 1). Ces morceaux peuvent être valorisés comme viande fraîche ou être transformés (salés, fumés, cuisinés...).

Les principales charges de production sont (IFIP, 2013) :

- l'achat d'aliments (69% des charges pour les naisseurs-engraisseurs). Le prix de l'aliment a d'ailleurs connu deux fortes hausses ces dernières années, une en 2007-2008 et une en 2010-2012, surtout concernant les céréales et le tourteau de soja, ce dernier s'étant maintenu élevé ;
- l'achat des engrais ;
- les cotisations sociales.

## 2. Pratiques d'élevage porcin les plus courantes

- Ateliers de l'élevage

Les éleveurs de porcs sont :

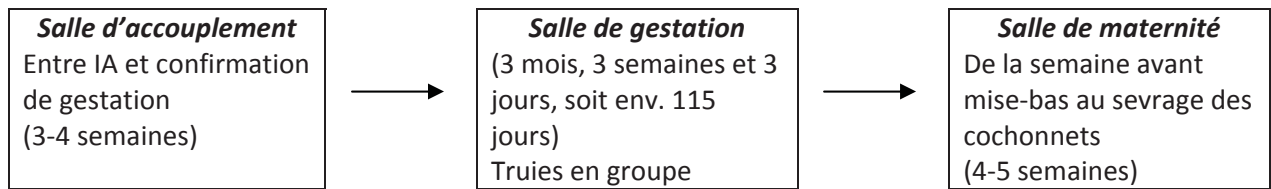


Figure 2 : Bâtiments pour les truies – Source : réalisation personnelle.

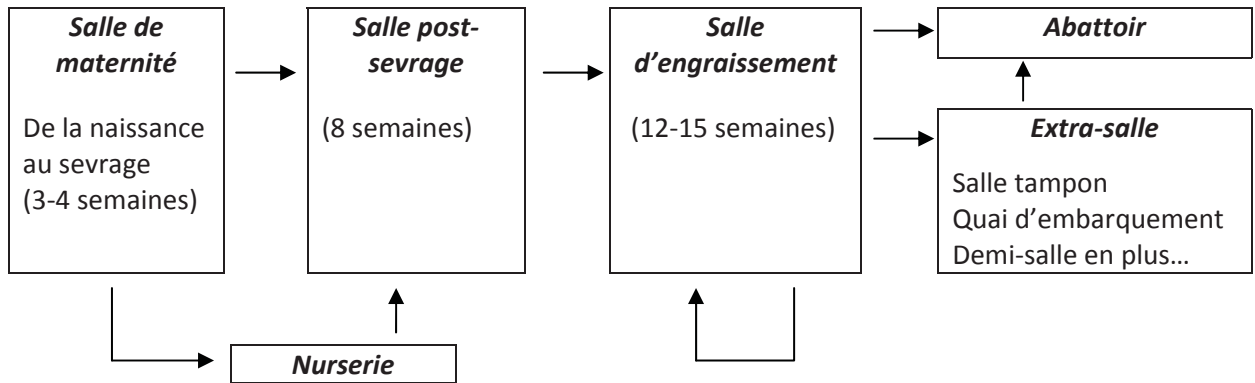


Figure 3 : Bâtiments pour les porcs en croissance – Source : réalisation personnelle.



- Soit naisseurs (vente des porcs au sevrage, c'est-à-dire au bout de 3-4 semaines, au poids de 8 kg environ) ;
- Soit naisseurs avec atelier de post-sevrage (vente des porcs au bout de 10-11 semaines, au poids de 30 kg environ) ;
- Soit naisseurs-engraisseurs (vente des porcs vers 6 mois, au poids de 115 kg environ).

Environ 44% des éleveurs sont naisseurs-engraisseurs, dont 20% réalisent l'engraissement à façon (IFIP, 2013). La configuration naisseurs-engraisseurs assure une situation économique plus solide. Ils sont en effet moins exposés à la volatilité économique, bien que ce système soit plus exigeant en facteurs de production.

- Structure des bâtiments

Les truies évoluent dans 3 salles (figure 2) : la salle d'accouplement, la salle de gestation et la salle de maternité.

Le porcelet évolue dans 2 salles, d'abord la salle de maternité, puis la salle de post-sevrage (figure 3). Le porc à l'engrais, élevé en bâtiment, reste en général dans une même salle (salle d'engraissement), sur caillebotis ou sur paille. En France, 95% des porcs sont élevés en bâtiment, sur caillebotis (Inaporc, 2016). C'est aussi le mode d'élevage le plus répandu en Europe et dans le monde.

- Conduite en bandes

La conduite en bandes consiste à conduire les animaux en groupes synchronisés pour les reproducteurs d'une part, et pour les animaux en croissance d'autre part. Cette synchronisation est obtenue en groupant les sevrages des animaux constituant une même bande. Elle peut être sécurisée et renforcée par l'usage de régulateurs hormonaux pour la survenue des œstrus, notamment des jeunes truies. D'après la GTTT et de la GTE (IFIP, 2015), une truie produit en moyenne 28,9 porcelets sevrés par an, et le taux de mortalité est de 2,4% en post-sevrage et de 3,7% en engraissement environ.

La conduite en bande présente plusieurs avantages :

- Meilleur contrôle de l'état sanitaire par la pratique du « tout plein/tout vide » ;
- Amélioration de l'organisation de travail de l'éleveur (par exemple, synchronisation des chaleurs, conduite des productions, achats alimentaires...) ;
- Amélioration du GMQ.

La pratique du « tout plein/tout vide » consiste à peupler un local donné en une fois et être en mesure, à la fin de la phase concernée, de le vider en totalité, en une ou plusieurs fois en engraissement, puis de laver et désinfecter ce local avant d'y introduire le groupe suivant d'animaux. Cela permet d'éviter les contacts entre animaux d'âges différents afin de limiter leur contamination mutuelle.

Le nombre de bandes (NB) se calcule de la manière suivante :

$$NB = \frac{LCY}{INT} \quad LCY = GEST + ALL + ISO$$

LCY : longueur du cycle d'une bande

GEST : durée de gestation (paramètre physiologique peu variable, environ 115 jours)

ALL : durée d'allaitement (choix de l'éleveur, en général 3-4 semaines)

ISO : intervalle sevrage-œstrus (paramètre biologique, en général 5 à 7 jours)



INT : intervalle d'arrivée des cohortes

Dans notre étude, nous considérons LCY=143 (GEST=115 ; ALL=21 ; ISO=7).

Les pratiques les plus courantes sont, par ordre d'importance, la conduite en 7 bandes avec un rythme de cohorte de 3 semaines (soit 6 salles d'engraissement) et la conduite en 20-21 bandes avec un rythme de cohorte de 1 semaine (soit 17 salles d'engraissement) (Allouchery, 2010).

- Composition et fabrication des aliments

Le besoin total du porc charcutier additionne le besoin d'entretien (pour la survie de l'animal au repos) et le besoin de production (pour la croissance, une fois le besoin d'entretien couvert).

L'alimentation distribuée doit répondre aux besoins du porc en énergie et en acides aminés. Chez les animaux en croissance, le concept de protéine idéale est le profil en acides aminés (exprimé en pourcentage de la lysine) qui maximise la croissance, la rétention azotée ou tout autre critère de réponse. Dans ce profil, tous les acides aminés indispensables sont co-limitants pour les performances, couvrant sans excès le besoin pour toutes les fonctions physiologiques. La lysine est traditionnellement utilisée comme référence car elle est le premier acide aminé limitant pour la croissance des porcs.

Différentes matières premières sont utilisées pour fabriquer l'aliment au meilleur coût, dans des proportions variables selon le bassin de production, en fonction de leur disponibilité et de leur prix.

En France, en moyenne entre 2007 et 2009, le blé représentait environ 1/4 des matières premières entrant dans l'alimentation animale, suivi du tourteau de soja (15%) et du maïs (15%), de l'orge (7%) et du tourteau de colza (8%), pour l'ensemble des espèces (IFIP, 2013).

L'aliment pour les porcs peut être produit dans les usines (vendu par des coopératives ou firmes), ou assemblé à la ferme à partir de matières premières cultivées ou achetées, ou de pré-mélanges fournis par les industriels.

En France, dans les élevages suivis en GTE (IFIP, 2015), l'aliment fabriqué à la ferme, avec ou sans compléments industriels, représentait un tiers du tonnage consommé en 2009. Cela concernait en général, la production de céréales.

La région Bretagne concentre de nombreuses entreprises de nutrition animale, qui produisent plus de 70% de la production nationale.

- Mode de rationnement et fractionnement des repas

Dans environ deux tiers des élevages, l'alimentation des porcs à l'engrais se présente sous forme de soupe. Ce mode de rationnement est avantageux d'un point de vue sanitaire (prévention des ulcères, salmonelles). De plus, il permet de réduire la consommation en eau et la production de lisier (IFIP, 2013).

En engraissement, deux aliments industriels sont formulés : un aliment de croissance en début de période et un aliment de finition en fin de période. Les transitions entre deux aliments peuvent se faire progressivement.

L'alimentation en plusieurs phases consiste à distribuer des aliments différents à chaque stade de croissance du porc, adaptés à ses besoins du moment. Le nombre de phases varie entre deux (dit « biphasé ») et le nombre de jours en engraissement (dit « multiphasé journalier »).

La formulation des aliments est estimée en fonction des besoins alimentaires du « porc moyen ». Les besoins des porcs pris individuellement se situent soit au-dessus ou au-dessous des besoins du porc moyen. Il y aura donc des animaux en carence (baisse de performances pour ces derniers) et d'autres en excès (ce qui entraîne des dépenses inutiles pour l'éleveur et des rejets plus élevés dans l'environnement).



La conduite « biphase » est le mode de séquençage alimentaire le plus courant chez les éleveurs. En 2000, plus de 40% des porcs charcutier reçoivent une alimentation biphase en France (Guyennet F. et al., 2000). A l'inverse de la conduite multiphase, cette stratégie permet de couvrir largement les besoins en lysine des animaux (moins d'animaux en carence et plus d'animaux en excès), simplifie le travail de l'éleveur, mais entraîne aussi des pertes économiques pour ce dernier et augmente les émissions polluantes dans l'environnement.

### 3. La variabilité de poids et la conduite des fins de bandes

- Causes de l'hétérogénéité de poids

Les causes de l'hétérogénéité de poids des porcelets à la fin du sevrage sont multiples. Un tiers du poids au sevrage s'explique par le poids à la naissance (autour de 3 kg en moyenne). Le reste s'explique par l'hétérogénéité de croissance. Dès le 30<sup>ème</sup> jour après la naissance (donc à la fin du sevrage), l'hétérogénéité de poids est déterminée et les différences se maintiendront chez les porcs en croissance.

Les facteurs influençant la variabilité de poids sont (IFIP, 2013) :

- La génétique. La variabilité de croissance prend sa source dès la naissance du porcelet avec des poids vifs différents au sein d'une même portée. Les animaux les plus lourds à la naissance ont ensuite tendance à grandir plus vite en maternité, post-sevrage et en engraissement, principalement parce que leur consommation moyenne journalière (CMJ) est plus élevée.
- Le sexe. En effet, les mâles ont tendance à avoir un GMQ plus élevé ;
- La quantité de lait produit par la mère. En effet, les porcelets sont élevés sous la mère et la truie primipare produit en moyenne 10 kg de lait par jour, via une dizaine de tétines. Cette production augmente de la 2<sup>ème</sup> à la 4<sup>ème</sup> portée, jusqu'à 11 kg de lait par jour maximum. A partir de la 5<sup>ème</sup> portée, la quantité de lait produit diminue jusqu'à la 7<sup>ème</sup> ou 8<sup>ème</sup> portée. De plus, aux premières heures de sa vie, le porcelet s'approprie une tétine ou une paire de tétine qu'il garde pendant toute la période de sevrage. Or il a été remarqué que toutes les tétines ne fournissent pas la même quantité de lait. En général, les tétines les plus productives sont situées à l'arrière pour les primipares tandis qu'elles sont situées à l'avant pour les multipares ;
- Le nombre de porcelets à la naissance par truie. On retiendra que pour une portée de 10-12 porcelets, on peut considérer que 40% des porcelets pèsent autour de 1,6 kg à la naissance et 20% pèsent moins de 1,2 kg. On remarque que les porcelets les plus lourds vont conserver leur avantage car ils ont en général un GMQ plus élevé.
- La hiérarchie (dominants/dominés). Les distributeurs automatiques de concentré (DAC) peuvent réduire les impacts de cette hiérarchie, en s'assurant que chaque animal ingère la juste quantité d'aliment qui lui est allouée ;
- Les conditions d'élevage. Une surcharge des cases est une source de stress pour l'animal. Plus la surface par porc augmente, plus le GMQ augmente de manière logarithmique en partant de l'origine et avec un plateau à partir d'une certaine surface.
- La durée de sevrage. Si les animaux sont sevrés précocement, la croissance est ralentie ;
- Température ambiante des bâtiments.

- Implications de l'hétérogénéité de poids pour l'éleveur



A cause de l'hétérogénéité de poids pouvant exister au sein d'une bande, tous les porcs n'atteignent pas le poids d'abattage au même âge. La conduite des fins de bandes est un moment délicat pour l'éleveur. Quand certains animaux de la bande sont trop légers, plusieurs choix stratégiques s'offrent à ce dernier :

- Les animaux trop légers sont placés dans la bande suivante. Ce choix n'est pas recommandé pour des raisons sanitaires ;
- Vente des animaux légers à des prix plus bas ;
- Réduction de la durée du vide sanitaire, ce qui n'est pas recommandé ;
- Animaux placés dans une salle tampon.

Les animaux d'une bande sont souvent abattus en plusieurs départs. L'estimation des départs peut se faire à l'œil, par pesée ou à l'aide d'un mètre spécial. La réduction de la densité a un impact positif sur le GMQ des animaux restants.

Des enquêtes réalisées auprès d'éleveurs bretons au printemps 2015 (Lescot, 2015) ont montré que les éleveurs laissaient les cochons en moyenne 22 jours en plus en engraissement en salle tampon. La plupart limitaient cette période supplémentaire de 2 à 6 semaines, mais certains, pouvaient aller jusqu'à 2 mois.

## II. Matériels et méthodes

### 1. Le modèle du projet CASDAR-MOGADOR

#### 1.1. Description du modèle

Le modèle du projet CADAR-MOGADOR présente différentes caractéristiques :

- Modèle : stochastique, dynamique ;

Le modèle prend en compte l'influence du temps (dynamique) et intègre des effets aléatoires, c'est-à-dire qu'une condition initiale aboutit à différents états « futur » possibles (stochastique). Exemples d'effets aléatoires : les profils des porcs nés à chaque bande, le taux de perte.

- Echelle : système d'élevage, animal ;
- Niveau d'organisation : individu-centré ;

Le modèle individu-centré permet de décrire les mécanismes à l'échelle de l'animal, mais utilise des paramètres propres à chaque animal. Chaque animal simulé est alors unique. Le comportement simulé du groupe est alors plus proche du comportement d'un groupe de porcs in vivo (dans les mêmes conditions) que lors de l'utilisation d'un animal moyen (Brossard L. et al., 2014) (Pomar C. et al., 2003).

L'intégration de la variabilité individuelle des porcs présente plusieurs intérêts.

En effet, la réponse moyenne d'une population, à une stratégie alimentaire, est différente en forme et en ampleur lorsqu'elle est calculée à partir des résultats de tous les individus ou à partir de l'individu moyen.

De plus, le passage d'un système de production à un autre peut avoir des effets mineurs sur les niveaux moyens mais des effets importants sur la variabilité. Or La rentabilité des systèmes de





production peut être affectée en grande partie par l'ampleur de la variabilité des performances zootechniques.

- Ateliers : naisseur, post-sevrage et engraissement ;

Le modèle est constitué de trois modules composant un élevage porcin : « naissage », « post-sevrage » et « engraissement ». Ces modules peuvent fonctionner indépendamment mais aussi en interaction. Dans le cadre de mon stage, nous nous intéressons seulement à l'atelier engraissement.

- Entité décisionnelle : tactique (à l'échelle de la campagne) ;

Dans l'étude, nous considérons que la simulation est stabilisée à partir de 100 jours de simulation. Pour être bien ancrés dans la stabilité, les résultats techniques de sortie sont les performances des cohortes arrivées sur l'élevage après 300-400 jours de simulation. Les données seront collectées sur 365 jours à partir du 400<sup>ème</sup> jour.

- Infrastructures : oui ;

Dans le modèle, les porcs sont sur caillebotis intégral, système le plus répandu actuellement en engraissement (Gaudré 2008).

Certains paramètres concernant les bâtiments sont modulables (nombre de places par salle ou case, température dans les salles...). Si des caractéristiques ne sont pas modulables, celles-ci sont placées dans les conditions optimales pour permettre l'expression du potentiel génétique des animaux (concentration en gaz et poussières, accès à l'eau et à l'aliment...). L'effet sanitaire n'est pas pris en compte dans le modèle.

Dans le modèle, la durée d'engraissement est fixée à 116 jours + 3 jours de vide sanitaire. Il est possible de rajouter ou pas une salle tampon et de définir le nombre de jours dans cette salle. On peut noter que le cas d'une demi-salle n'a pas été étudié par exemple.

Dans le modèle, le nombre de salle de l'atelier d'engraissement dépend du rythme d'arrivée des cohortes (variable d'entrée):

$$\begin{aligned} & 106 \text{ jours d'engraissement en moyenne} \\ & + 10 \text{ jours de prolongement d'engraissement} \\ & + 3 \text{ jours de vide sanitaire} \\ & \hline & = 119 \text{ jours d'engraissement} \\ & / \text{ rythme d'arrivée des cohortes} \\ & \hline & = \text{nombre de salles d'engraissement (arrondi au-dessus)} \end{aligned}$$

- Caractéristiques de animaux : potentiel de croissance, ingestion, excrétion, reproduction de la truie (basé sur le modèle InraPorc) ;
- Effet alimentation : oui (basé sur le modèle InraPorc) ;
- Sorties : techniques, économiques, environnementales.

## 1.2. Modèle InraPorc

InraPorc est un outil d'aide à la décision, développé par l'INRA (logiciel payant), pour l'alimentation des truies reproductrices et pour les porcs en croissance.

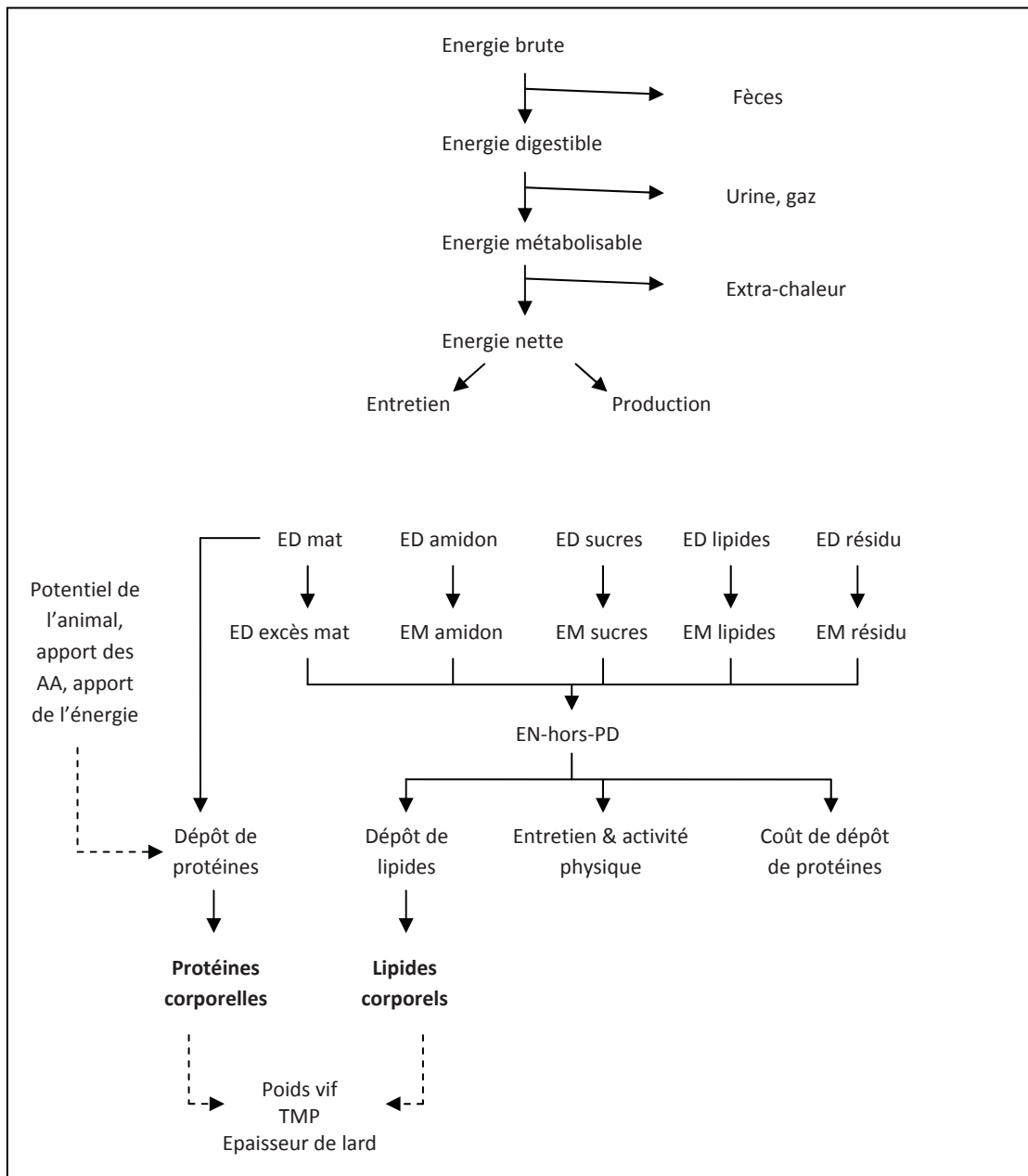


Figure 4 : Schéma générale du concept de InraPorc - Source : van Milgen J. et al., 2008.

Paramètres d'entrées :

1.  $B_{\text{Gompertz}}$  (/j)
2.  $PV_{70}$  (kg) à 70 jours
3.  $PDm$  (g/j) entre  $PV$  à 70 jours et 110 kg
4.  $a$  (ou sinon  $ENi_{50}$  (kg/j) à 50 kg)
5.  $b$  (ou sinon  $ENi_{100}$  (kg/j) à 100 kg)



$$PV = f(\text{Age})$$



$$En = f(PV)$$



Résultats de sortie :

1.  $PV$
2.  $TMP$
3. Epaisseur de lard dorsal
4.  $IC$

Figure 5 : Caractérisation des profils de porcs par 5 paramètres – Source : réalisation personnelle adaptée de van Milgen J. et al., 2008.

Les aliments consommés sont composés de matières organiques : matière azotée totale (MAT), matière grasse (MG), amidon, sucres et résidu.

Dans Inraporc (figure 4), les aliments consommés sont convertis en énergie brute (MJ/kg), puis énergie digestible (MJ/kg), puis énergie métabolisable (MJ/kg) et enfin énergie nette (MJ/kg). L'énergie nette couvre les besoins d'entretien et de production du porc.

L'énergie digestible de la MAT sert en priorité au dépôt protéique. L'excès d'énergie digestible de la MAT est converti en énergie nette. L'énergie nette de la MAT, de l'amidon, des sucres, des lipides et des résidus sont utilisés pour le dépôt de lipides, les besoins d'entretien et d'activité physique et le coût de dépôt protéique.

Contrairement au dépôt de lipides, le dépôt de protéines ne dépend pas seulement de l'énergie nette ingérée mais aussi des acides aminés ingérés. Les acides aminés indispensables doivent être trouvés dans l'alimentation dans la proportion des besoins.

Les dépôts protéiques et lipidiques, produits par les aliments chez le porc s'ajoutent à la masse corporelle de protéines et lipides à sa naissance.

Dans les modèles, la connaissance de la masse corporelle de protéines et lipides du porc permet le calcul de son poids vif et du TMP (% de viande maigre).

Le modèle InraPorc est décrit plus précisément en annexe I.

Dans le logiciel INRAPorc, 3 profils de porcs sont définis par défaut (croissance élevée, croissance standard précoce et croissance standard tardive) mais chaque animal peut être défini par 5 paramètres et il est donc possible de créer de nombreux autres profils différents. La définition de ces paramètres s'appuie sur les résultats expérimentaux de porcs, croisés ou pas, Large White, Landrace, Piétrain en général.

Ces cinq paramètres sont trois paramètres la croissance (le poids vif en fonction de l'âge) et deux qui décrivent la consommation *ad libitum* (l'énergie ingérée en fonction du poids vif) (figure 5).

Prochainement, un module « population » sera intégré à InraPorc, en plus du module « porc moyen », ce qui permettra de simuler les performances de croissance d'une population virtuelle. Ainsi il prendra en compte la variabilité des besoins (notion de population et non d'individu moyen). InraPorc deviendra alors un modèle individu-centré.

Pour ce faire, les distributions des paramètres au sein des populations sont résumées par un vecteur des moyennes et une matrice de covariance des paramètres autour de la moyenne. InraPorc propose de recueillir, pour un élevage donné, les informations permettant de construire le vecteur moyen et d'appliquer ensuite une matrice de covariance générique obtenue à partir d'échantillons de porcs étudiés dans le cadre de la thèse de Vautier B. (2013), afin de simuler une réponse de population la moins biaisée possible. La matrice ainsi obtenue permet de générer des populations de porcs virtuelles, utilisables pour modéliser l'impact des stratégies nutritionnelles sur les performances et les rejets en intégrant la variabilité des groupes.

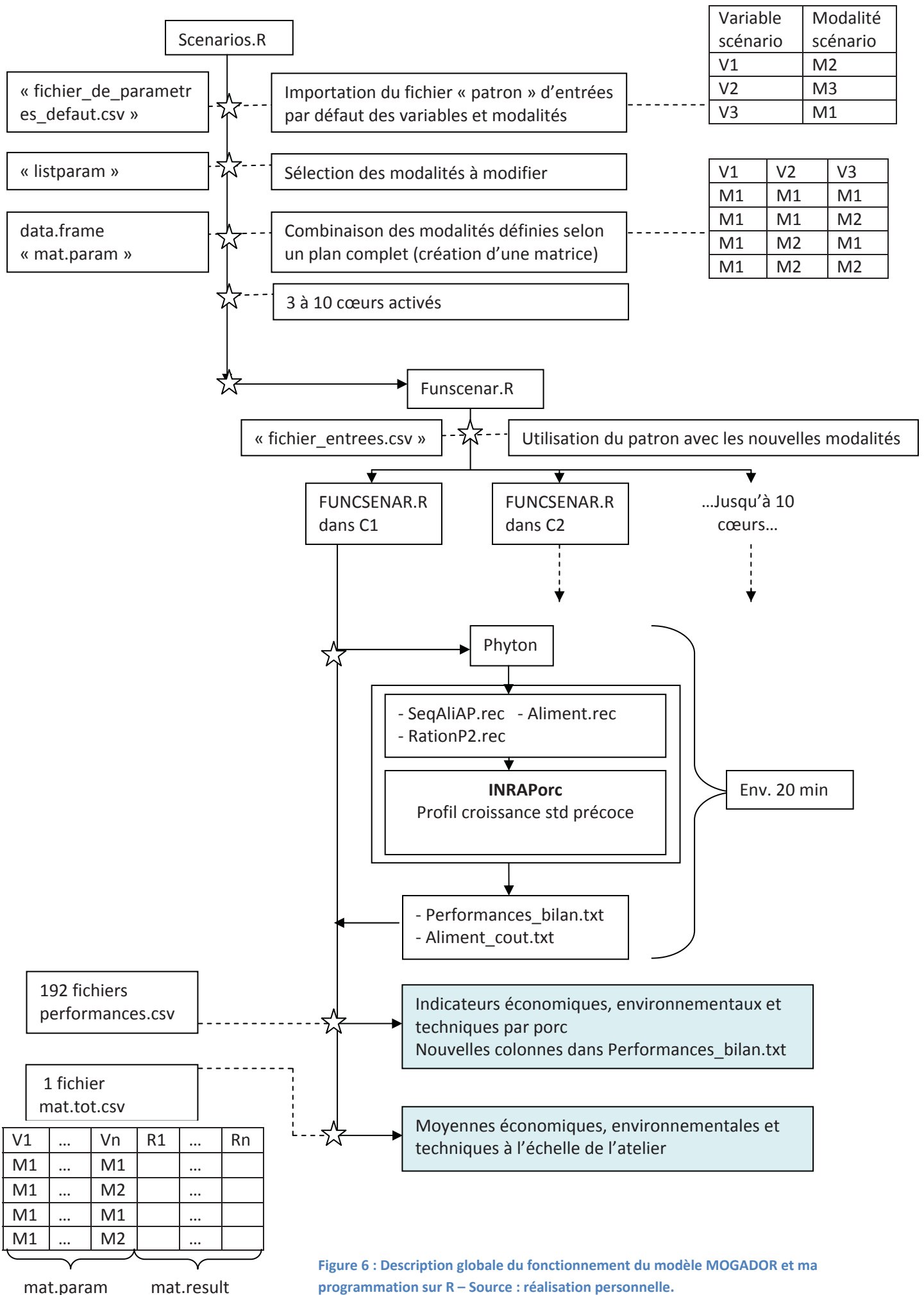


Figure 6 : Description globale du fonctionnement du modèle MOGADOR et ma programmation sur R – Source : réalisation personnelle.

## 2. Mise en application des modules économie et environnement du modèle

### 2.1. Démarche de la programmation sur R

La procédure de programmation est décrite à la figure 6. Les fichiers qui se terminent par « .R » sont des scripts (liste de commandes) sous le logiciel R. Préalablement à la programmation sous R, nous avons créé des fichiers « .rec » sur InraPorc, pour définir la composition alimentaire (Aliment.rec), la permission alimentaire (RationP2.rec) et la séquence alimentaire (SeqAliAP.rec). De plus, 2000 profils de porcs (performants) sont définis, caractérisés par les 5 paramètres de InraPorc.

Le fichier « Scenarios.R » contient les commandes suivantes :

- commande d'import du fichier excel contenant toutes les variables d'entrée et les modalités par défaut. On parle de fichier « patron » ;
- création d'une liste (« listparam ») contenant les modalités à modifier des variables d'entrée
- création d'un data.frame (tableau de type individus x variables sous R) contenant les combinaisons des modalités de « listparam » selon un plan complet ;
- parallélisation des différents cœurs d'ordinateur pour réduire le temps de fonctionnement du modèle. Sur chaque cœur, le script « Funsccenar.R » est appelé.

Le fichier « Funsccenar.R » contient les commandes suivantes :

- ouverture et lancement de fichiers de codes sous le logiciel Python ;
- import des fichiers contenant les résultats techniques par porc (Performances\_bilan.txt) et les informations sur la quantité d'aliments consommée par porc par jour (Aliment\_cout.txt), créés par Python.
- codes pour calculer des résultats économiques (prix de vente, produit, marge) et les indicateurs de l'ACV (CC, AC, EU, CED et OS).

Le modèle du projet CASDAR-MOGADOR a été programmé principalement sous Python. D'abord, le fichier « patron » des variables d'entrée (modifiées ou par défaut) est importé. Ensuite, Python envoie à InraPorc des fichiers alimentaires « .rec » et les 2000 profils de porcs. InraPorc produit alors des profils de croissance. Ces profils de croissance sont ensuite récupérés sous Python, pour suivre les pratiques d'élevage définis. Les résultats sont enfin synthétisés dans les fichiers « Performances\_bilan.txt » et « Aliment\_cout.txt ».

A cause d'un certain nombre de problèmes rencontrés, la partie programmation a nécessité environ 2 mois. Par exemple, nous avons créé des boucles sous R puis nous avons cherché une autre méthode car le logiciel R (à contrario d'autres logiciels, comme Python) demande beaucoup de temps pour réaliser des boucles, surtout quand le nombre de lignes est très important.

Toutes les fonctions que j'ai utilisées sous R sont répertoriées en annexe II.

### 2.2. Module économie

L'IFIP fournit des références technico-économiques moyennes des élevages porcins, pour les truies (GTTT) et les porcs charcutiers (GTE), depuis 1991.

La plupart des éleveurs ne réalisent pas de pesées des porcs en entrées et sorties des différents stades. Il est donc difficile de comparer les résultats des éleveurs seulement naisseurs avec des éleveurs naisseurs-engraisseurs par exemple. Pour permettre la comparaison des différentes pratiques observées en élevage, les résultats sont ajustés grâce à des coefficients de correction,

Tableau 3: Grille UniPorc de paiement du porc - applicable au 30 mars 2015 – Source : Uniporc, 2016.

PORCS			P1	P2	P3		GAMME			P4				P5	
TMP	Ecart	Total Ecart	45 69,9	70 77,9	78 79,9	80 81,9	82 86,9	87 99	99,1 105	105,1 106	106,1 107	107,1 108	108,1 109	109,1 110	110,1 120
			-0.30	-0.18	-0.10	-0.02	0.00	0.02	0.00	-0.04	-0.10	-0.12	-0.14	-0.16	-0.20
>=64	-0.01	0.16	-0.14	-0.02	0.06	0.14	0.16	0.18	0.16	0.12	0.06	0.04	0.02	0.00	-0.04
63	0.00	0.17	-0.13	-0.01	0.07	0.15	0.17	0.19	0.17	0.13	0.07	0.05	0.03	0.01	-0.03
62	0.00	0.17	-0.13	-0.01	0.07	0.15	0.17	0.19	0.17	0.13	0.07	0.05	0.03	0.01	-0.03
61	0.02	0.17	-0.13	-0.01	0.07	0.15	0.17	0.19	0.17	0.13	0.07	0.05	0.03	0.01	-0.03
60	0.03	0.15	-0.15	-0.03	0.05	0.13	0.15	0.17	0.15	0.11	0.05	0.03	0.01	-0.01	-0.05
59	0.04	0.12	-0.18	-0.06	0.02	0.10	0.12	0.14	0.12	0.08	0.02	0.00	-0.02	-0.04	-0.08
58	0.04	0.08	-0.22	-0.10	-0.02	0.06	0.08	0.10	0.08	0.04	-0.02	-0.04	-0.06	-0.08	-0.12
57	0.04	0.04	-0.26	-0.14	-0.06	0.02	0.04	0.06	0.04	0.00	-0.06	-0.08	-0.10	-0.12	-0.16
56	0.00	0.00	-0.30	-0.18	-0.10	-0.02	0.00	0.02	0.00	-0.04	-0.10	-0.12	-0.14	-0.16	-0.20
55	-0.02	-0.02	-0.32	-0.20	-0.12	-0.04	-0.02	0.00	-0.02	-0.06	-0.12	-0.14	-0.16	-0.18	-0.22
54	-0.02	-0.04	-0.34	-0.22	-0.14	-0.06	-0.04	-0.02	-0.04	-0.08	-0.14	-0.16	-0.18	-0.20	-0.24
53	-0.04	-0.08	-0.38	-0.26	-0.18	-0.10	-0.08	-0.06	-0.08	-0.12	-0.18	-0.20	-0.22	-0.24	-0.28
52	-0.04	-0.12	-0.42	-0.30	-0.22	-0.14	-0.12	-0.10	-0.12	-0.16	-0.22	-0.24	-0.26	-0.28	-0.32
51	-0.08	-0.20	-0.50	-0.38	-0.30	-0.22	-0.20	-0.18	-0.20	-0.24	-0.30	-0.32	-0.34	-0.36	-0.40
<= 50	-0.20	-0.40	-0.70	-0.58	-0.50	-0.42	-0.40	-0.38	-0.40	-0.44	-0.50	-0.52	-0.54	-0.56	-0.60

calculés et mis à jour par l'IFIP. Les fonctions de l'IFIP permettent de déterminer le poids vif selon l'âge de l'animal, le GMQ en fonction du poids vif et de l'âge, et l'IC en fonction du poids vif.

Trois indicateurs économiques sont calculés : le prix de vente (en €/kg), le produit (en €/cochon) et la marge (en €/cochon).

- Calcul du TMP

Le TMP, calculé à partir d'InraPorc, a également été corrigé à partir des indicateurs fournis par l'IFIP, pour mieux coller à la réalité.

Le TMP de chaque porc simulé a donc été corrigé de la façon suivante :

$$TMP_{cor} = \frac{TMP(\text{InraPorc}) * MoyTMP(\text{IFIP})}{MoyTMP(\text{InraPorc})}$$

- Calcul du prix de vente

Le prix de vente est la somme d'un prix de base et les plus/moins-values. Le prix de base choisi dans l'étude est le prix mensuel de février 2014 au marché de Plérin, soit 1,314 €/kg de carcasse chaude. Par souci de comparaison, les prix d'achat de l'étude sont aussi les prix mensuels des aliments en février 2014.

Les plus/moins-values sont renseignées dans la grille Uniporc, dont la dernière version a été rendue applicable au 30 mars 2015 (tableau 3). Elles dépendent du TMP et du poids carcasse de l'animal. La grille des prix avantage les carcasses avec un TMP supérieur à 56 et situées dans la gamme de poids 82-105 kg de carcasse, avec une majoration plus forte dans le cœur de gamme 87-99 kg.

Le modèle, par l'intermédiaire d'InraPorc, nous fournit le poids vif de chaque porc.

Les abattoirs ne mesurent pas le poids vif des animaux qui entrent, seulement le poids carcasse. La plus-value liée au poids est calculée sur le poids de carcasse chaude ( $PC_{ch} = PV * 0,79$ ). En refroidissant, la carcasse perd une partie de son eau par le phénomène de ressuage ( $PC_{fr} = PV * 0,765$ ).

Un rendement carcasse forfaitaire de 76,5% est appliqué aux animaux dans le calcul des résultats GTE. Une étude (IFIP, 2012), réalisée en station expérimentale au Rheu, à Romillé et à Villefranche de Rouergue, a montré que le rendement carcasse actuel a évolué et est supérieur à 76,5% (autour de 77,5% maintenant). En effet, les porcs se sont alourdis au cours de ces dix dernières années et les types génétiques utilisés en élevage ont évolué.

Dans notre étude, nous utilisons le rendement carcasse à chaud pour le calcul de la plus-value liée au poids vif du porc. Par contre, nous prenons le rendement carcasse à froid pour convertir le poids vif de l'animal en poids carcasse froide, et ainsi calculé le produit (€/porc) = prix de vente (€/kg carcasse chaude) \* poids de la carcasse froide de porc.

- Calcul de la marge

La marge brute est calculée dans l'étude, c'est-à-dire le prix de vente, auquel les prix d'achat des aliments et des porcelets sont soustraits. Les autres prix d'achat ne sont pas pris en compte, notamment ceux exprimés sur une base annuelle : produits sanitaires et vétérinaires, électricité et chauffage, entretien et réparation, assurances, taxes et impôts...

### 2.3. Module environnement

L'élevage porcin se trouve au centre des débats sur la protection de l'environnement. La concentration de cette activité au sein des bassins de production voir d'une région est associée à une

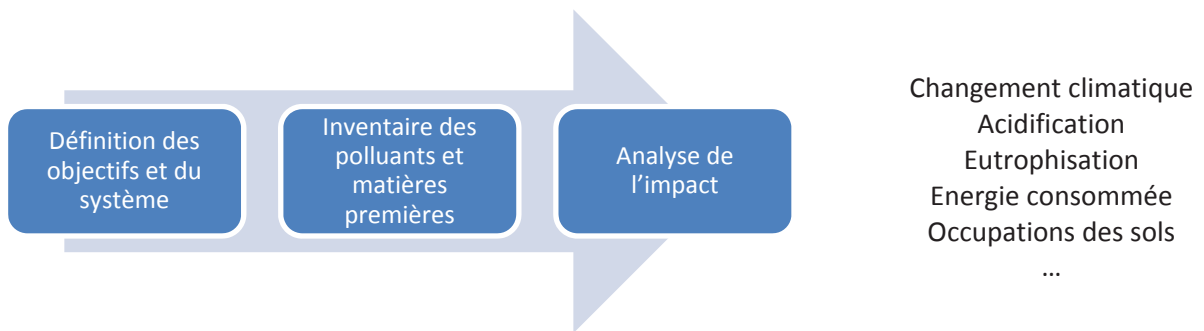


Figure 7 : Procédure générale d'une Analyse de Cycle de Vie (ACV) – Source : Jolliet O. et al, 2010.

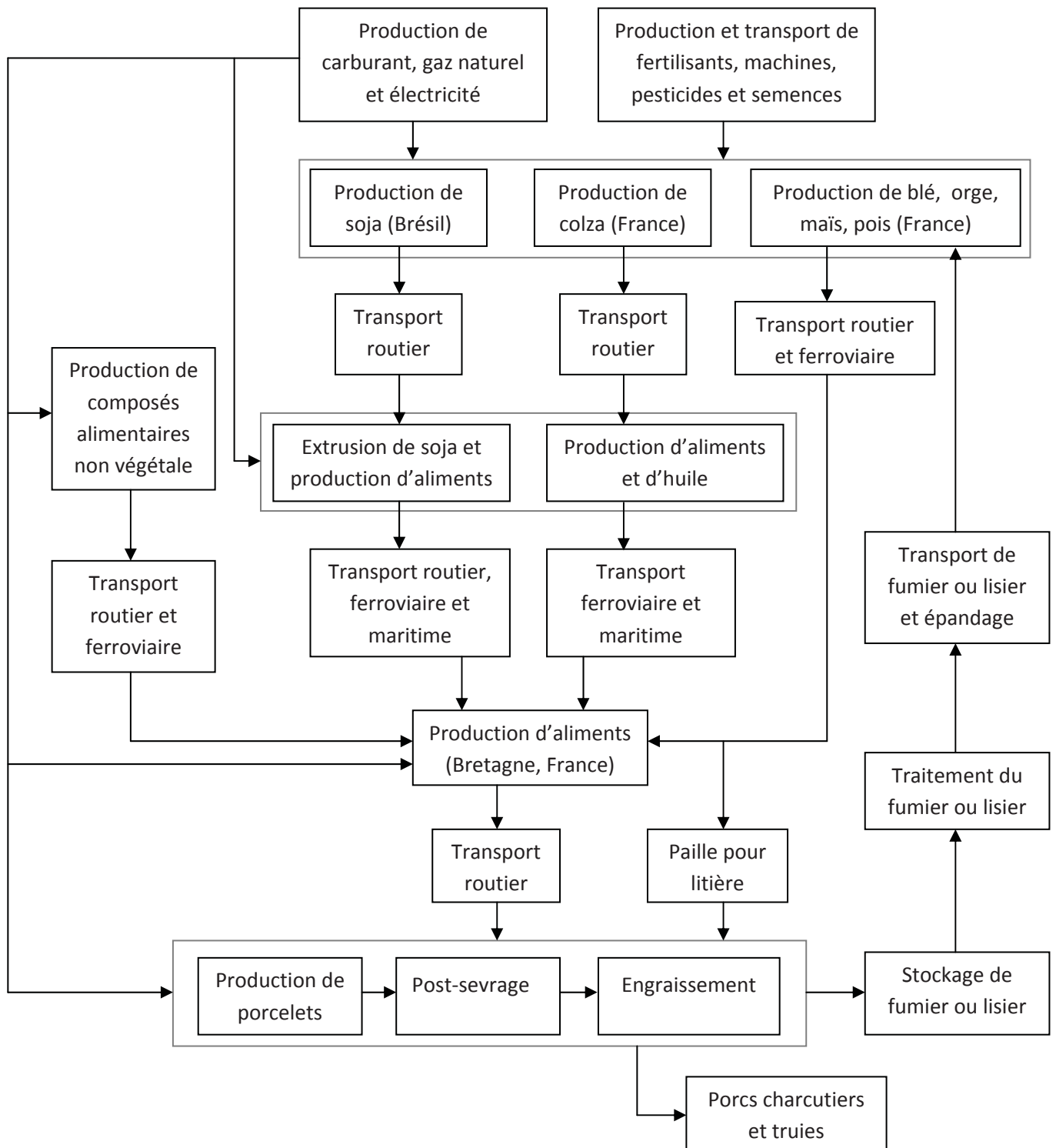


Figure 8 : Etapes du cycle de vie de la production porcine par l'ACV – Source : Garcia Launay F. et al. (2014).



concentration locale des rejets, notamment azotés et phosphorés. Une meilleure adéquation entre les apports azotés et les besoins est un des moyens permettant de limiter l'impact de l'élevage sur l'environnement, notamment sur la qualité de l'eau. Notamment, c'est en phase d'engraissement que les porcs sont les plus gros producteurs de rejets.

La méthode de l'Analyse du cycle de vie (ACV) est employée pour décrire les impacts environnementaux de l'engraissement des porcs (figure 7).

Par l'ACV, 5 indicateurs environnementaux sont calculés :

- Changement climatique (en kg CO<sub>2</sub> eq par porc) ;
- Eutrophisation (en g PO<sub>4</sub> eq par porc) ;
- Acidification (g SO<sub>2</sub> eq par porc) ;
- Demande en énergie (MJ par porc) ;
- Occupation des sols (m<sup>2</sup> à l'année par porc).

Ces indicateurs sont calculés à partir des émissions produites depuis la fabrication des aliments jusqu'à la mort du porc (figure 8). Les émissions spécifiques à la production porcine ont été collectées par des enquêtes et rassemblées dans une base de données publique appelée EcoAlim. Elle est disponible à la demande sur le site de l'INRA et elle a été utilisée dans notre étude.

Pour l'ACV du porc charcutier, on considère les émissions polluantes produites pour obtenir le porc (cycle de vie de la truie pendant 1 an, divisée par le nombre de porcelets vivants à la fin du post sevrage), celles pendant le post-sevrage et puis en engraissement. Les indicateurs du cycle de vie du porc jusqu'à la fin de post-sevrage sont des constantes, à l'inverse des indicateurs en engraissement (effets aléatoires du taux de perte et des profils individuels des porcs).

Plusieurs leviers d'actions de l'éleveur sont envisageables pour réduire les émissions polluantes : gestion de l'alimentation et de l'eau, gestion des bâtiments (ventilation, température, réduction de consommation d'énergie...) et gestion des déjections (stockage, traitement, épandage). Pour le calcul de l'ACV, les pratiques simulées sont décrites en annexe III.

Les différentes émissions du porc, des aliments et des équipements sont converties en CO<sub>2</sub> équivalent, ou PO<sub>4</sub> équivalent, ou SO<sub>2</sub> équivalent ou MJ ou m<sup>2</sup>, grâce à des coefficients de conversion décrits en annexe IV.

**Tableau 4 : Les 5 paramètres dans InraPorc décrivant le profil des porcs – Source : réalisation personnelle.**

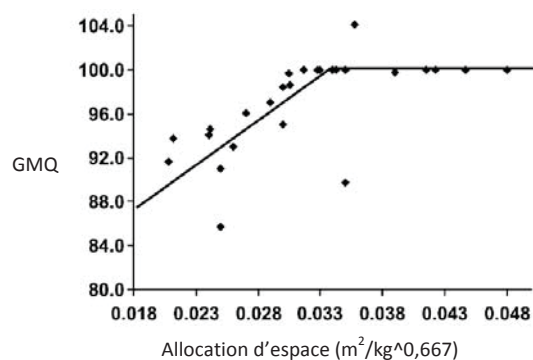
	Femelles	Mâles castrés
BW70 (poids à 70 jours) (kg)	30	30
a	4,45	5,02
b (/kg)	0,0216	0,0189
PDm (dépôt de protéines) (g/jour)	143	150
BGompertz (/jour)	0,0171	0,0194

**Tableau 5 : Contraintes de formulation appliquées dans l'étude (basée sur les recommandations du CORPEN 2003) – Source : réalisation personnelle.**

	Aliment A		Aliment B	
	Min	Max	Min	Max
MAT	-	165	110	150
LYSD	10,49	-	5,11	-
PT	-	4,6	-	4,3
Pdig	2,75	-	1,75	-
ENc MJ	9,75	-	9,75	-

**Tableau 6 : Composition et prix en matières premières des aliments de croissance et de finition du porc – Source : réalisation personnelle.**

	Aliment croissance A (g/kg frais)	Aliment finition B (g/kg frais)	Prix février 2014 (€/t)
<b>CEREALES</b>			
Orge	298,72	162,47	179
Maïs grain	471,34	500	184
Blé tendre	0	155,50	199
<b>OLEAGINEUX</b>			
Tourteau de colza	30,49	55,50	307
Tourteau de soja 48	164,74	0	493
<b>MINERAUX</b>			
Phosphate monocalcique	4,24	0	672
3-Phytase 1000 UP base maïs	0,05	0	9522
3-Phytase 300 UP base maïs	0,06	0,06	9522
3-Phytase 500 UP base maïs	0,04	0,013	9522
3-Phytase 750 UP base maïs	0,05	0	9522
Carbonate de calcium	11,81	14,54	72
Sel (chlorure de sodium)	3,56	3,63	112
Valine pure	0,37	0	12022
L-tryptophane pur	0,66	0,16	12022
Threonine pure	2,23	0,43	1622
DL methionine pure	1,37	0	2822
L-Lysine HCL pure	5,27	2,69	1222
COV 0.5% charcutiers	5	5	522



**Figure 9 : Evolution du GMQ en fonction de l'espace pour des porcs charcutiers sur caillebotis – Source : Gonyou H.W. et al, 2006.**

**Tableau 7 : Surface minimale réglementaire par animal – Source : Courboulay V., 2006.**

Poids des animaux	Surface minimale requise
Plus de 30 jusqu'à 50 kg	0,40 m <sup>2</sup>
Plus de 50 jusqu'à 85 kg	0,55 m <sup>2</sup>
Plus de 85 jusqu'à 110 kg	0,65 m <sup>2</sup>
Plus de 110 kg	1,00 m <sup>2</sup>

### 3. Sélection des scénarios

#### 3.1. Module animal

L'étude des scénarios porte sur 2000 porcs (50% mâles castrés et 50% femelles) issus de truies Large White x Landrace, croisées avec des verrats Large White x Pietrain. Les profils de porcs sont les mêmes que ceux utilisés par Brossard L. et al (2014), définis par 5 paramètres dans InraPorc (tableau 4). Les profils de porcs sont jugés performants.

#### 3.2. Module alimentation

Dans l'étude, la composition des aliments croissance et finition est définie par les matières premières qui sont le plus couramment utilisés dans la pratique.

Pour des raisons pratiques, nous avons choisi la forme granulée des aliments (et non en soupe, forme la plus couramment utilisée).

Les aliments ont été préparés selon la méthode de formulation à moindre coût. Les aliments utilisés à chaque phase sont obtenus par mélange d'aliments de base pour obtenir les rapports LYSd/EN escomptés. Les rapports minimaux entre AA essentiels sont ajustés sur la base du profil en AA de la protéine idéale. Les aliments sont formulés avec quelques contraintes de formulation sur la matière azotée totale (MAT), la lysine digestible (LYSD), la protéine (PT), la protéine digestible (Pdig) et l'énergie nette consommée (ENc MJ), selon les recommandations du CORPEN (CORPEN, 2003) (tableau 5).

Dans le modèle, nous avons estimé les apports en lysine à 110% des besoins de la cochette moyenne, afin de couvrir les besoins de la totalité des animaux. En effet, une augmentation de l'offre en lysine de 10 à 15% des besoins net de l'animal moyen permet de maximiser les performances des animaux de l'élevage (Brossard L. et al., 2014).

Des renseignements sur la composition des matières premières sont fournis dans les tables INRA-AFZ et des logiciels, comme PorFal (développé par l'IFIP).

La composition des aliments A et B simulés, obtenue par formulation, est décrite dans le tableau 6.

Le modèle InraPorc n'intègre pas d'effet densité. Gonyou H.W. et al (2006) ont modélisé un effet densité sur le GMQ (figure 9), qui définit une augmentation du GMQ avec la surface allouée au porc, avec un plateau à partir d'un certain seuil. Un effet densité sur l'ingestion a été intégré dans le modèle CASDAR-MOGADOR, qu'il est possible d'activer ou pas (« Effet\_densite » en annexe V, effet activé dans l'étude). Dans la formule, un pourcentage est appliqué sur l'ingestion en fonction de la densité, ce qui réduit le GMQ et la croissance des animaux, mais l'impact est moins important que l'effet densité de Gonyou H.W. et al (2006).

#### 3.3. Module éleveur

La superficie minimale réglementaire pour l'animal augmente au fur et à mesure de son poids vif (tableau 7). Dans l'étude, la superficie allouée est de 0,65 m<sup>2</sup> (« superficie\_par\_porcs » en annexe V). Le porc a donc plus ou autant de place que l'exige la réglementation jusqu'à 110 kg. La superficie devient trop petite au-dessus de ce poids, cependant il y a des départs progressifs à l'abattoir et des pertes pour rééquilibrer.

Dans la pratique, le vide sanitaire dure environ 5 jours et l'idéal recommandé est de 7 jours (oral, technicienne IFIP). Dans l'étude, le vide sanitaire est fixé à 3 jours (« VS » en annexe V).

Tableau 8 : Variables du modèle MOGADOR modulées – Source : réalisation personnelle.

Nom variable	Valeur 1	Valeur 2	Valeur 3	Description
rythme_cohorte	7	35		Nombre de jours entre l'arrivée de chaque cohorte de l'élevage
allot	0	1		Modalité traduisant la pratique de l'allotement choisie pour chaque salle de l'atelier 0 : au hasard 1 : au poids
choix_plan	Ad libitum	Restriction a 2.5 kg/j		Nom du plan de rationnement choisi pour nourrir les porcs
choix_seq	Bi-phase	multiphase journalier		Nom de la séquence alimentaire choisie pour nourrir les porcs
Echelleseq	0	1	2	Echelle à laquelle est adaptée l'alimentation des porcs 0 : salle 1 : case 2 : individu
Places_cases	10	30		Nombre de places dans chaque case
salle_tampon	0	1		Modalité traduisant si l'éleveur utilise ou non une salle tampon 0 : non 1 : oui

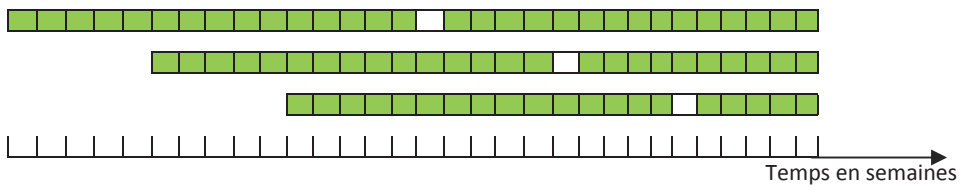


Figure 10 : Conduite en 4 bandes avec 3 salles d'engraissement et 7 jours de vide sanitaire – Source : réalisation personnelle, d'après IFIP (2013).

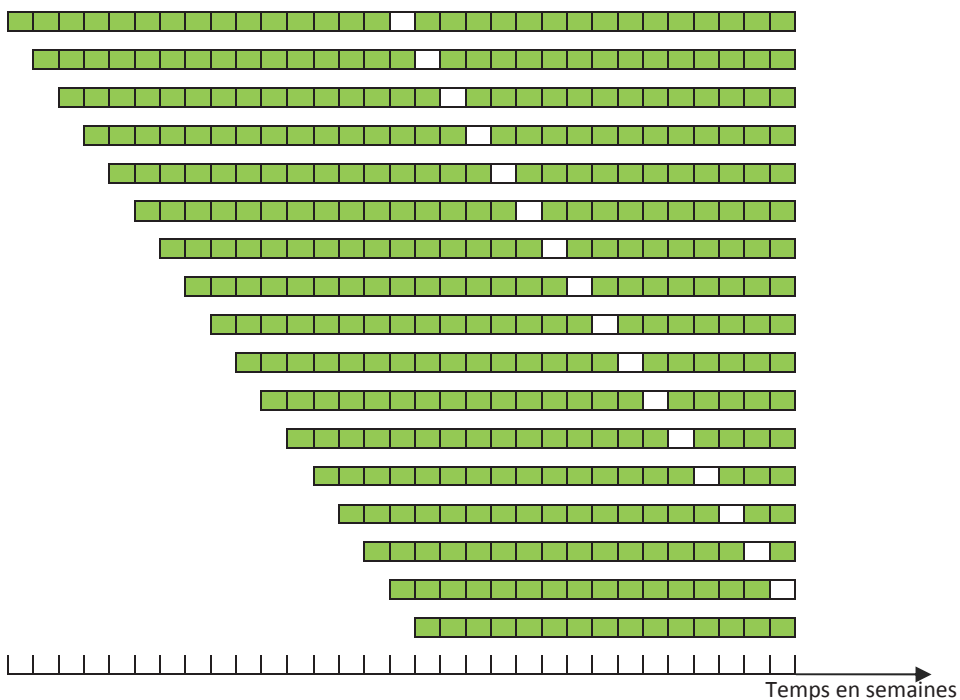


Figure 11 : Conduite en 20 bandes avec 17 salles d'engraissement et 7 jours de vide sanitaire – Source : réalisation personnelle, d'après IFIP (2013).

Dans le modèle, les critères d'activation du 1<sup>er</sup> départ à l'abattoir sont déterminés de la manière suivante :

- Présence de 50 animaux minimum (« decision\_depart » en annexe V);
- Le poids à partir duquel un porc est détecté comme prêt à partir à l'abattoir est 115 kg ;
- 10 jours avant le départ à l'abattoir (« nbjour\_departabat » en annexe V), l'éleveur réalise un premier comptage (1<sup>ère</sup> estimation du nombre d'animaux qui vont partir à l'abattoir). Puis 3 jours avant le départ à l'abattoir (« nbjour\_tri\_depart » en annexe V), l'éleveur réalise un deuxième comptage et trie ses animaux. Lors de ces observations, l'éleveur cherche des animaux qui atteindront 117-118 kg (milieu de cœur de gamme) ;
- Les autres départs peuvent se produire tous les 7 jours s'il y a 50 animaux prêts à l'abattage (« nbjour\_C1C2 » en annexe V).

### 3.4. Choix des scénarios

- Paramètres modulés

L'étude a porté son attention sur une sélection de pratiques d'élevage, qui impacteraient les performances zootechniques, économiques, environnementales et la variabilité de poids des porcs en croissance. Ces pratiques sont la permission alimentaire (restriction ou *ad libitum*), le nombre de phases, les stratégies et objectifs d'abattage et la variabilité des animaux (Boys KA, 2007 ; Niemi JK, 2010 ; Kristensen AR, 2012 ; Morel PCH, 2012).

Les pratiques d'élevage modulées sont décrites dans le tableau 8. Dans une première approche, nous avons préféré utiliser des facteurs à deux modalités afin de déterminer si ce facteur a une influence ou pas. Le plan d'expérience complet équivaut à 192 simulations différentes.

La taille des élevages simulés est représentative de la réalité. La taille moyenne nationale est d'environ 190 truies, soit près de 4700 porcs produits par an (Inaporc, 2016).

La conduite en 4 bandes (rythme cohorte de 35 jours ; figure 10) permet la production de 11 cohortes par an, soit 5 280 porcs à l'engrais, soit 183 truies productives environ (28,9 porcelets sevrés par truie productive par an, d'après la GTE (IFIP, 2015)). Ainsi, la taille de l'élevage est légèrement inférieure à la moyenne nationale.

La conduite en 20 bandes (rythme cohorte de 7 jours, figure 11) permet la production de 53 cohortes par an, soit 25 440 porcs à l'engrais, soit 881 truies productives environ (28,9 porcelets sevrés par truie productive par an, d'après la GTE (IFIP, 2015)). Il s'agit donc ici d'un très gros élevage en France. On peut noter qu'au Danemark, où il y a les plus grandes structures en moyenne dans l'Union européenne, les exploitations porcines comptent en moyenne 560 truies (Inaporc, 2016). Mais cette taille reste toute de même inférieure à ce que l'on peut rencontrer en Amérique du Nord, où l'on compte facilement plus de 10 000 truies (Inaporc, 2016).

L'allotement et le nombre de places par case jouent sur l'hétérogénéité de poids entre les animaux. Dans la pratique, il est recommandé un allotement au poids (et si possible au sexe) (Dubois A. et al., 2005). Pour avoir des résultats contrastés et vérifier la bonne validité du modèle, on simule un allotement au poids et au hasard.

De même, la taille du groupe la plus faible possible est conseillée pour limiter le pourcentage d'animaux hors gamme.

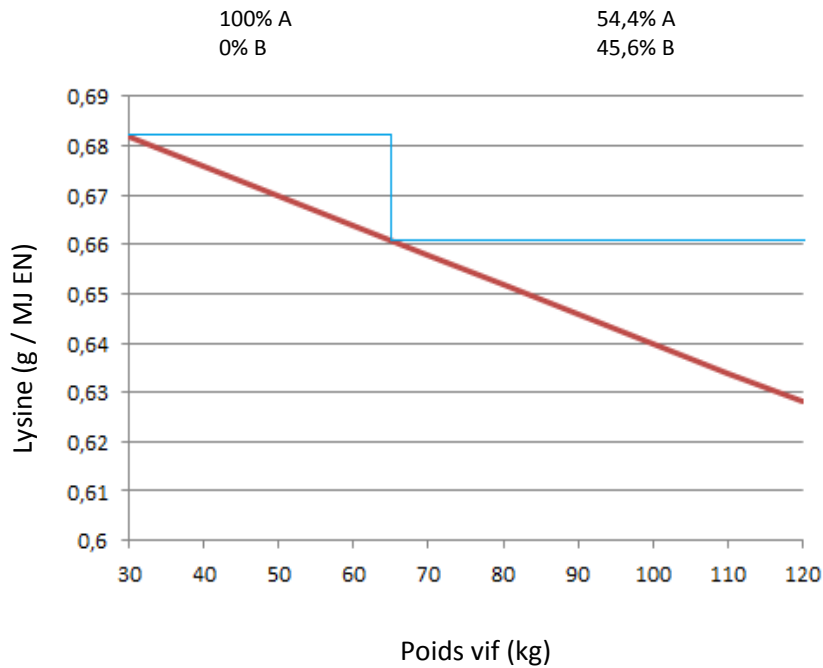


Figure 12 : Evolution des besoins en lysine (en rouge) et des apports en lysine en biphase (en bleu) en fonction du poids du porc en croissance – Source : réalisation personnelle.

Remarque : la courbe des besoins en lysine du porc en fonction de son poids vif n'est pas linéaire.

A : aliment de croissance

B : aliment de finition

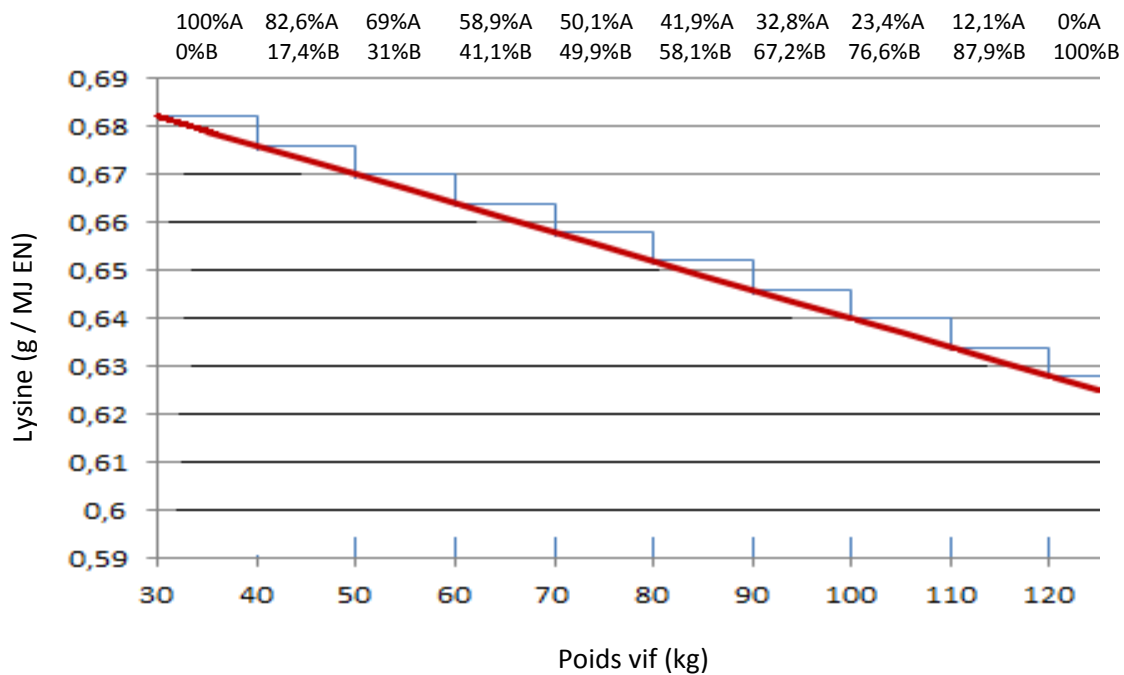


Figure 13 : Evolution des besoins en lysine (en rouge) et des apports en lysine en 10 phases (en bleu) en fonction du poids du porc en croissance – Source : réalisation personnelle.

Remarque : la courbe des besoins en lysine du porc en fonction du poids vif n'est pas linéaire.

A : aliment de croissance

B : aliment de finition

La conduite biphasé est décrite à la figure 12. Dans InraPorc, la conduite multiphasé journalier est la conduite en 10 phases décrite à la figure 13, avec des transitions journalières.

L'échelle de séquence alimentaire se base sur les besoins de la cochette moyenne à l'échelle de la salle, de la case (une partie des besoins alimentaires des porcs ne sera pas couvert), ou des besoins de chaque animal.

On peut noter qu'une conduite multiphasé journalier à l'échelle du porc se rapproche d'une alimentation de précision, mais cela reste deux systèmes différents :

- en alimentation de précision, la nourriture distribuée dans la journée au porc est calculée selon la quantité qu'il a ingéré les jours précédents ;
- en conduite multiphasé individuelle, la nourriture distribuée dans la journée est calculée en fonction du GMQ estimé.

- Scénarios vs Expérimentations virtuelles

Normalement, le terme « scénario » n'est pas tout à fait approprié ici, nous devrions parler d'expérimentation virtuelle. En effet, un « scénario » se veut représentatif de la réalité et la démarche de construction n'est pas tout à fait similaire à celle de l'expérimentation virtuelle. Ici nous avons choisi nos « scénarios » selon un plan complet, quitte à tester certains cas non représentatifs de la réalité.

Dans notre étude, 192 expérimentations virtuelles ont été testées. Sur les 192, 80 sont de véritables scénarios, représentatifs de la réalité :

- On peut considérer que 64 « scénarios » semblent aberrants dans la pratique. En effet, si l'éleveur opte pour la conduite multiphasé journalier, il semble logique qu'il applique cette conduite alimentaire à l'échelle de l'individu et qu'il dispose d'un outil de précision. La conduite multiphasé journalier à l'échelle de la case ou de la salle semble une pratique aberrante car les efforts journaliers sont ruinés par l'échelle de la séquence alimentaire.
- De plus, 32 « scénarios » ne semblent pas réalistes car ils combinent une conduite biphasé et une séquence alimentaire à l'échelle de l'individu. Si l'éleveur est capable d'une précision plus fine de l'échelle de la séquence alimentaire, il doit pouvoir se donner les moyens d'une conduite multiphasé, sinon il a investi son argent et de son temps pour rien.
- Enfin, 16 « scénarios » ne semblent pas représentés dans la réalité, dans le cas d'un rythme de cohorte de 35 jours (3 salles d'engraissement) et sans salle tampon. En effet, dans ce cas, l'élevage doit disposer d'exigences techniques plus élevées pour la vitesse de croissance. Le temps d'engraissement est réduit et il serait surprenant que l'élevage ne dispose pas d'une salle tampon.

## 4. Méthodes statistiques mises en œuvre

Le modèle permet d'obtenir des indicateurs économiques, environnementaux et techniques par porc et à l'échelle de l'élevage (moyenne des variables individuelles), pour les 192 scénarios.

### 4.1. Analyse de variance

L'analyse de variance (ANOVA) est une méthode qui nous permettra d'étudier la modification de la moyenne  $\mu$  de variables quantitatives (indicateurs techniques, économiques et environnementaux) selon l'influence des 7 variables qualitatives (« rythme de cohorte », « allotement », « nombre de

Tableau 9 : Description des 14 variables quantitatives de l'ANOVA – Source : réalisation personnelle.

5 variables environnementales :	
	Indicateur du changement climatique par l'ACV en engraissement
CC_tot	(kg CO2-eq par kg PV)
CC_Eng	(kg CO2-eq par kg de gain de PV en engraissement)
	Indicateur de l'acidification par l'ACV en engraissement
AC_tot	(kg SO2-eq par kg PV)
AC_Eng	(kg SO2-eq par kg de gain de PV en engraissement)
	Indicateur de l'eutrophisation par l'ACV en engraissement
EU_tot	(kg PO4-eq par kg PV)
EU_Eng	(kg PO4-eq par kg de gain de PV en engraissement)
	Indicateur de l'énergie consommée par l'ACV en engraissement
CED_tot	(MJ par kg PV)
CED_Eng	(MJ par kg de gain de PV en engraissement)
	Indicateur de l'occupation des sols par l'ACV en engraissement
OS_tot	(m2 par kg PV)
OS_Eng	(m2 par kg de gain de PV en engraissement)
3 variables économiques :	
CoutAlim_Eng	Coût des aliments (€ par porc abattu)
produit	Produit (€ par porc abattu)
marge_Eng_reelle	Marge en atelier d'engraissement (€ par porc abattu)
6 variables techniques :	
IC_Eng	Indice de consommation en atelier d'engraissement
TMPcor	TMP
AgeFin	Age du porc en fin d'engraissement
PVFin	Poids vif du porc en fin d'engraissement
RejeteN_Eng	Rejet d'azote par porc en engraissement (g d'N par porc)
RejeteP_Eng	Rejet de phosphore par porc en engraissement (g de P par porc)



places par case », « salle tampon », « choix du plan de rationnement », « choix de la séquence de rationnement », « échelle de la séquence alimentaire »).

Modèle de l'ANOVA :

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

$\mu$  correspond à la moyenne des  $y$

$i$  correspond à la variabilité de  $y$  liée au facteur I

$j$  correspond à la variabilité de  $y$  liée au facteur J

$k$  correspond à la variabilité biologique de  $y$  lors d'expériences répétées même si  $i$  et  $j$  sont identiques

L'objectif est de tester l'égalité des moyennes de ces populations, à savoir de tester l'hypothèse nulle.

$H_0 : \mu_i = \mu_j$  quel que soit  $i$  appartient à  $\{1,2,\dots,I\}$  et  $j$  appartient à  $\{1,2,\dots,J\}$

Dans l'étude, nous utilisons un modèle mixte (facteurs à effets fixes et aléatoires). Le profil du porc est caractérisé comme un facteur aléatoire car on considère que les porcs représentent la variabilité de l'élevage. Si le facteur « profil » avait été déclaré fixe, cela signifie que chaque porc est un objet d'étude. Les autres facteurs (les 7 variables qualitatives) sont des facteurs fixes.

Nous utilisons le modèle linéaire généralisé pour l'ANOVA (fonction « glm » dans R), plutôt que le modèle linéaire. En effet, le modèle linéaire définit que la variable à expliquer suit une loi binomiale, tandis que le modèle linéaire généralisé opère une transformation mathématique sur la variable à expliquer en tenant compte de la véritable distribution des erreurs (logarithme, exponentielle...) et adapte la loi (loi binomiale, loi de Poisson, loi Gaussienne...).

La fonction « lsmeans » de R calcule les moyennes du modèle linéaire généralisé, et la fonction « cld » de R leur attribue un groupe (une lettre par groupe).

L'ANOVA est réalisée sur 14 variables quantitatives (tableau 9). Les effets de deux à trois facteurs à la fois sont testés sur ces variables, regroupés de la manière suivante :

- Effet « alimentation »  
`choix_plan * choix_seq * Echelleseq`
- Effet « gestion des fins de bande »  
`rythme_cohorte * salle_tampon`
- Effet « hétérogénéité de poids »  
`allot * places_cases * Echelleseq`
- Effet « alimentation » / « allotement »  
`allot * choix_seq * choix_plan`
- Effet « alimentation » / « salle tampon »  
`salle_tampon*choix_plan*Echelleseq`

Pour ne pas avoir des interactions d'ordre supérieur à 3, nous avons choisi ce découpage. Les variables qualitatives dont nous supposons la présence d'interaction, sont regroupées ensemble.

## 4.2. Analyse multivariée

**Tableau 10 : Description des 10 variables actives de l'ACP – Source : réalisation personnelle.**

<b>2 variables environnementales :</b>
CC_Eng
Land_Eng (OS_Eng)
<b>2 variables économiques :</b>
produit
marge_Eng_reelle
<b>6 variables techniques :</b>
IC_Eng
TMPcor
AgeFin
Cœur_gamme
Legers
Perte

**Tableau 11 : Description des 10 variables illustratives de l'ACP – Source : réalisation personnelle.**

<b>3 variables environnementales :</b>
AC_Eng
EU_Eng
CED_Eng
<b>1 variable économique :</b>
CoutAlim_Eng
<b>6 variables techniques :</b>
PVFin
Lourds
RejeteN_Eng
RejeteP_Eng

Les variables des tableaux 10 et 11 sont décrites dans le tableau 9.

- ACP

L'ACP permet d'étudier les ressemblances entre scénarios du point de vue de l'ensemble des variables et dégage des profils de scénarios.

Les corrélations entre les 20 variables quantitatives ont été étudiées. Quand des variables sont fortement corrélées entre elles ( $>0,90$ ), seule une variable du groupe est définie « active » tandis que les autres sont dites « illustratives ».

Dans l'étude, 10 variables sont classées « actives » (tableau 10) et 10 autres « illustratives » (tableau 11).

Dans l'ACP, les variables actives servent à calculer les distances entre individus et à construire les axes, tandis que les variables illustratives permettent d'interpréter les axes.

Le pourcentage d'inertie est le pourcentage d'information expliqué par chaque axe. Comme il s'agit ici d'un modèle et non d'expérimentations, nous nous attendons à un pourcentage d'inertie très élevé. Les deux premières dimensions devraient suffire pour fournir une bonne qualité de représentation d'une variable ou d'un individu.

- CAH

La CAH a pour objectif de construire une hiérarchie sur les scénarios et se présente sous la forme d'un dendrogramme. Cette classification permet de regrouper les scénarios dans des classes les plus homogènes possibles à partir d'un jeu de données scénarios\*variables quantitatives.

### III. Résultats et interprétations

#### 1. Résultats

##### 1.1. Quelques ordres de grandeur

- Résultats techniques

Le porc moyen simulé dans l'étude consomme 238,6 kg d'aliment et il est abattu à 171,8 jours. Il consomme donc 2,35 kg d'aliment par jour, valeur comparable à celle sur le terrain, de 2,32 kg/jour d'après la GTE 2014 (IFIP, 2015).

Son poids moyen est d'environ 30 kg en début d'engraissement, valeur comparable au 27,5 kg de la GTE 2014 (IFIP, 2015), et de 118,2 kg en fin d'engraissement, valeur proche des 120,9 kg de la GTE 2014 (IFIP, 2015). Les profils des porcs de l'étude sont performants. En effet, le GMQ 30 – 118 kg de l'étude (874) est également meilleur que le GMQ 30 – 115 kg de la GTE 2014 (798) (IFIP, 2015). L'IC 30 – 118 kg simulé (2,71) est légèrement supérieure à l'IC 30 – 115 kg de la GTE 2014 (2,93) (IFIP 2015). Le TMP moyen simulé (60,2) est aussi environ égale au TMP de la GTE 2014 (60 en France métropolitaine et 60,3 en Bretagne) (IFIP, 2015).

Dans l'étude, 94,7% des porcs sont dans la gamme, taux supérieur à celui rencontré sur le terrain, de 85,1% en 2010 (TechPorc, 2011). Plus précisément, 77,5% des porcs simulés sont dans le cœur de gamme, 5,1% sont classés « légers » et 0.1% sont classés « lourds ».

Le taux de perte en engraissement de l'étude (2,8%) est inférieur à celui de la GTE 2014 (3,9%) (IFIP, 2015), mais il est conforme à la probabilité de mortalité en entrée du modèle (env. 3%).

Tableau 12 : Impacts environnementaux moyen dans l'étude et dans une étude de Garcia Launay F. et al. (2014) – Source : réalisation personnelle, d'après Garcia Launay F. et al. (2014).

	Par porc	Par kg de PV	Par kg de gain de PV en engraissement	Par kg de gain de PV en engraissement en biphase		Par kg de PV en engraissement en multiphases journalier	
				Calcul	Référence 2P-LowCP <sup>1</sup>	Calcul	Référence MP-MinCP <sup>2</sup>
CC (kg CO2-eq)	194,9	2,48	2,21	2,26	2,51	2,17	2,26
AC (g SO2-eq)	3784,8	44,4	43,0	44,5	45,3	41,6	34,6
EU (g PO4-eq)	1418,1	16,7	16,1	16,6	19,1	15,7	16,5
CED (MJ)	1338,6	14,6	15,2	15,6	19,7	14,8	19,4
OS (m2)	301,7	3,54	3,43	3,46	4,02	3,40	3,90

<sup>1</sup> 2P-LowCP : conduite biphase (un aliment de croissance et un aliment de finition), formulation à moindre coûts avec des niveaux en AA selon les recommandations du CORPEN (2003) (Garcia-Launay et al., 2014).

<sup>2</sup> MP-MinCP : conduite multiphases (un aliment de croissance et un aliment de finition), formulation à moindre coûts avec des niveaux en AA selon les recommandations minimum du CORPEN (2003) (Garcia-Launay et al., 2014).

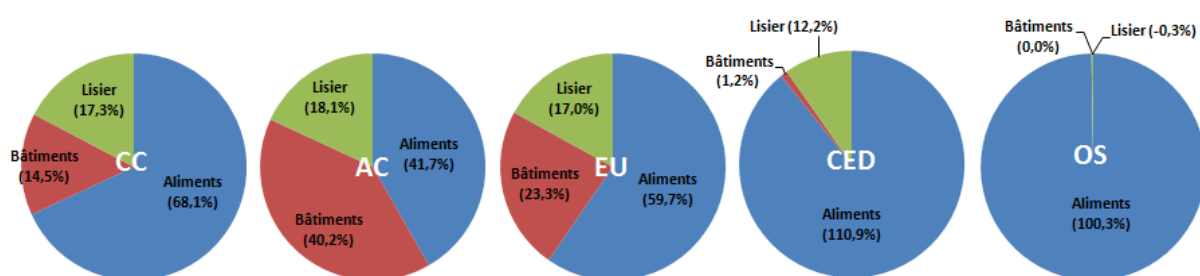


Figure 14 : Contribution de la production des aliments, des rejets en bâtiments et de la gestion des effluents à l'impact environnemental du kg de porc vif — Source : réalisation personnelle.

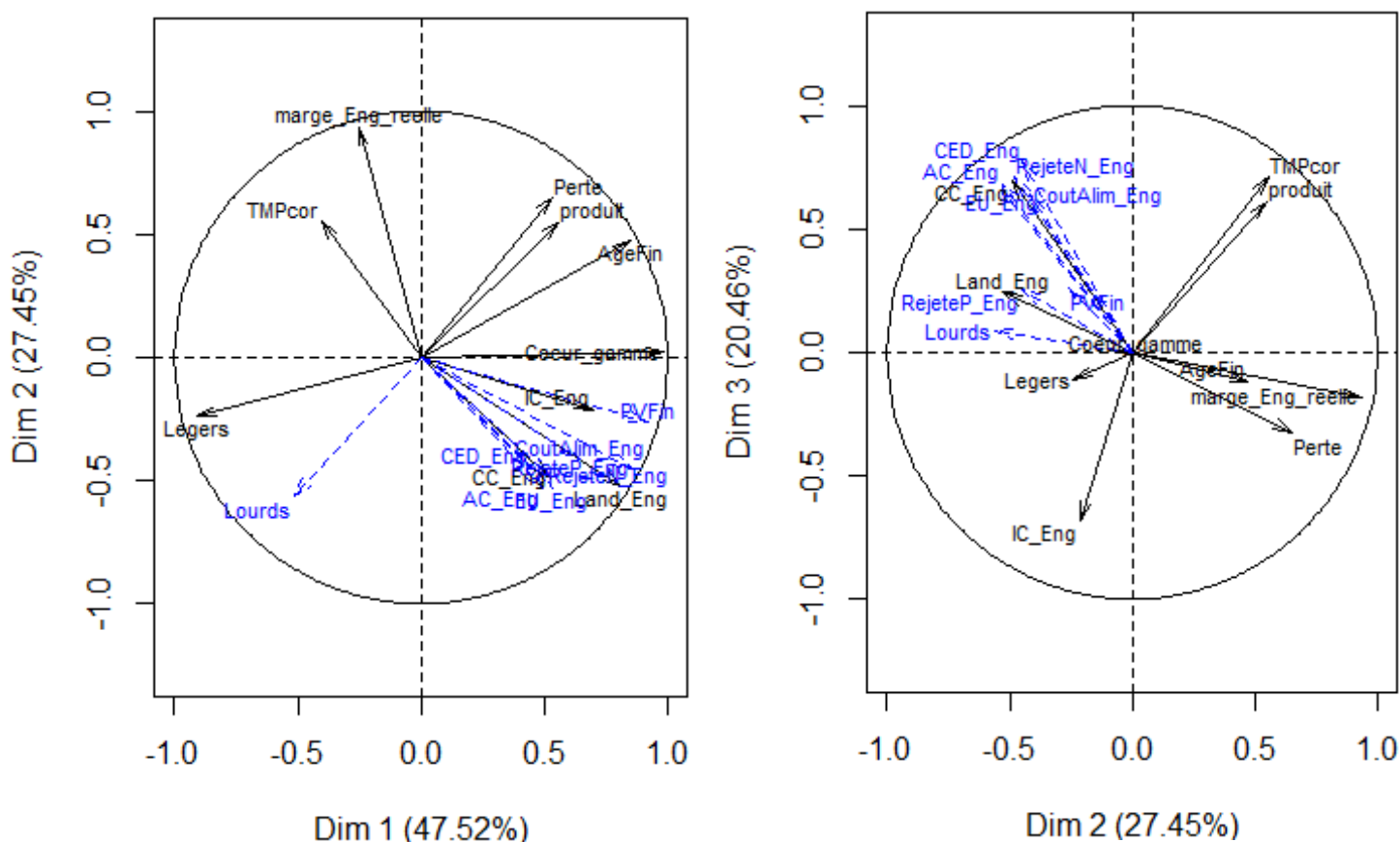


Figure 15: Représentation des variables de l'ACP - Source : réalisation personnelle sous le logiciel R

Les variables sont décrites dans les tableaux 9, 10 et 11.

- Résultats environnementaux

D'un point de vue environnemental, le porc moyen simulé excrète environ 3,13 kg d'azote et 0,59 kg de phosphore en engraissement.

Le calcul des indicateurs environnementaux de l'ACV par kg de poids vif permet de comparer ces valeurs avec la littérature. Les ordres de grandeur simulés sont proches de ceux référencés dans la littérature (tableau 12).

L'empreinte environnementale dépend principalement de la production des aliments, quel que soit l'indicateur considéré (figure 14).

On peut noter que l'indicateur environnemental mesurant l'énergie consommée par la gestion du lisier et son épandage (CED lisier) sur les champs est négatif (figure 14). En effet, la fabrication et l'utilisation d'engrais organique demande moins d'énergie que pour les engrais minéraux.

De plus, dans le tableau 12, on remarque que la valeur CED par kg de PV (14,6) est plus faible que celle par kg de gain de PV en engraissement (15,2). En effet, la consommation d'énergie en bâtiment et pour les aliments des truies et des porcelets en post-sevrage est totalement compensée par l'économie d'énergie liée à l'épargne de fertilisants minéraux.

- Résultats économiques

D'un point de vue économique, le porc à l'engrais simulé coûte environ 56,78 € en aliments (80,5 € pour toute la période de sa vie) et il est vendu 131,81 €. On estime que la marge en engraissement est de l'ordre de 11,17 € par porc si on déduit le coût alimentaire et le coût d'achat du porcelet au post-sevrage du produit. Ces valeurs ont été calculées sur la base des références de la GTE 2014 (IFIP, 2015).

## 1.2. Résultats de l'ANOVA et l'ACP

L'ANOVA permet de détecter les pratiques d'élevage qui aboutissent à des résultats significativement différents. L'ACP permet de hiérarchiser l'effet de ces pratiques et donc de détecter les facteurs qui ont le plus d'effet sur les résultats techniques, économiques et environnementaux.

### 1.2.a. Description des résultats techniques, économiques et environnementaux sur les axes de l'ACP

- Description des axes de l'ACP

95,43% de l'information des données est contenu sur les trois premières dimensions (figure 15).

Avec un pourcentage d'inertie de 47,5%, l'axe 1 est fortement corrélé, d'une part aux variables « Cœur\_gamme » (0,98), « PVFin » (0,91), « AgeFin » (0,85) et « Legers » (-0,90) et d'autre part aux variables « RejeteP\_Eng » (0,85) et « OS » (0,81). Ainsi, la dimension 1 représente l'homogénéité/hétérogénéité du poids vif des porcs et l'impact environnemental en termes d'occupation des sols.

Avec un pourcentage d'inertie de 27,5%, la dimension 2 représente la rentabilité de l'exploitation agricole. En effet, l'axe 2 est fortement corrélé à la variable « marge\_Eng\_reelle » (0,93).

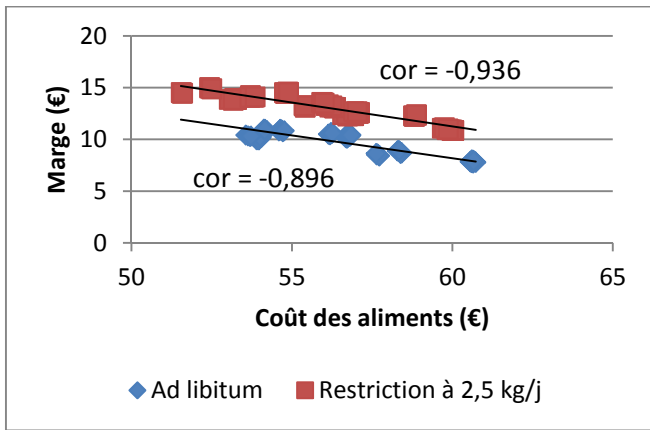


Figure 16 : Etude des corrélations Marge / Coût des aliments - Source : réalisation personnelle

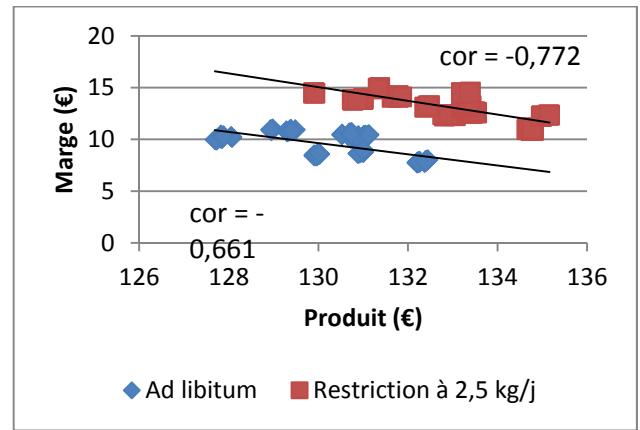


Figure 17 : Etude des corrélations Marge / Produit - Source : réalisation personnelle

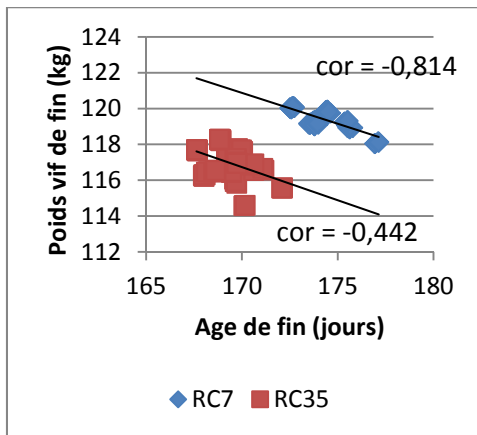


Figure 18 : Etude des corrélations Age de fin / Poids vif de fin - Source : réalisation personnelle.

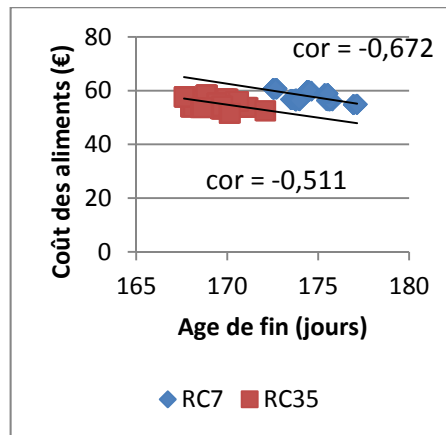


Figure 19 : Etude des corrélations Age de fin / Coût des aliments - Source : réalisation personnelle.

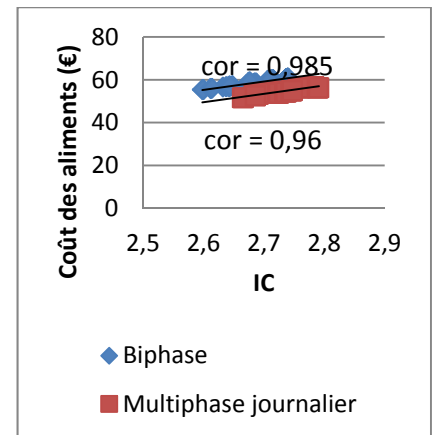


Figure 20 : Etude des corrélations IC / Coût des aliments - Source : réalisation personnelle.

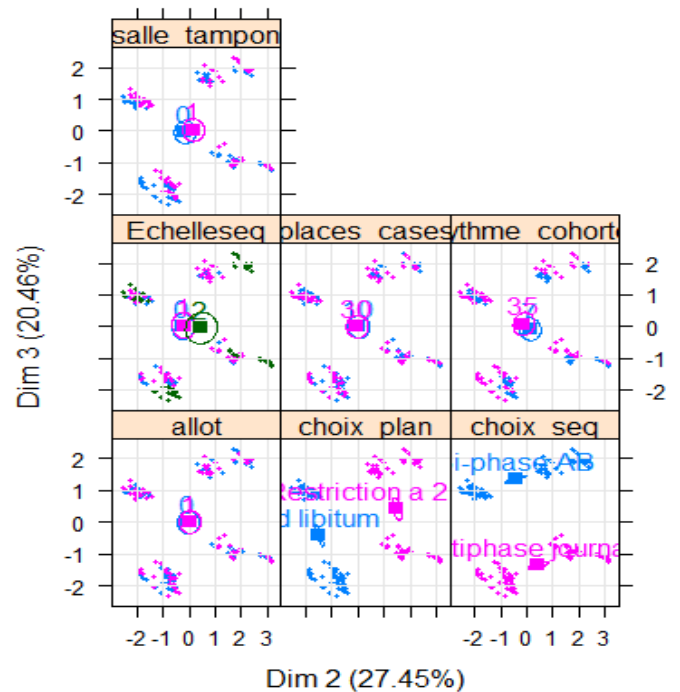
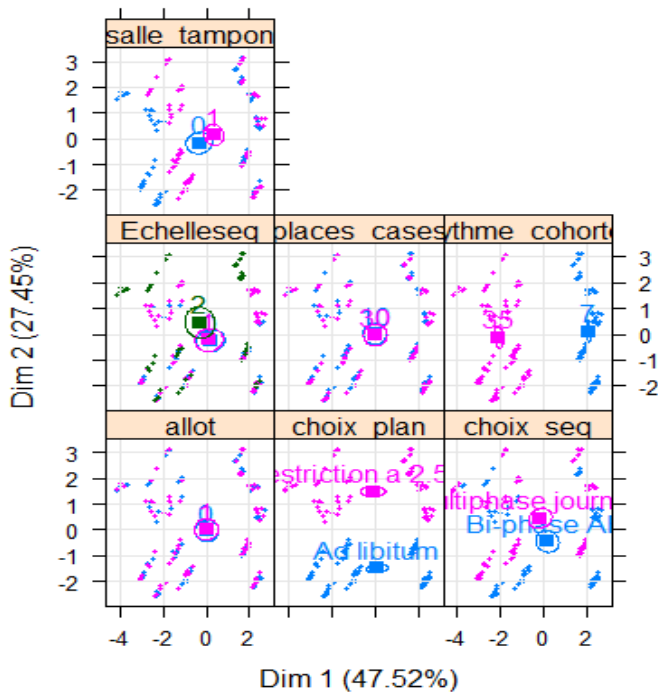


Figure 21 : Positionnement des différents "scénarios" étudiés sur les trois axes d'analyse de l'ACP - un graphique par variable qualitative - une couleur par modalité - Source : réalisation personnelle sous le logiciel R.

Les variables et modalités sont décrites dans le tableau 8.

La dimension 3, dont le pourcentage d'inertie est 20,5%, représente les performances techniques de l'animal et l'impact environnemental lié au changement climatique, l'acidification, l'eutrophisation et l'énergie consommée. L'axe 3 est fortement corrélé avec le TMP (0,71) et l'IC (0,68) d'une part, et avec 4 indicateurs environnementaux CC (0,69), AC (0,68), EU (0,65) et CED (0,77) d'autre part. Les vecteurs de ces indicateurs environnementaux forment quasiment un angle droit avec les vecteurs TMP et IC, ce qui montrent que les variables ne sont pas corrélées entre elles. Les indicateurs de l'ACV ont une corrélation de l'ordre de 0,001 à 0,13 avec le TMP et de l'ordre de 0,1 à 0,13 avec l'IC.

- Corrélation entre les variables quantitatives

D'après les résultats de l'étude, la marge est moins corrélée au coût des aliments (0,677) que ce que l'on pouvait attendre, et elle est peu corrélée au produit (0,278). Toutefois si l'on distingue les données selon le plan de rationnement, les corrélations deviennent nettement plus importantes (figures 16, 17).

De même, l'âge de fin n'est pas très corrélé au poids vif de fin (0,629) et il est peu corrélé au coût des aliments (0,275). Si l'on distingue les données selon le rythme de cohorte, les corrélations deviennent nettement plus importantes (figures 18, 19).

Les résultats statistiques soulignent également une faible corrélation (0,098) entre le coût des aliments et l'indice de consommation. Si nous distinguons les données selon la conduite biphasé et multiphasé journalier, la corrélation devient nettement plus importante (figure 20).

Le coût des aliments est fortement corrélé aux indicateurs environnementaux : 0,98 (CC), 0,97 (AC), 0,98 (EU), 0,96 (CED) et 0,89 (OS). En effet, si l'animal mange plus, il produit plus de polluants et les indicateurs environnementaux augmentent.

### ***1.2.b. Description des pratiques d'élevage sur les axes de l'ACP***

Les résultats de l'ACP fournissent le positionnement des différents « scénarios » sur les 3 axes d'analyse (figure 21). Un graphique est représenté pour chaque pratique d'élevage (variable qualitative) et une couleur est appliquée à chaque modalité.

Les facteurs sont décrits par ordre décroissant selon l'importance de leurs effets.

**Tableau 13 : Résultats de l'ANOVA sur les variables environnementales, économiques et techniques des facteurs "plan de rationnement", "type de séquence alimentaire" et "échelle de la séquence alimentaire" – Source : réalisation personnelle.**

	Restriction à 2,5 kg/jour						Ad libitum						RSD	P-value			
	Biphase		Multiphase journalier				Biphase		Multiphase journalier					PR *	PR *	SA *	RA *SA
	Ech salle	Ech case	Ech indi- vidu	Ech salle	Ech case	Ech indi- vidu	Ech salle	Ech case	Ech indi- vidu	Ech salle	Ech case	Ech indi- vidu		SA	Ech	Ech	*Ech
<b>RESULTATS ENVIRONNEMENTAUX EN ELEVAGE NAISSEUR-ENGRAISSEUR (par kg de poids vif)</b>																	
AC (kg SO2-eq)	45.3 g	45.2 f	44.5 e	43.2 b	43.2 b	42.5 a	45.9 h	45.9 h	45.9 h	43.7 d	43.7 d	43.4 c	1.64	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
CC (kg CO2-eq)	2.51 g	2.51 f	2.49 e	2.45 b	2.45 b	2.43 a	2.53 h	2.53 h	2.53 h	2.46 d	2.46 d	2.45 c	0.05	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
CED (MJ)	14.9 f	14.8 e	14.7 d	14.3 b	14.3 b	14.2 a	15.0 g	15.0 g	15.0 g	14.4 c	14.4 c	14.3 b	0.33	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
EU (kg PO4-eq)	17.0 g	17.0 f	16.8 e	16.4 b	16.4 b	16.2 a	17.2 h	17.2 h	17.2 h	16.5 d	16.5 d	16.4 c	0.55	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
OS (m2)	3.55 h	3.55 g	3.52 c	3.52 bc	3.51 b	3.49 a	3.58 i	3.58 i	3.58 i	3.54 f	3.54 f	3.53 d	0.08	<0.001	<0.001	0.002	<0.001
<b>RESULTATS ENVIRONNEMENTAUX EN ATELIER D'ENGRAISSEMENT (par kg de gain de poids vif)</b>																	
AC (kg SO2-eq)	44.3 h	44.2 g	43.3 f	41.6 c	41.5 b	40.5 a	45.1 i	45.1 i	45.1 i	42.1 e	42.1 e	41.7 d	2.21	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
CC (kg CO2-eq)	2.26 g	2.25 f	2.23 e	2.17 b	2.16 b	2.13 a	2.28 h	2.28 h	2.28 h	2.18 d	2.18 d	2.17 c	0.07	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
CED (MJ)	15.5 g	15.5 f	15.4 e	14.8 c	14.8 bc	14.7 a	15.7 h	15.7 h	15.7 h	14.9 d	14.9 d	14.8 b	0.43	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
EU (kg PO4-eq)	16.5 h	16.5 g	16.2 f	15.7 c	15.6 b	15.3 a	16.8 i	16.8 i	16.8 i	15.9 e	15.9 e	15.7 d	0.74	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
OS (m2)	3.45 g	3.44 f	3.40 c	3.40 c	3.39 b	3.36 a	3.48 h	3.48 h	3.48 h	3.42 e	3.42 e	3.42 d	0.11	<0.001	<0.001	0.006	<0.001
<b>RESULTATS ECONOMIQUES</b>																	
Coût aliments (€/porc)	57.7 h	57.6 g	56.5 f	54.2 c	54.1 b	52.6 a	58.6 i	58.5 i	58.5 i	54.7 e	54.8 e	54.3 d	3.08	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Marge (€/porc)	14.2 e	14.3 e	15.4 f	16.1 g	16.2 g	17.3 h	10.7 a	10.7 a	10.9 b	13.0 c	13.0 c	13.1 d	4.47	<0.001	<0.001	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>
Produit (€/porc)	134.0 g	133.9 fg	133.9 f	132.3 e	132.3 e	131.9 d	131.4 c	131.4 c	131.4 c	129.8 b	129.8 b	129.5 a	4.12	0.028	<0.001	<0.001	NS <sup>1</sup>
<b>RESULTATS TECHNIQUES</b>																	
IC	2.68 c	2.68 b	2.64 a	2.73 f	2.73 e	2.71 d	2.71 d	2.71 d	2.71 d	2.75 g	2.75 g	2.76 h	0.09	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Mc lipides à l'abattage (kg)	28.7 d	28.6 c	27.5 a	29.4 f	29.3 e	28.4 b	29.9 g	29.9 g	29.9 g	30.5 h	30.5 h	30.6 i	2.15	<0.001	<0.001	<0.001	NS <sup>1</sup>
PV à l'abattage (kg)	118.8 f	118.7 e	118.0 d	117.7 c	117.6 b	116.6 a	119.0 g	119.0 g	119.0 g	118.0 d	118.0 d	118.0 d	3.09	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Qté aliments ingérés (kg)	237.0 d	236.4 c	231.6 a	238.9 f	238.4 e	234.4 b	240.6 g	240.6 g	240.5 g	241.8 h	241.8 h	242.5 i	13.86	<0.001	<0.001	<0.001	NS <sup>1</sup>
Rejet d'azote (kg)	3.31 h	3.30 g	3.19 f	2.93 c	2.92 b	2.79 a	3.41 i	3.41 i	3.41 i	3.00 e	3.00 e	2.95 d	0.26	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Rejet de phosphore (kg)	0.60 g	0.60 f	0.58 c	0.58 c	0.58 b	0.56 a	0.62 i	0.62 i	0.61 h	0.59 e	0.59 e	0.59 d	0.047	<0.001	<0.001	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>
TMP	60.7 g	60.8 h	61.5 i	60.0 d	60.1 e	60.6 f	60.0 c	60.0 c	60.0 c	59.4 b	59.4 b	59.3 a	1.24	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

NS<sup>1</sup> : l'effet de l'interaction est non significatif mais les effets de chaque facteur sont significatifs  
 PR : plan de rationnement : PR  
 SA : type de séquence alimentaire

Ech : échelle de la séquence alimentaire  
 Mc : masse corporelle  
 RSD : residual standard deviation / écart-type résiduel



- Liens entre les pratiques d'élevage et les résultats économiques

Premièrement, ce sont les pratiques d'alimentation ont le plus d'impact sur la rentabilité de l'élevage.

La restriction permet une augmentation de la marge de 30,8% par rapport à une alimentation *ad libitum*, donc une meilleure rentabilité de l'exploitation agricole [ Moyennes Rt vs AL à partir du tableau 13 : marge = 15,6 vs 11,9 ].

Dans une moindre mesure, la conduite multiphase, plutôt que biphasé, permet une augmentation de la marge de 16,3% [ Moyennes MPJ vs BP à partir du tableau 13 : marge = 14,8 vs 12,7 ].

Le choix d'une alimentation à l'échelle de l'individu, plutôt qu'à l'échelle de la case ou de la salle, permet une augmentation de la marge de 4,7% [ Moyennes Ech I vs Ech S&C à partir du tableau 13 : marge = 14,2 vs 13,6 ].

Les effets des interactions d'ordre 2 et 3 « permission alimentaire », « nombre de phases » et « échelle de la séquence alimentaire » sont significatives sur la marge (tableau 13).

La marge est maximisée avec une alimentation rationnée, en conduite MPJ, à l'échelle de l'individu (+25,7, par rapport à la moyenne globale) [ Moyennes (Rt & MPJ & Ech I) vs globale à partir du tableau 13 : marge = 17,3 vs 13,7 ].

Deuxièmement, ce sont les pratiques de gestion des fins de bandes qui impactent le plus la rentabilité de l'élevage.

La marge est légèrement supérieure (+ 5,1%) à un RC de 7 jours, par rapport à 35 jours, c'est-à-dire quand l'âge d'abattage des animaux est plus tardif et que plus de porcs pourront être abattus dans le cœur de gamme [ Moyennes RC 7 vs RC 35 à partir du tableau 16 : marge = 14,1 vs 13,4 ].

De même, la présence d'une salle tampon augmente la marge de 1,9% par rapport au cas où il n'y en a pas [ Moyennes pas ST vs ST à partir du tableau 16 : marge = 13,9 vs 13,6 ].

Les effets des interactions d'ordre 2 « salle tampon » / « permission alimentaire » et « salle tampon » / « rythme de cohorte » sont significatives sur la marge.

Cette dernière est maximale avec une alimentation rationnée et une salle tampon (+14% par rapport à la moyenne globale) [ Moyennes (Rt & ST) vs globale à partir du tableau 15 : marge = 15,6 vs 13,7 ].

Elle est aussi maximisée avec un rythme cohorte de 7 jours et une salle tampon (+4% par rapport à la moyenne globale) [ Moyennes (RC 7 & ST) vs globale à partir du tableau 16 : marge = 14,3 vs 13,7 ].

Troisièmement, ce sont les autres facteurs étudiés qui modifient significativement la marge.

La marge est un peu plus importante dans le cas d'un allotement au poids (+0,4% par rapport au hasard) [ Moyennes LotP vs LotH à partir du tableau 17 : marge = 13,8 vs 13,7 ] et dans le cas de cases de plus petite taille (+0,3% avec 10 places par rapport à 30 places) [ Moyennes 10 pl. vs 30 pl. à partir du tableau 17 : marge = 13,8 vs 13,7 ].

**Tableau 14 : Résultats de l'ANOVA sur les variables environnementales, économiques et techniques des facteurs "allotement", "plan de rationnement" et "type de séquence alimentaire"**  
 – Source : réalisation personnelle.

	Bi-phase				Multiphase journalier				RSD	<i>P-value</i>		
	Restriction à 2,5 kg/jour		<i>Ad libitum</i>		Restriction à 2,5 kg/jour		<i>Ad libitum</i>		RSD	A * SA	A * PR	SA * PR
	A au poids	A au hasard	A au poids	A au hasard	A au poids	A au hasard	A au poids	A au hasard				
<b>RESULTATS ENVIRONNEMENTAUX EN ELEVAGE NAISSEUR-ENGRAISSEUR (par kg de poids vif)</b>												
AC (kg SO <sub>2</sub> -eq)	45.0 c	45.0 c	45.9 d	45.9 d	43.0 a	43.0 a	43.6 b	43.6 b	1.66	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001
CC (kg CO <sub>2</sub> -eq)	2.50 c	2.51 c	2.53 d	2.53 d	2.44 a	2.44 a	2.46 b	2.46 b	0.05	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001
CED (MJ)	14.8 c	14,8 c	15.0 d	15.0 d	14.3 a	14.3 a	14.4 b	14.4 b	0.33	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001
EU (kg PO <sub>4</sub> -eq)	16.9 c	16.9 c	17.2 d	17.2 d	16.3 a	13.3 a	16.5 b	16.5 b	0.55	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001
OS (m <sup>2</sup> )	3.54 c	3.54 c	3.58 d	3.58 d	3.51 a	3.51 a	3.53 b	3.53 b	0.08	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001
<b>RESULTATS ENVIRONNEMENTAUX EN ATELIER D'ENGRAISSEMENT (par kg de gain de poids vif)</b>												
AC (kg SO <sub>2</sub> -eq)	43.93 e	43.96 f	45.09 g	45.11 h	41.19 a	41.21 b	41.97 d	41.99 c	2.23	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001
CC (kg CO <sub>2</sub> -eq)	2.25 c	2.25 c	2.28 d	2.28 d	2.15 a	2.15 a	2.18 b	2.18 b	0.08	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001
CED (MJ)	15.47 c	15.48 c	15.67 d	15.67 d	14.78 a	14.78 a	14.90 b	14.90 b	0.75	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001
EU (kg PO <sub>4</sub> -eq)	16.38 e	16.39 f	16.76 g	16.77 h	15.55 a	15.55 b	15.80 c	15.81 d	0.44	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001
OS (m <sup>2</sup> )	3.43 c	3.43 c	3.48 d	3.48 d	3.38 a	3.38 a	3.42 b	3.42 b	0.11	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001
<b>RESULTATS ECONOMIQUES</b>												
Coût aliments (€/porc)	57.3 c	57.3 c	58.5 d	58.6 d	53.6 a	53.6 a	54.6 b	54.6 b	3.11	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001
Marge (€/porc)	14.7 f	14.6 e	10.8 b	10.8 a	16.5 h	16.5 g	13.1 d	13.0 c	4.49	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001
Produit (€/porc)	134.0 d	134.0 d	131.4 b	131.4 b	132.2 c	132.2 c	129.7 a	129.7 a	4.12	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001
<b>RESULTATS TECHNIQUES</b>												
IC	2.67 a	2.67 a	2.71 b	2.71 b	2.72 c	2.72 c	2.75 d	2.75 d	0.09	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001
Mc lipides à l'abattage (kg)	28.3 a	28.3 b	30.0 e	30.0 f	29.0 c	29.0 d	30.5 g	30.5 h	2.18	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001
PV à l'abattage (kg)	118.5 c		119.0 d		117.3 a		118.0 b		3.11	NS	NS	NS <sup>1</sup>
Qté d'aliments ingérés (kg)	235.0 a	235.1 a	240.5 c	240.6 c	237.2 b	237.3 b	242.0 d	242.1 d	13.95	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001
Rejet d'azote (kg)	3.26 c	3.27 c	3.40 d	3.41 d	2.88 a	2.88 a	2.98 b	2.99 b	0.26	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001
Rejet de phosphore (kg)	0.59 c	0.59 c	0.62 d	0.62 d	0.57 a	0.58 a	0.59 b	0.59 b	0.047	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001
TMP	61.0 h	61.0 g	60.0 d	60.0 c	60.3 f	60.3 e	59.4 b	59.4 a	1.26	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001

NS<sup>1</sup> : l'effet de l'interaction est non significatif mais les effets de chaque facteur sont significatifs  
 A : allotement  
 PR : plan de rationnement

SA : type de séquence alimentaire  
 Mc : masse corporelle  
 RSD : residual standard deviation / écart-type résiduel

- Liens entre les pratiques d'élevage et les résultats environnementaux

Les indicateurs de l'ACV utilisés sont les valeurs CC, AC, EU, CED et OS par kg de poids vif, avec prise en compte des rejets associés aux ateliers naissance et post-sevrage.

Premièrement, ce sont les pratiques d'alimentation qui ont le plus d'impact sur les résultats environnementaux CC, AC, EU et CED.

La conduite multiphase permet ainsi de réduire l'empreinte environnementale (-2,8% CC, -4,7% AC, -3,9 EU, -3,7 CED) et les coûts du poste d'alimentation (-6,6%) par rapport à une conduite biphasé [ Moyennes MPJ vs BP à partir du tableau 13 : CC = 2,4 vs 2,5 | AC = 43,3 vs 45,4 | EU = 16,4 vs 17,1 | CED = 14,3 vs 14,9 | Coût aliments = 54,1 vs 57,9 ].

Dans une moindre mesure, une alimentation rationnée permet de réduire l'impact environnemental (-0,9% CC, -1,6% AC, -1,4% EU, -0,8% CED) et les coûts alimentaires (-2,0%) comparée à une alimentation *ad libitum* [ Moyennes Rt vs AL à partir du tableau 13 : CC = 2,47 vs 2,49 | AC = 44,0 vs 44,7 | EU = 16,6 vs 16,9 | CED = 14,5 vs 14,7 | Coût aliments = 55,4 vs 56,6 ].

Une alimentation à l'échelle de l'individu, plutôt qu'à l'échelle de la case ou de la salle, permet également une réduction de l'empreinte environnementale (-0,5% CC, -1% AC, -0,8% EU, -0,6% CED) et du coût des aliments (-1,4%) [ Moyennes Ech I vs Ech S&C à partir du tableau 13 : CC = 2,47 vs 2,48 | AC = 44,1 vs 44,5 | EU = 16,6 vs 16,7 | CED = 14,55 vs 14,64 | Coût aliments = 55,5 vs 56,3 ].

Les effets des interactions d'ordre 2 et 3 des variables « permission alimentaire », « séquence alimentaire » et « échelle de la séquence alimentaire » sont significatives sur les indicateurs de l'ACV.

Ces derniers sont minimisés avec une alimentation MPJ, rationnée et à l'échelle de l'individu (-2,3% CC, -4,1% AC, -3,4%EU, -2,8% CED par rapport aux moyennes globales) [ Moyennes (Rt & MPJ & Ech I) vs globale à partir du tableau 13 : CC = 2,43 vs 2,48 | AC = 42,5 vs 44,4 | EU = 16,2 vs 16,7 | CED = 14,2 vs 14,6 ].

Deuxièmement, ce sont les pratiques de gestion des fins de bandes qui impactent le plus les résultats environnementaux CC, AC, EU et CED.

A un RC de 7 jours, tous les animaux sont gardés plus longtemps par rapport à 35 jours. Avec une salle tampon, on garde plus longtemps les animaux les moins performants. Cela a tendance à augmenter la quantité de rejets par kg de poids vif de porc abattu.

Le rythme de cohorte de 35 jours (vs 7 jours) diminue de 1 à 2% les indicateurs CC, AC, EU et CED de l'ACV (-1,1% CC, -2,1% AC, -1,9% EU, -1,4% CED) [ Moyennes RC 7 vs RC 35 à partir du tableau 16 : CC = 2,50 vs 2,47 | AC = 44,8 vs 43,9 | EU = 16,9 vs 16,6 | CED = 14,7 vs 14,5 ].

De même, l'absence d'une salle tampon (vs sa présence) réduit de 0,1 à 0,2% les indicateurs CC, AC, EU et CED de l'ACV (-0,1% CC, -0,2% AC, -0,2% EU, -0,1% CED) [ Moyennes ST vs pas ST à partir du tableau 16 : CC = 2,482 vs 2,484 | AC = 44,3 vs 44,4 | EU = 16,7 vs 16,8 | CED = 14,60 vs 14,62 ].

Les effets des interactions d'ordre 2 « salle tampon » / « permission alimentaire » et « salle tampon » / « rythme de cohorte » sont significatives sur l'empreinte environnementale.

Cette dernière est réduite de 0,5 à 0,9% avec une alimentation rationnée et sans salle tampon par rapport aux moyennes globales des 4 indicateurs de l'ACV [ Moyennes (Rt & pas ST) vs globale à partir du tableau 15 : CC = 2,47 vs 2,48 | AC = 44,0 vs 44,4 | EU = 16,6 vs 16,7 | CED = 14,5 vs 14,6 ].

De même, elle diminue de 0,6% à 1,2% avec un rythme cohorte de 35 jours et sans salle tampon, par rapport aux moyennes globales des 4 indicateurs de l'ACV [ Moyennes (RC 35 & pas ST)

**Tableau 15 : Résultats de l'ANOVA sur les variables environnementales, économiques et techniques des facteurs "présence ou pas d'une salle tampon", "plan de rationnement" et "échelle de la séquence alimentaire" – Source : réalisation personnelle.**

	Pas de salle tampon						Salle tampon						RSD	P-value			
	Restriction à 2,5 kg/jour			Ad libitum			Restriction à 2,5 kg/jour			Ad libitum				ST * PR	ST *	PR *	ST * PR *
	Ech Salle	Ech Case	Ech individu	Ech Salle	Ech Case	Ech individu	Ech Salle	Ech Case	Ech individu	Ech Salle	Ech Case	Ech individu					
<b>RESULTATS ENVIRONNEMENTAUX EN ELEVAGE NAISSEUR-ENGRAISSEUR (par kg de poids vif)</b>																	
AC (kg SO2-eq)	44.2 d	44.2 c	43.5 a	44.7 h	44.7 h	44.6 f	44.3 e	44.2 d	43.6 b	44.8 i	44.8 i	44.7 g	1.96	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001	NS <sup>1</sup>
CC (kg CO2-eq)	2.48 d	2.48 c	2.46 a	2.49 h	2.49 h	2.49 f	2.48 e	2.48 d	2.56 b	2.50 i	2.50 i	2.49 g	0.06	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001	NS <sup>1</sup>
CED (MJ)	14.6 d	14.6 c	14.4 a	14.7 h	14.7 h	14.6 f	14.6 e	14.6 d	14.5 b	14.7 i	14.7 i	14.7 g	0.43	0.038	NS <sup>1</sup>	<0.001	NS <sup>1</sup>
EU (kg PO4-eq)	16.7 d	16.7 c	16.5 a	16.9 g	16.9 g	16.8 f	16.7 e	16.7 d	16.5 b	16.9 h	16.9 h	16.8 g	0.64	0.044	NS <sup>1</sup>	<0.001	NS <sup>1</sup>
OS (m2)	3.53 d	3.53 c	3.50 a	3.55 g	3.55 g	3.55 f	3.53 e	3.53 d	3.51 b	3.56 i	3.56 i	3.56 h	0.09	0.013	0.040	<0.001	0.002
<b>RESULTATS ENVIRONNEMENTAUX EN ATELIER D'ENGRAISSEMENT (par kg de gain de poids vif)</b>																	
AC (kg SO2-eq)	42.9 d	42.8 c	41.9 a	43.5 h	43.5 gh	43.3 f	43.0 e	42.9 d	42.0 b	43.7 i	43.7 i	43.5 g	2.65	0.015	NS <sup>1</sup>	<0.001	NS <sup>1</sup>
CC (kg CO2-eq)	2.21 d	2.21 c	2.18 a	2.23 g	2.23 g	2.22 f	2.21 e	2.21 d	2.18 b	2.24 h	2.23 h	2.23 g	0.09	0.011	NS <sup>1</sup>	<0.001	NS <sup>1</sup>
CED (MJ)	15.2 d	15.2 c	15.0 a	15.3 h	15.3 h	15.2 f	15.2 e	15.2 d	15.0 b	15.3 i	15.3 i	15.3 g	0.57	0.025	NS <sup>1</sup>	<0.001	NS <sup>1</sup>
EU (kg PO4-eq)	16.1 d	16.0 c	15.7 a	16.3 g	16.3 g	16.2 f	16.1 e	16.1 d	15.8 b	16.3 h	16.3 h	16.3 g	0.86	0.011	NS <sup>1</sup>	<0.001	NS <sup>1</sup>
OS (m2)	3.42 d	3.41 c	3.37 a	3.45 g	3.45 g	3.44 f	3.42 e	3.42 d	3.38 b	3.46 i	3.46 i	3.45 h	0.12	0.002	0.026	<0.001	<0.001
<b>RESULTATS ECONOMIQUES</b>																	
Coût aliments (€/porc)	55.8 d	55.7 c	54.4 a	56.5 h	56.5 h	56.2 g	56.1 f	56.0 e	54.7 b	56.8 j	56.9 j	56.6 i	3.61	0.005	NS <sup>1</sup>	<0.001	NS <sup>1</sup>
Marge (€/porc)	15.1 e	15.1 e	16.2 g	11.7 a	11.7 a	11.8 b	15.3 f	15.3 f	16.4 h	12.0 c	12.0 c	12.2 d	4.59	<0.001	NS <sup>1</sup>	<0.001	NS <sup>1</sup>
Produit (€/porc)	132.9 f	132.9 f	132.7 e	130.2 b	130.3 b	130.1 a	133.4 h	133.4 h	133.2 g	130.9 d	131.0 d	130.8 c	4.20	<0.001	NS <sup>1</sup>	<0.001	NS <sup>1</sup>
<b>RESULTATS TECHNIQUES</b>																	
IC	2.70 d	2.70 c	2.67 a	2.73 f	2.73 f	2.73 g	2.71 e	2.70 d	2.68 b	2.73 h	2.73 h	2.74 i	0.10	0.001	0.007	<0.001	<0.001
Mc lipides à l'abattage (kg)	237.3 d	236.7 c	232.3 a	240.4 g	240.4 g	240.7 h	238.6 f	238.1 e	233.7 b	242.0 i	242.0 i	242.4 j	13.87	0.001	NS <sup>1</sup>	<0.001	NS <sup>1</sup>
PV à l'abattage (kg)	118.1 d	118.0 c	117.1 a	118.3 e	118.3 e	118.3 e	118.4 f	118.3 e	117.4 b	118.7 g	118.7 g	118.7 g	3.14	<0.001	NS <sup>1</sup>	<0.001	NS <sup>1</sup>
Qté d'aliments ingérés (kg)	29.0 d	28.9 c	27.9 a	30.1 f	30.1 f	30.2 g	29.2 e	29.0 d	28.0 b	30.3 h	30.3 h	30.3 i	2.18	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001	NS <sup>1</sup>
Rejet d'azote (kg)	3.11 d	3.10 c	2.98 a	3.19 h	3.19 h	3.16 g	3.13 f	3.12 e	3.00 b	3.22 i	3.22 i	3.19 h	0.33	0.045	NS <sup>1</sup>	<0.001	NS <sup>1</sup>
Rejet de phosphore (kg)	0.59 d	0.59 c	0.57 a	0.60 h	0.60 h	0.60 g	0.59 f	0.59 e	0.57 b	0.61 j	0.61 j	0.61 i	0.049	0.005	NS <sup>1</sup>	<0.001	NS <sup>1</sup>
TMP	60.4 e	60.5 g	61.1 i	59.7 c	59.7 c	59.7 b	60.3 d	60.4 f	61.0 h	59.7 b	59.7 b	59.6 a	1.28	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	<0.001	NS <sup>1</sup>

NS<sup>1</sup> : l'effet de l'interaction est non significatif mais les effets de chaque facteur sont significatifs  
 ST : présence ou pas d'une salle tampon  
 PR : plan de rationnement

Ech : échelle de la séquence alimentaire  
 Mc : masse corporelle  
 RSD : residual standard deviation / écart-type résiduel

vs globale à partir du tableau 16 : CC = 2,47 vs 2,48 | AC = 43,8 vs 44,4 | EU = 16,6 vs 16,7 | CED = 14,5 vs 14,6 ].

Troisièmement, ce sont les autres facteurs étudiés qui modifient significativement les résultats environnementaux CC, AC, EU et CED.

L'empreinte environnementale est très légèrement réduite avec un allotement au poids (< -0,04% par rapport au hasard) [ Moyennes LotP vs LotH à partir du tableau 17 : CC = 2,48 vs 2,48 | AC = 44,35 vs 44,37 | EU = 16,733 vs 16,736 | CED = 14,6 vs 14,6 ] et si les cases sont de taille plus petite (< -0,05% avec 10 places par rapport à 30 places) [ Moyennes 10 pl. vs 30 pl. à partir du tableau 17 : CC = 2,482 vs 2,483 | AC = 44,35 vs 44,37 | EU = 16,73 vs 16,74 | CED = 14,607 vs 14,610 ].

Le comportement de la valeur « OS » se distingue des autres indicateurs de l'ACV. Parmi toutes les pratiques d'élevage, l'ACP montre que « OS » est plus impacté par les facteurs « rythme de cohorte » et « salle tampon ».

Un RC de 35 jours (vs 7 jours) permet de diminuer l'indicateur OS de 1,5% [ Moyennes RC 35 vs RC 7 à partir du tableau 16 : 3,51 vs 3,54 ].

L'absence de salle tampon (vs sa présence) permet de réduire l'OS de 0,2% [ Moyennes pas ST vs ST à partir du tableau 16 : 3,537 vs 3,540 ].

L'effet de l'interaction « rythme de cohorte » / « salle tampon » est significative. L'OS est minimal pour un RC de 35 jours sans salle tampon (-0,9% par rapport à la moyenne globale) [ Moyennes (RC 35 & pas ST) vs globale à partir du tableau 16 : CC = 3,51 vs 3,54 ].

- Liens entre les pratiques d'élevage et le pourcentage de porcs dans le cœur de gamme

Lors de l'étude de l'ANOVA, nous nous sommes intéressés seulement au poids vif d'abattage. L'ANOVA n'a pas été appliquée sur l'âge de fin car celle-ci ne suit pas une loi normale. On peut noter qu'un poids vif d'abattage maximal ne signifie pas une meilleure plus-value car le PV du cœur de gamme est compris entre 114 et 129 kg.

Dans l'étude de l'ACP, nous nous sommes intéressés aux pourcentages d'animaux dans les différentes gammes (un pourcentage par scénario, donc pas de répétitions pour un même scénario, donc les effets des interactions par l'ANOVA ne sont pas mesurables).

De plus, nous n'avons pas calculé la variabilité de poids (une valeur par scénario).

L'ACP permet de hiérarchiser les effets des facteurs sur le poids vif de fin et le pourcentage d'animaux dans le cœur de gamme.

Premièrement, ce sont les pratiques de gestion des fins de bandes, qui ont le plus d'impact sur le pourcentage d'animaux dans le cœur de gamme.

Les résultats de l'ACP (figure 15) montre que le RC de 7 jours principalement (vs 35 jours), et la présence d'une ST dans une moindre mesure (vs son absence), améliorent le pourcentage d'animaux dans le cœur de gamme, l'âge de fin et le poids vif d'abattage.

Le RC de 7 jours (17 salles ; 119 jours en engraissement) permet de garder les animaux 14 jours de plus qu'à un RC de 35 jours (3 salles ; 105 jours en engraissement). Cette conduite (vs 35 jours) permet une augmentation significative du poids vif de 2% dans le cœur de gamme [ Moyennes RC 7 vs RC 35 à partir du tableau 16 : PV = 119,4 vs 117,0 ].

Tableau 16 : Résultats de l'ANOVA sur les variables environnementales, économiques et techniques des facteurs "rythme de cohorte" et "présence ou pas d'une salle tampon" – Source : réalisation personnelle.

	RC de 7 jours		RC de 35 jours		RSD	P-value
	Pas ST	ST	Pas ST	ST		
RESULTATS ENVIRONNEMENTAUX EN ELEVAGE NAISSEUR-ENGRAISSEUR (par kg de poids vif)						
AC (kg SO2-eq)	44.8 c	44.8 c	43.8 a	44.0 b	1.96	<0.001
CC (kg CO2-eq)	2.50 c	2.50 c	2.47 a	2.47 b	0.06	<0.001
CED (MJ)	14.7 c	14.7 c	14.5 a	14.5 b	0.42	<0.001
EU (kg PO4-eq)	16.9 c	16.9 c	16.6 a	16.6 b	0.64	<0.001
OS (m2)	3.57 c	3.57 c	3.51 a	3.52 b	0.08	<0.001
RESULTATS ENVIRONNEMENTAUX EN ATELIER D'ENGRAISSEMENT (par kg de gain de poids vif)						
AC (kg SO2-eq)	43.7 c	43.7 c	42.3 a	42.5 b	2.64	<0.001
CC (kg CO2-eq)	2.24 c	2.24 c	2.19 a	2.20 b	0.09	<0.001
CED (MJ)	15.3 c	15.3 c	15.1 a	15.1 b	0.56	<0.001
EU (kg PO4-eq)	16.3 c	16.4 c	15.9 a	16.0 b	0.86	<0.001
OS (m2)	3.47 c	3.47 c	3.38 a	3.40 b	0.11	<0.001
RESULTATS ECONOMIQUES						
Coût aliments (€/porc)	57.3 c	57.4 d	54.4 a	55.0 b	3.45	<0.001
Marge (€/porc)	13.4 a	13.4 b	13.9 c	14.3 d	4.94	<0.001
Produit (€/porc)	132.7 c	132.9 d	130.3 a	131.4 b	4.27	<0.001
RESULTATS TECHNIQUES						
IC	2.74 c	2.75 c	2.67 a	2.69 b	0.09	<0.001
Mc lipides à l'abattage (kg)	30.1 c	30.1 c	28.7 a	28.9 b	2.25	<0.001
PV à l'abattage (kg)	119.3 c	119.4 d	116.7 a	117.3 b	2.94	<0.001
Qté d'aliments ingérés (kg)	244.7 c	245.0 d	231.3 a	234.0 b	12.85	<0.001
Rejet d'azote (kg)	3.23 c	3.24 d	3.01 a	3.06 b	0.32	<0.001
Rejet de phosphore (kg)	0.61 c	0.61 d	0.57 a	0.58 b	0.045	<0.001
TMP	59.9 a	59.9 a	60.5 c	60.4 b	1.36	<0.001

NS<sup>1</sup> : l'effet de l'interaction est non significatif mais les effets de chaque facteur sont significatifs

RC : rythme de cohorte

ST : présence ou pas d'une salle tampon

Mc : masse corporelle

RSD : residual standard deviation / écart-type résiduel

De même, la salle tampon permet de garder plus longtemps les animaux les moins performants. La présence d'une ST (vs son absence) permet une augmentation du poids vif d'abattage de 0,3% dans le cœur de gamme [ Moyennes ST vs pas ST à partir du tableau 16 : PV = 118,4 vs 118,0 ].

L'effet de l'interaction d'ordre 2 « salle tampon » / « rythme de cohorte » est significatif sur le poids vif de fin.

Ce dernier est maximal et dans le cœur de gamme pour un RC de 7 jours et une salle tampon (+4%, par rapport à la moyenne globale) [ Moyennes (RC 7 & ST) vs (RC 35 & pas ST) à partir du tableau 16 : PV = 119,4 vs 116,7 ].

Deuxièmement, ce sont les pratiques d'alimentation qui impactent très légèrement le pourcentage d'animaux dans le cœur de gamme.

Le poids vif d'abattage est augmenté dans le cœur de gamme de 0,9% en conduite biphase (vs MPJ), de 0,5% en alimentation *ad libitum* (vs rationnée) et de 0,2% avec une séquence alimentaire à l'échelle de la salle/case (vs Ech I) [ Moyennes à partir du tableau 13 : PV = 118,5 vs 117,9 (AL vs Rt) | PV = 118,5 vs 117,9 (BP vs MPJ) | PV = 118,36 vs 118,32 vs 117,87 (Ech S vs Ech C vs Ech I) ].

Les effets des interactions d'ordre 2 et 3 des facteurs « permission alimentaire », « séquence alimentaire » et « échelle de la séquence alimentaire » sont significatives sur le poids vif de fin. Ce dernier est maximisé avec une alimentation BP, *ad libitum* et à l'échelle de l'individu (+0,7% par rapport à la moyenne globale) [ Moyennes (BP & AL & Ech I) vs (MPJ & Rt & Ech S&C) à partir du tableau 13 : PV = 119,0 vs 118,2 ].

Les résultats de l'ACV (figures 15 et 21) montrent qu'une conduite biphase (vs MPJ) permet une légèrement augmentation du pourcentage d'animaux dans le cœur de gamme.

Troisièmement, les autres facteurs étudiés (nombre de places par case ; allotement au poids/hasard) ne modifient pas significativement la variabilité de poids des animaux.

- Liens entre les pratiques d'élevage et les performances techniques

Premièrement, ce sont les pratiques d'alimentation qui ont le plus d'impact sur les performances zootechniques.

Le rationnement permet d'améliorer le TMP (+1,6%) et l'IC (-1,4%) par rapport à une alimentation *ad libitum* [ Moyennes Rt vs AL à partir du tableau 13 : TMP = 60,6 vs 59,7 | IC = 2,69 vs 2,73 ].

L'alimentation biphase conduit à un TMP plus élevé (+1,1%) et un IC plus faible (-1,8%) par rapport à une conduite multiphase journalier [ Moyennes BP vs MPJ à partir du tableau 13 : TMP = 60,5 vs 59,8 | IC = 2,69 vs 2,74 ].

Le choix d'une alimentation à l'échelle de l'individu, plutôt qu'à l'échelle de la case ou de la salle, permet une amélioration du TMP (+0,5%) et de l'IC (-0,4%), par rapport aux moyennes globales [ Moyennes Ech I vs Ech S&C à partir du tableau 13 : TMP = 60,4 vs 60,1 | IC = 2,70 vs 2,72 ].

Les effets des interactions d'ordre 2 et 3 des facteurs « permission alimentaire », « séquence alimentaire » et « échelle de la séquence alimentaire » sont significatives sur le TMP et l'IC.

Tableau 17 : Résultats de l'ANOVA sur les variables environnementales, économiques et techniques des facteurs "allotement", "nombre de places par case" et "échelle de la séquence alimentaire" – Source : réalisation personnelle.

	10 places par case						30 places par case						RSD		P-value	
	Ech salle		Ech case		Ech individu		Ech salle		Ech case		Ech individu		A * PC	A * Ech	PC * Ech	
	A au hasard	A au poids	A au hasard	A au poids	A au hasard	A au poids	A au hasard	A au poids	A au hasard	A au poids	A au hasard	A au poids				
RESULTATS ENVIRONNEMENTAUX EN ELEVAGE NAISSEUR-ENGRAISSEUR (par kg de poids vif)																
AC (kg SO2-eq)	44.5 fgh	44.5 efg	44.5 cde	44.5 c	44.1 ab	44.1 a	44.5 h	44.5 egh	44.5 efg	44.5 cdf	44.1 b	44.1 ab	2.00	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>
CC (kg CO2-eq)	2.49 cd		2.49 b		2.47 a		2.49 d		2.49 bc		2.47 a		0.07	NS	NS	NS <sup>1</sup>
CED (MJ)	14.64 d		14.63 b		14.55 a		14.64 cd		14.64 bc		14.55 a		0.43	NS	NS	NS <sup>1</sup>
EU (kg PO4-eq)	16.9 gh	16.9 efg	16.8 de	16.8 c	16.6 ab	16.6 a	16.8 h	16.8 gh	16.8 efg	16.8 cdf	16.7 b	16.6 ab	0.65	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>
OS (m2)	3.55 fg	3.54 ef	3.54 de	3.54 d	3.53 ab	3.53 a	3.55 h	3.55 gh	3.54 fg	3.54 ef	3.53 c	3.53 bc	0.09	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>
RESULTATS ENVIRONNEMENTAUX EN ATELIER D'ENGRAISSEMENT (par kg de gain de poids vif)																
AC (kg SO2-eq)	43.3 gh	43.3 efg	43.2 cde	43.2 c	42.7 ab	42.6 a	43.3 h	43.3 egh	43.3 efg	43.2 cdf	42.7 b	42.7 ab	2.70	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>
CC (kg CO2-eq)	2.22 fgh	2.22 efg	2.22 cde	2.22 c	2.20 ab	2.20 a	2.22 h	2.22 egh	2.22 efg	2.22 cdf	2.20 b	2.20 ab	0.09	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>
CED (MJ)	15.25 efg	15.25 defg	15.24 cd	15.24 b	15.13 a	15.13 a	15.26 g	15.25 fg	15.25 bcdef	15.24 ce	15.13 a	15.13 a	0.58	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>
EU (kg PO4-eq)	16.20 efg	16.19 ef	16.18 cd	16.17 c	16.00 ab	16.00 a	16.21 g	16.20 fg	16.19 ef	16.18 de	16.01 b	16.00 ab	0.88	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>
OS (m2)	3.44 fg	3.44 ef	3.44 de	3.43 d	3.41 ab	3.41 a	3.44 h	3.44 gh	3.44 fg	3.44 ef	3.42 c	3.41 bc	0.12	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>
RESULTATS ECONOMIQUES																
Coût aliments (€/porc)	56.3 d		56.2 c		55.5 a		56.3 e		56.3 d		55.5 b		3.67	NS	NS	NS <sup>1</sup>
Marge (€/porc)	13.5 ab	13.6 bc	13.5 abc	13.6 c	14.2 de	14.2 e	13.5 a	13.5 abc	13.5 ab	13.6 bc	14.1 d	14.2 de	4.95	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>
Produit (€/porc)	131.9 b	131.9 b	131.9 b	131.9 b	131.7 a	131.7 a	131.9 b	131.9 b	131.9 b	131.9 b	131.7 a	131.7 a	4.39	NS	NS <sup>1</sup>	NS
RESULTATS TECHNIQUES																
IC	2.72 d	2.72 cd	2.71 bc	2.71 b	2.71 a	2.70 a	2.72 d	2.72 d	2.72 d	2.72 cd	2.71 a	2.71 a	0.10	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	0.048
Mc lipides à l'abattage (kg)	29.6 gij	29.6 fh	29.6 e	29.5 d	29.1 bc	29.1 a	29.7 j	29.6 fghi	29.6 hij	29.6 efg	29.1 c	29.1 ab	2.33	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	0.006
PV à l'abattage (kg)	118.3 cd		118.3 b		117.9 a		118.4 d		118.3 bc		117.9 a		3.16	NS	NS	NS <sup>1</sup>
Qté d'aliments ingérés (kg)	239.5 fg	239.4 ef	239.3 de	239.2 d	237.2 ab	237.1 a	239.7 h	239.6 gh	239.4 fg	239.3 ef	237.4 c	237.3 bc	14.19	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>
Rejet d'azote (kg)	3.16 fgh	3.16 efg	3.16 cde	3.15 c	3.08 ab	3.08 a	3.17 h	3.16 egh	3.16 efg	3.15 cdf	3.09 b	3.08 ab	0.034	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>
Rejet de phosphore (kg)	0.60 fg	0.60 ef	0.60 de	0.60 d	0.59 ab	0.59 a	0.60 h	0.60 gh	0.60 fg	0.60 ef	0.59 c	0.59 bc	0.049	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>	NS <sup>1</sup>
TMP	60.0 a	60.0 ab	60.1 c	60.1 d	60.4 e	60.4 e	60.0 a	60.0 a	60.0 a	60.1 bc	60.3 e	60.3 e	1.38	NS <sup>1</sup>	0.004	<0.001

NS<sup>1</sup> : l'effet de l'interaction est non significatif mais les effets de chaque facteur sont significatifs

A : allotement

PC : nombre de places par case

Ech : échelle de la séquence alimentaire

Mc : masse corporelle

RSD : residual standard deviation / écart-type résiduel



Ces derniers sont maximisés pour une alimentation rationnée, en deux phases et à l'échelle de l'individu (+2,2% pour le TMP et -2,6% pour l'IC, par rapport à la moyenne globale) [ Moyennes (Rt & BP & Ech I) vs globale à partir du tableau 13 : TMP = 60,4 vs 60,1 | IC = 2,70 vs 2,72 ].

Deuxièmement, ce sont les pratiques de gestion des fins de bandes qui impactent le plus les performances zootechniques.

Le RC de 35 jours et l'absence de ST permettent d'améliorer le TMP (+0,8% vs *ad libitum* ; 0,07% vs présence ST) et l'IC (-2,4% vs *ad libitum* ; -0,6% vs présence ST) [ Moyennes à partir du tableau 16 : TMP = 60,4 vs 59,9 (RC 35 vs RC 7) | TMP = 60,2 vs 60,1 (pas ST vs ST) | IC = 2,68 vs 2,74 (RC 35 vs RC 7) | IC = 2,71 vs 2,72 (pas ST vs ST) ].

L'effet de l'interaction d'ordre 2 « rythme cohorte » / « salle tampon » est significatif sur le TMP et l'IC.

Ces derniers sont maximisés pour un RC de 35 jours et pas de salle tampon (+0,5% pour le TMP et -1,4% pour l'IC, par rapport à la moyenne globale) [ Moyennes (RC 35 & pas ST) vs globale à partir du tableau 16 : TMP = 60,5 vs 60,2 | IC = 2,67 vs 2,71 ].

Troisièmement, ce sont les autres facteurs étudiés qui modifient significativement la marge.

L'allotement au poids et la réduction de la taille des cases (à 10 places) permettent d'améliorer légèrement le TMP (+0,04% vs lot au hasard ; +0,04% vs 30 places par case) et l'IC (-0,02% vs lot au hasard ; -0,05% vs 30 places par case) [ Moyennes à partir du tableau 17 : TMP = 60,2 vs 60,1 (LotP vs LotH) | TMP = 60,2 vs 60,1 (10 pl. vs 30 pl.) | IC = 2,712 vs 2,713 (LotP vs LotH) | IC = 2,712 vs 2,713 (10 pl. vs 30 pl.) ].

Tableau 18 : Caractéristiques des classes – Source : réalisation personnelle.

Classes	Scénarios	Economie (marge. produit. coût des aliments)	Environnement : CC. AC. EU. CED	Environnement : OS	Homogénéité de poids vif de fin (% d'animaux dans le cœur de gamme et hors gamme. âge de fin. taux de perte)	Technique (IC. TMP. poids vif de fin)
MaxEco MinEnv -%CG	RC = 35 Restriction à 2.5 kg/j Multiphase journalier	<b>Plus élevée marge (14.24 €)</b> <b>Plus faible coût d'alimentation (52.99 €)</b>	<b>CC. AC. EU. CED minimaux : 2.16 kg CO2-eq/kg PV; 41.03 kg SO2-eq/kg PV; 15.51 kg PO4-eq/kg PV; 14.85 MJ/kg PV</b>	<b>OS minimal : 3.38 m<sup>2</sup>/kg PV</b>	- âge de fin - % « lourds » - - % « légers » - - % de porcs dans cœur de gamme	+ TMP - IC <b>Plus faible poids vif de fin</b>
MeilleurTech -%CG	RC = 35 Restriction à 2.5 kg/j Biphase	+ + produit + marge	Pas de tendance	- OS	+ + % « légers » - âge de fin - - % de porcs dans cœur de gamme	<b>Plus élevé TMP (61.26)</b> - poids vif de fin <b>Plus faible IC (2.63)</b>
MinProduit -%CG	RC = 35 Ad libitum Multiphase journalier	- - coût d'alimentation <b>Plus bas produit (128.53 €)</b>	- CC. EU et CED - - AC	- OS	<b>Plus élevé % de « légers » (0.097%)</b> + % « lourds » - âge de fin - - % de porcs dans cœur de gamme	- TMP - poids vif de fin
MinAgeFin -%CG	RC = 35 Ad libitum Biphase	+ + coût d'alimentation - produit - - marge	+ CC. EU et CED + + AC	Pas de tendance	<b>Plus élevé % de « lourds » (0.0083%)</b> + + % « légers » <b>Plus bas taux de perte (0.02705)</b> - - % de porcs dans cœur de gamme <b>Plus bas âge de fin (168.26 jours)</b>	- IC
PireTech +%CG	RC = 7 Ad libitum Multiphase journalier	- produit	- CED	+ OS	+ + % de porcs dans cœur de gamme + âge de fin - % « lourds » - - % « légers »	<b>Plus élevé IC (2.78)</b> + poids vif de fin <b>Plus faible TMP (59.16)</b>
MaxAgeFin +%CG	RC = 7 Restriction à 2.5 kg/j Multiphase journalier	+ + marge + + produit - coût d'alimentation	- CC. EU et CED - AC	Pas de tendance	<b>Plus élevé âge de fin (176.04 jours)</b> <b>Plus élevé taux de perte (0.029%)</b> + + % de porcs dans cœur de gamme - % « lourds » - - % « légers »	+ IC
MaxProduit +%CG	RC = 7 Restriction à 2.5 kg/j Biphase	<b>Plus élevé produit (134.85 €)</b> ++ coût d'alimentation	+ CC. EU et CED + + AC	+ OS	+ + % de porcs dans cœur de gamme + âge de fin + taux de perte - % « lourds » <b>Plus faible % de « légers » (0.016%)</b>	+ TMP + poids vif de fin
MinEco MaxEnv +%CG	RC = 7 Ad libitum Biphase	<b>Plus élevé coût d'alimentation (60.63 €)</b> <b>Plus faible marge (7.84 €)</b>	<b>CC. AC. EU. CED maximaux : 2.33 kg CO2-eq/kg PV; 46.17 kg SO2-eq/kg PV; 17.15 kg PO4-eq/kg PV; 15.99 MJ/kg PV</b>	<b>OS maximal : 3.56 m<sup>2</sup>/kg PV</b>	+ + % de porcs dans cœur de gamme - taux de perte - % de « lourds » - - % de « légers »	<b>Plus élevé poids vif de fin</b> + IC - TMP

Dans le tableau, on ne parle que des variables dont la valeur-test est supérieure à 2 en valeur absolue car on considère qu'elles caractérisent de façon significative les individus de cette classe.

## 1.4. Résultats de la CAH

A partir des valeurs calculées par l'ACP, la CAH a permis de déterminer 8 classes représentées sur le dendrogramme de l'annexe VI.a.

L'annexe VI.b représente les élevages qui constituent les classes dans le plan factoriel de l'ACP. Chaque classe compte 24 « scénarios ».

Les principales caractéristiques de chaque classe sont décrites ci-dessous (tableau 18, annexe VII).

La classe 1 (renommée « MaxEco MinEnv -%CG ») est la meilleure classe en termes d'économie et d'environnement, avec un pourcentage d'animaux dans le cœur de gamme inférieur à la moyenne. Elle est associée aux scénarios : RC =35, restriction à 2,5 kg/j, MPJ.

La classe 2 (renommée « MeilleurTech -%CG ») est caractérisée par les meilleures performances en termes TMP et IC, mais un poids vif de fin des animaux inférieur à la moyenne. Cette classe présente une bonne rentabilité et des impacts environnementaux dans la moyenne. Elle est associée aux scénarios : RC =35, restriction à 2,5 kg/j, BP.

La classe 3 (renommée « MinProduit -%CG ») se caractérise par le pire produit (faible TMP, faible PV de fin), compensé par des coûts d'alimentation faibles. Cette classe présente un impact environnemental faible et une marge dans la moyenne. Elle est associée aux scénarios : RC =35, *ad libitum*, MPJ.

Dans la classe 4 (renommée « MinAgeFin -%CG »), l'âge de fin et le taux de perte des animaux sont minimaux. L'éleveur échoue à la fois en termes d'homogénéité de poids, de rentabilité et d'environnement. Elle est associée aux scénarios : RC =35, *ad libitum*, BP.

La classe 5 (renommée « PireTech +%CG ») est caractérisée par les pires performances en termes de TMP et d'IC, mais le poids vif de fin est supérieur à la moyenne. Cette classe présente une marge et des impacts environnementaux dans la moyenne. Elle est associée aux scénarios : RC =7, *ad libitum*, MPJ

Dans la classe 6 (renommée « MaxAgeFin +%CG »), l'âge de fin et le taux de perte des animaux sont maximaux. L'éleveur réussit à la fois en termes d'homogénéité de poids, de rentabilité et d'environnement. Elle est associée aux scénarios : RC =7, restriction à 2,5 kg/j, MPJ

La classe 7 (renommée « MaxProduit +%CG ») se caractérise par le meilleur produit (bon TMP, bon poids vif de fin), avec des coûts d'alimentation élevés. Cette classe présente un impact environnemental élevé et une marge dans la moyenne. Elle est associée aux scénarios : RC =7, restriction à 2,5 kg/j, BP.

La classe 8 (renommée « MinEco MaxEnv +%CG ») est la pire classe en termes d'économie et d'environnement, avec un pourcentage d'animaux dans le cœur de gamme supérieur à la moyenne. Elle est associée aux scénarios : RC =7, *ad libitum*, BP.

On remarque des oppositions : classes « MaxEco MinEnv -%CG » vs « MinEco MaxEnv +%CG », classes « MeilleurTech -%CG » vs « PireTech +%CG », classes « MinProduit -%CG » vs « MaxProduit +%CG », classes « MinAgeFin -%CG » vs « MaxAgeFin +%CG ».

On peut regrouper les classes « MeilleurTech -%CG » et « MaxProduit +%CG » dans la catégorie « meilleurs résultats techniques » (TMP élevé et IC faible) et on peut regrouper les classes « PireTech -%CG » et « MinProduit +%CG » dans la catégorie « pire résultats techniques » (TMP faible et IC élevé).

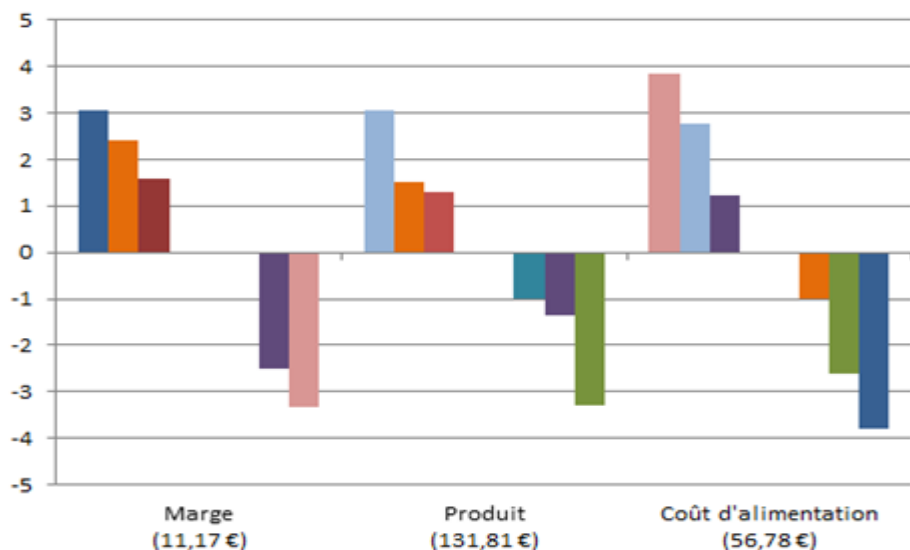


Figure 22 : Description des variables économiques par classe (différence de la valeur de la classe et de la moyenne globale) – Source : réalisation personnelle.

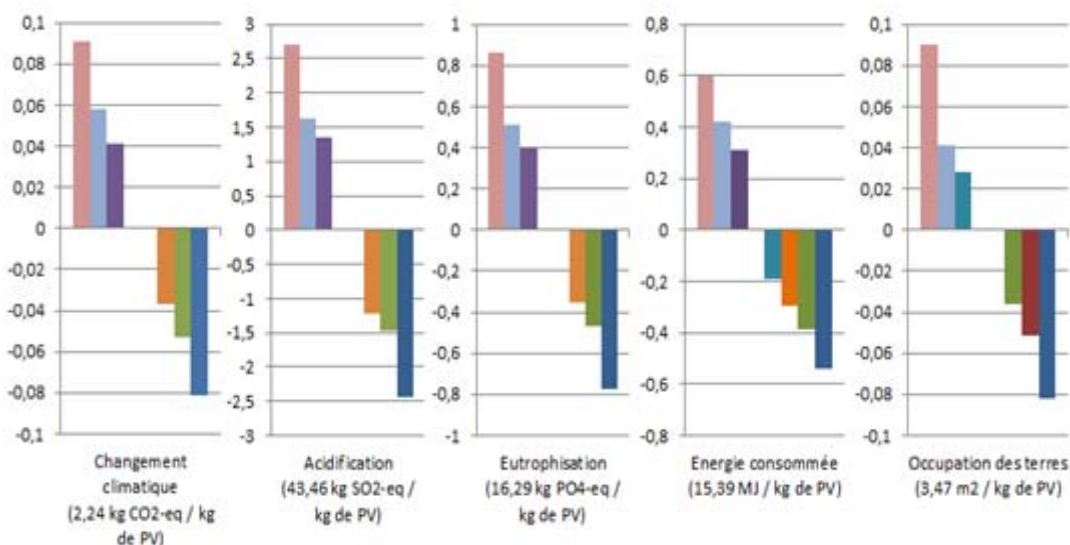


Figure 23 : Description des variables environnementales par classe (différence de la valeur de la classe et de la moyenne globale) – Source : réalisation personnelle.

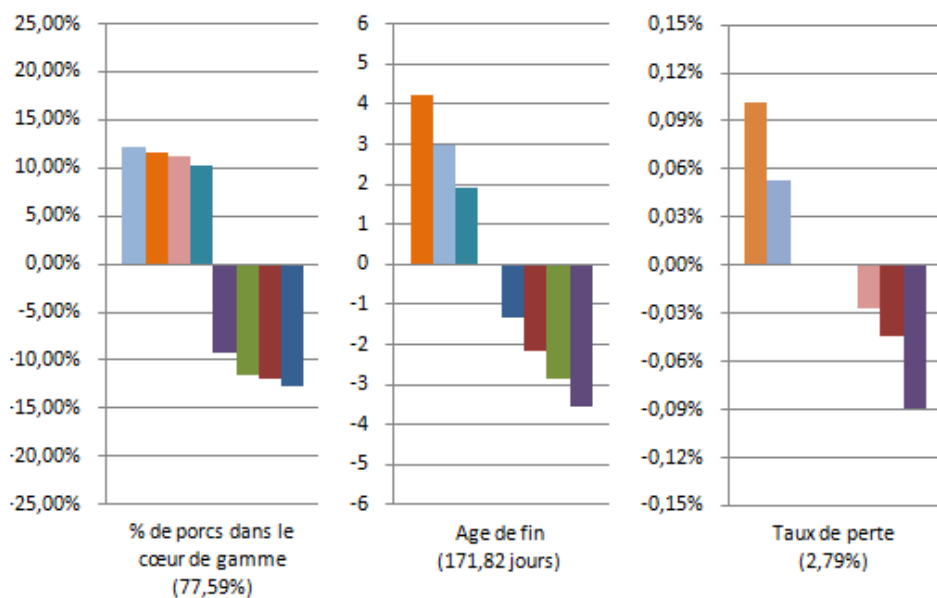


Figure 24 : Description de l'homogénéité/hétérogénéité de poids vif des porcs par classe (différence de la valeur de la classe et de la moyenne globale) – Source : réalisation personnelle.

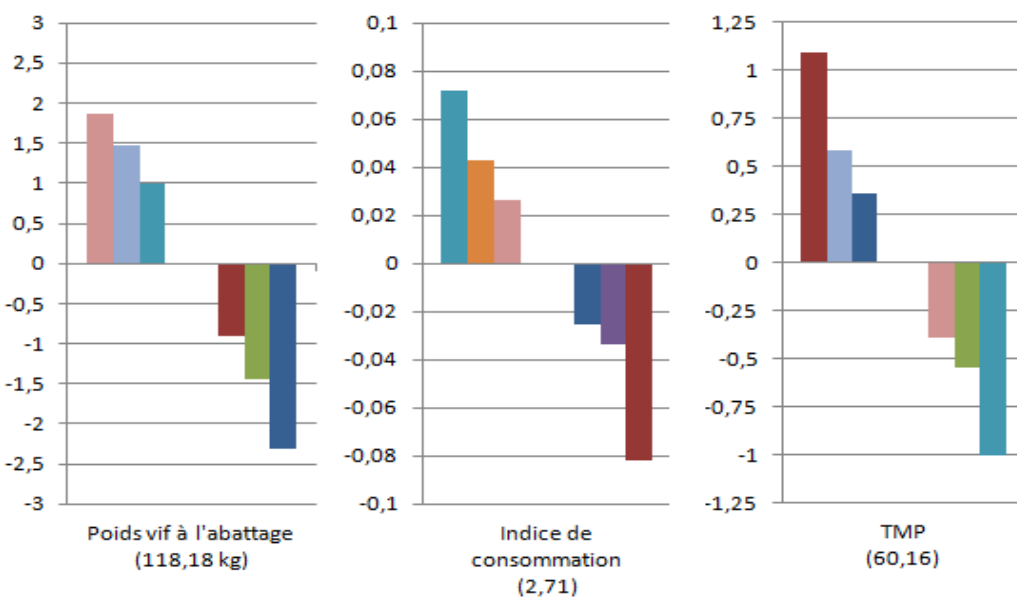


Figure 25 : Description de 3 variables techniques par classe (différence de la valeur de la classe et de la moyenne globale) – Source : réalisation personnelle.

- MaxEco MinEnv -%CG
- MeilleurTech -%CG
- MinProduit -%CG
- MinAgeFin -%CG
- PireTech +%CG
- MaxAgeFin +%CG
- MaxProduit +%CG
- MinEco MaxEnv +%CG

De même, on peut regrouper les classes « MaxEco MinEnv -%CG » et « MaxAgeFin +%CG » dans la catégorie « meilleurs résultats économiques et environnementaux » et on peut regrouper les classes « MinEco MaxEnv +%CG » et « MinAgeFin -%CG » dans la catégorie « pire résultats économiques et environnementaux ».

Les figures 22 et 23 décrivent les classes d'un point de vue économique et environnemental.

5 classes présentent de bons résultats :

- marge élevée et impacts environnementaux faibles : « MaxEco MinEnv -%CG », « MaxAgeFin +%CG » ;
- marge élevée et impacts environnementaux dans la moyenne : « MeilleurTech -%CG » ;
- marge dans la moyenne et impacts environnementaux faible : « MinProduit -%CG », « PireTech +%CG ».

3 classes présentent de mauvais résultats :

- marge dans la moyenne et impacts environnementaux élevés : « MaxProduit +%CG » ;
- marge faible et impacts environnementaux élevés : « MinEco MaxEnv +%CG », « MinAgeFin -%CG ».

La figure 24 décrit la variabilité des poids d'abattage dans chaque classe. L'augmentation de l'âge d'abattage (RC=7) signifie plus de porcs dans le cœur de gamme (« MaxAgeFin +%CG », « MaxProduit +%CG », « PireTech +%CG », « MinEco MaxEnv +%CG »). Sa réduction (RC=35) signifie moins de porcs dans le cœur de gamme (« MinAgeFin -%CG », « MinProduit -%CG », « MeilleurTech -%CG », « MaxEco MinEnv -%CG »).

En termes de performances zootechniques (figure 25), l'augmentation du poids d'abattage a un impact négatif sur l'efficacité alimentaire (IC) et sur la proportion de maigre (TMP) pour 4 classes sur 8 (« MinEco MaxEnv +%CG », « PireTech +%CG », « MaxEco MinEnv -%CG », « MeilleurTech -%CG »). Cette règle ne s'applique pas à l'autre moitié des classes (« MaxAgeFin -%CG », « MaxAgeFin +%CG », « MinProduit -%CG », « MaxProduit +%CG »), ce qui montre que le poids vif de fin n'est pas le seul facteur à impacter le TMP et l'IC.

## 2. Interprétation des résultats et discussion

L'analyse multivariée (ACP et CAH) a pour objectif de mettre en évidence des combinaisons de pratiques d'élevage qui ont un impact économique et environnemental spécifique. Elle vise ainsi à constituer une typologie synthétique des pratiques. Les classes constituées par CAH sont équilibrées en termes d'effectif.

### 2.1. Discussions de la méthodologie

Les élevages simulés sont représentatifs d'un système conventionnel du fait de la structure des bâtiments (porcs sur caillebotis, effluents de type lisier), et de la gestion (achat) et composition des aliments. De même, la taille des élevages simulés est représentative de la réalité, avec environ 183 truies pour le RC=35 jours et 881 truies pour un RC=7 jours.

Dans l'étude économique, il est considéré que l'éleveur achète l'alimentation (donc ne produit pas d'aliments à la ferme) et achète des porcelets en fin de post-sevrage.

On peut considérer que l'éleveur qui produit une partie ou la totalité de ses aliments et/ou qui adopte un système naisseur-engraisseur, aura des prix d'achat un peu plus faible.



De plus, dans le modèle, les prix d'achat et de vente sont constants. Or dans la réalité, les prix sont volatiles.

De même, le modèle n'intègre pas les économies d'échelle et la productivité du travail, permises par des exploitations porcines de grande taille.

Pour l'instant, le calcul de l'ACV est adapté uniquement au système conventionnel, ce qui permet de fournir des résultats environnementaux valides dans cette étude. L'ACV utilise la base de données EcolAlim pour l'étude de la fabrication des aliments. Cette base fournit les impacts environnementaux des matières premières selon différents itinéraires techniques et différentes stratégies alimentaires. Cependant, on peut noter que cette base ne contient pas la consommation d'eau et l'impact sur la biodiversité. De plus, la disponibilité des coproduits (relatif à la demande du produit principal) n'est pas considérée.

Le modèle individu-centré du projet CASDAR-MOGADOR permet de simuler chaque porc de façon unique et renseigne sur la variabilité des performances zootechniques. Il s'appuie sur des modèles déjà existants. En effet, il utilise des profils de porcs générés par le logiciel InraPorc. Brossard et al. (2014) ont montré que le modèle InraPorc arrive à bien prédire le niveau et la variabilité des performances d'un groupe de porcs en bâtiment, en comparant des résultats *in vivo* avec les résultats *in silico* issus du modèle. Cependant, les interactions entre animaux ne sont pas prises en compte dans InraPorc (interactions sociales, effet densité qui est une source de stress...). En effet, la compétition pour les aliments, surtout dans des conditions de restrictions alimentaires, peut amplifier la variabilité de croissance et de poids d'abattage. Ce point a été amélioré dans le modèle du projet CASDAR-MOGADOR, qui intègre un effet densité sur l'ingestion. Cet effet est moins important que les résultats attendus dans l'étude de Gonyou H.W. et al (2006). Cela montre que l'effet densité n'est pas que lié à l'ingestion mais aussi à la compétition entre les animaux.

## 2.2. Hiérarchie des facteurs

Certains paramètres de notre étude sont fixes donc les résultats ne dépendent pas d'eux : choix de la population étudiée (ici profils performants), certaines pratiques d'alimentation (teneur en lysine dans l'aliment égal à 110% du besoin de la femelle moyenne, composition alimentaire...) et contexte économique (prix d'achat et de vente).

Les facteurs modulés impactent plus ou moins fortement les résultats techniques, économiques et environnementaux. Ils sont décrits par ordre décroissant selon l'importance de leurs effets.

- Effets des pratiques d'alimentation sur les résultats techniques, économiques et environnementaux

Premièrement, les pratiques d'alimentation, la permission alimentaire d'abord et le nombre de phases ensuite, sont les pratiques d'élevage simulés, qui impactent le plus les résultats techniques, économiques et environnementaux.

Le rationnement permet d'augmenter la marge brute de l'exploitation agricole (+30,8%), et dans une moindre mesure, il améliore le TMP (+1,6%), l'IC (-1,4%) et l'empreinte environnementale (-1,2% en moyenne de CC, AC, EU et CED), comparé à une alimentation *ad libitum*.

Les résultats de cette étude sont en concordance avec ceux de Brossard et al. (2014) et Morel et al. (2012), qui ont montré qu'une restriction alimentaire, plutôt qu'une alimentation *ad libitum*,





augmente la marge brute par porc par an, par une réduction du coût alimentaire et une augmentation du prix de carcasse.

En termes de performances zootechniques, les résultats de cette étude confirment ceux de Quiniou et al. (2013) : la restriction alimentaire permet d'améliorer l'IC et la teneur en muscle de la carcasse. Le rationnement limite la prise de poids de l'animal et permet la production de carcasses moins grasses.

Enfin, par rapport à une alimentation *ad libitum*, les porcs rationnés consomment moins de nourriture, donc ils rejettent moins de polluants dans l'environnement. En effet, Quiniou et al. (2013) ont mis en évidence que la restriction alimentaire, par son effet sur l'IC, permet de diminuer la quantité d'azote ingéré et d'améliorer la quantité d'azote retenu par le porc (-4% de rejets azoté environ pour différents rationnements).

La conduite multiphase journalier augmente la rentabilité de l'exploitation agricole (+16,3%), réduit les émissions de polluants (-3,8% en moyenne de CC, AC, EU et CED) et, dans une moindre mesure, elle diminue les performances zootechniques (+1,8% pour l'IC et -1,1% pour le TMP), comparée à une conduite biphasé.

En effet, la conduite MPJ permet de réduire les coûts des aliments, car elle permet de substituer plus rapidement un aliment de début d'engraissement cher par un aliment de fin d'engraissement moins cher. Pomar C. et al. (2014) ont mesuré une réduction de 1% des coûts d'alimentation pour une conduite MPJ par rapport à 3 phases (3P). De plus, on peut noter qu'une alimentation MPJ nécessite la présence d'un DAC, ce qui limite les coûts de main d'œuvre. Cela permet une augmentation de la marge.

De plus, la conduite multiphase permet de mieux ajuster les apports et les besoins alimentaires des animaux. Cette réduction du gaspillage alimentaire permet de réduire les rejets des porcs dans l'environnement. En effet, Pomar C. et al. (2007) ont montré qu'une conduite multiphasés journalier permet de réduire les rejets d'azote (-12%), et dans une moindre mesure de phosphore (-2%), par rapport à une conduite en 3P.

De plus, Pomar C. et al. (2014) ont montré que les porcs en conduite multiphasés journalier ont tendance à consommer plus d'aliment (+3,7 %) que ceux en conduite 3 phases (3P) mais seulement pendant la première phase d'alimentation, et pendant les deux autres phases, les consommations étaient équivalentes. Pendant cette première période, les porcs ont eu tendance à gagner plus de poids (+2,4 %) que ceux du groupe 3P. Ce gain supplémentaire a semblé se réaliser davantage sous forme de lipides que de protéines (+8% à la fin de la période d'engraissement). Ainsi, le TMP est plus faible en conduite multiphasés. Dans l'étude de Pomar et al. (2013), les aliments ont été préparés selon une méthode de formulation avec une optimisation de la densité énergétique (plutôt qu'une formulation à moindre coût) et avec un apport en lysine égal à 100% du besoin moyen. Dans notre étude, les apports de lysine sont égaux à 110% des besoins de la femelle moyenne, pour moins restreindre les animaux en début de chaque phase. Garcia launay et al. (2014) ont montré que l'IC et le GMQ n'augmentent plus avec le nombre de phases quand l'apport de lysine est supérieur à 110% du besoin moyen du porc. C'est pourquoi, notre étude montre peu d'effet du nombre de phases sur l'IC et le TMP. On peut expliquer la présence de cet effet par le contraste choisi dans notre étude, entre deux et une centaine de phases environ.

Deuxièmement, ce sont le rythme de cohorte d'abord, l'échelle de la séquence alimentaire ensuite et la salle tampon enfin, qui impactent le plus les résultats techniques, économiques et environnementaux.

Le rythme de cohorte de 7 jours et la présence d'une salle tampon détériorent le TMP (+0,8% vs 35 jours ; +0,07 vs pas de ST) et l'IC (-2,4% vs 35 jours ; -0,06% vs pas de ST) principalement. En



effet, Rivest J. et al (2008) ont montré que les porcs à croissance rapide ont une plus basse proportion de tissus maigres (donc de muscles) et un plus grand pourcentage de gras, et que si le porc est gardé plus longtemps, il va alors se mettre à produire de plus en plus de gras. Ainsi, l'augmentation du poids d'abattage (qui améliore le pourcentage d'animaux dans le cœur de gamme) pour les porcs à croissance rapide a un impact négatif sur l'efficacité alimentaire (IC) et sur la proportion de maigre (TMP).

De plus, le RC de 7 jours et la ST améliorent légèrement la marge (+5,1% vs 35 jours ; +1,9% vs pas de ST) et augmentent légèrement l'empreinte environnementale (+1,6% en moyenne pour CC, AC, EU, CED vs 35 jours ; +0,15% en moyenne pour CC, AC, EU et CED vs pas de ST), surtout l'indicateur OS (+1,5% vs 35 jours ; +0,2% vs pas de ST). En effet, l'augmentation de l'âge d'abattage a tendance à augmenter la quantité d'aliments achetés et les rejets dans l'environnement.

L'échelle individuelle de la séquence alimentaire (vs Ech S&C) permet d'améliorer la marge (+4,7%), de diminuer l'empreinte environnementale (-0,7% en moyenne pour CC, AC, EU et CED) et améliore le TMP (+0,5%) et l'IC (-0,4%).

Troisièmement, les autres pratiques d'élevage (allotement, nombre de places par cases) impactent peu les résultats techniques, économiques et environnementaux.

L'analyse statistique détecte un effet « allotement » significatif sur la plupart des variables techniques, économiques et environnementales. Cependant, cette significativité est faible, certainement en raison du profil des porcs (performants) et du niveau d'apport en lysine. Contrairement à ce qui était attendu, le type d'allotement n'a pas eu d'effet en interaction avec l'échelle d'application des séquences d'alimentation sur les performances.

Comme le changement de phases dépend du poids moyen, l'augmentation de la taille de la case (30 places au lieu de 10) signifie un groupe plus hétérogène en termes de poids et donc potentiellement plus d'animaux sont éloignés de ce poids moyen et donc un plus grand nombre d'animaux sont restreints. Dans l'étude, le facteur « nombre de places par case » est très peu marqué (significativité faible si présente). Cela suggère une faible variabilité de performances techniques entre les porcs d'une même bande. En effet, avec des apports de lysine digestible de 110% du besoin moyen de la population à chaque début de phase, les performances zootechniques sont optimales (IC minimal et GMQ est maximal) (Garcia Launay et al., 2014) et la variabilité des performances techniques est réduite.

- Effets des pratiques de gestion des fins de bandes et d'alimentation sur la variabilité des performances zootechniques

Premièrement, ce sont le rythme d'arrivée des cohortes principalement, et la présence ou pas d'une salle tampon dans une moindre mesure, qui impactent le plus la variabilité des porcs dans le cœur de gamme, l'âge et le poids vif d'abattage.

En effet, le pourcentage d'animaux dans la gamme est plus élevé à un RC de 7 jours (97,8%) par rapport à un RC de 35 jours (91,6%). Il en est de même pour le taux dans le cœur de gamme : 88,9% pour un RC=7 jours et 66,2% pour un RC=35 jours.

Au premier abord, on ne s'attend pas vraiment à l'effet « rythme de cohorte », mais plutôt à l'effet « salle tampon ». A un RC de 35 jours, la salle tampon est plus fréquemment utilisée et sa durée d'utilisation est supérieure à un RC de 7 jours. En effet, sa durée moyenne d'utilisation est d'environ 13 jours pour un RC de 7 jours (0,6% d'utilisation) et de 24 jours pour un RC de 35 jours (2,8% d'utilisation). A un RC de 7 jours par rapport à 35 jours, la durée en engraissement est supérieure de 14 jours et la durée moyenne en salle tampon de 11 jours. Ces deux durées sont



environ égales, ce qui montre que l'effet « rythme de cohorte » s'explique surtout par la variation de l'âge de fin (en moyenne plus élevé pour un rythme de cohorte de 7 jours et plus bas pour un rythme de cohorte de 35 jours).

Dans le modèle, la durée maximale en salle tampon est fixée à 63 jours, soit 2 mois et 1 semaine. Sur le terrain, la plupart des éleveurs limite cette période supplémentaire de 2 à 6 semaines, avec une moyenne de 22 jours (Lescot, 2015). Une durée de deux mois est peu rencontrée dans la pratique, mais cette durée a été choisie pour mieux visualiser l'effet de la présence ou pas d'une salle tampon et connaître la durée moyenne des animaux en salle tampon. La durée maximale simulée est de 63 jours (9 cas). La durée moyenne simulée (22,3 jours) est environ égale à la durée pratiquée sur le terrain. Cela montre que les simulations sont représentatives des élevages conventionnels en France, ce qui nous permet de tirer des enseignements.

Deuxièmement, les résultats de l'ACP (figures 15 et 21) montrent que les pratiques d'alimentation simulés impactent faiblement le pourcentage d'animaux dans le cœur de gamme et permettent seulement de conclure sur l'effet du choix du nombre de phases.

Notre étude montre que la conduite biphase (vs multiphase journalier), pour des porcs nourris à 110% de lysine, permet d'augmenter légèrement le pourcentage d'animaux dans le cœur de gamme.

Or la variabilité d'animaux dans le cœur de gamme dépend de la variabilité de poids et du TMP des porcs, et, dans la littérature, ce sont principalement les impacts des pratiques d'alimentation sur la variabilité de poids à l'abattage, qui sont étudiées. C'est pourquoi, notre résultat est difficilement comparable à ceux trouvés dans la littérature.

En effet, Brossard et al (2009) ont montré qu'un apport en lysine à 110% du besoin moyen de la population permet de maximiser les performances des porcs simulés et de diminuer les variations de performances zootechniques, qui ne dépendent plus du nombre de phases. Mais à un taux de lysine plus bas que 110%, l'augmentation du nombre de phases a tendance à augmenter l'hétérogénéité de poids d'abattage dans un groupe.

Enfin, dans notre étude, avec un niveau en lysine à 110% du besoin de la femelle moyenne, on n'a pas mesurer (par ANOVA) l'effet des autres pratiques d'élevage (permission alimentaire, échelle de la séquence alimentaire, allotement, nombre de places par case) sur le pourcentage d'animaux dans le cœur de gamme, mais on n'a à priori pas d'effets clairs.

Nous avons seulement quelques informations de la littérature sur les effets de certains facteurs sur la variabilité de poids d'abattage :

- Brossard L. et al. (2014) ont montré qu'une restriction alimentaire réduit la variabilité de poids de carcasse au premier départ, en limitant la croissance des animaux ;
- Brossard L. et al (2011) ont montré que l'allotement au poids (vs au hasard) permet de réduire l'hétérogénéité de poids des carcasses.

### **2.3. Construction des classes en termes technique, économique et environnemental**

L'étude distingue bien une classe avec les meilleurs résultats économiques et environnementaux et une classe avec les pires résultats. Mais aucune classe ne cumule les meilleures ou pires performances dans les 3 domaines (technique, économique et environnemental). Différentes études, reposant sur des approches de simulation et/ou d'optimisation ont montré que la recherche des performances techniques maximales ne conduit pas nécessairement à l'optimum économique et/ou environnemental (Pomar et al., 2007 ; Morel et al., 2012, Garcia Launay et al., 2014). En effet, dans le cas du rationnement et de la conduite multiphases, il ne faut pas que la



réduction du coût des aliments soit plus faible que la réduction du prix de vente lié aux performances zootechniques, dans quel cas la marge brute est réduite. Garcia Launay et al (2014) ont montré que la réduction de coût des aliments entre 110% et 90-100% du besoin moyen de lysine compense la perte de performance zootechnique.

On pouvait s'attendre à ce que la meilleure classe d'un point de vue économique et environnemental, le soit aussi en termes d'homogénéité de poids (pourcentage plus élevé d'animaux dans le cœur de gamme), mais cela n'est pas le cas. Seule la classe « MaxAgeFin +%CG » présente à la fois plus d'animaux dans le cœur de gamme et une marge supérieure à la moyenne.

L'allongement de l'âge de fin des animaux permet de produire plus d'animaux dans le cœur de gamme (et donc d'augmenter le chiffre d'affaires) mais comme les animaux sont gardés plus longtemps, ils consomment plus de nourriture (coût alimentaire plus élevé) et produisent plus d'émissions polluantes (augmentation de l'empreinte environnementale).

Les principales pratiques de la classe optimale d'un point de vue économique et environnemental sont une restriction alimentaire à 2,5 kg par jour et une conduite multiphasés journalier (classes « MaxEco – MinEnv -%CG » et « MaxAgeFin +%CG »).

Si l'âge de fin est augmenté, toutes autres pratiques étant égales par ailleurs, la classe « MaxEco – MinEnv -%CG » (RC=35) devient la classe « MaxAgeFin +%CG » (RC=7). La classe avec les meilleurs résultats économiques et environnementaux (« MaxEco – MinEnv -%CG », comparée à « MaxAgeFin +%CG ») est donc celle avec le moins d'animaux dans le cœur de gamme.

La classe qui présente les pires résultats économiques et environnementaux possède de caractéristiques opposées : alimentation *ad libitum* et conduite biphasé (classes « MinEco – MaxEnv +%CG » et « MinAgeFin -%CG »).

Si l'âge de fin est réduit, toutes autres pratiques étant égales par ailleurs, la classe « MinEco – MaxEnv +%CG » (RC=7) devient la classe « MinAgeFin -%CG » (RC=35). La classe avec les pires résultats économiques et environnementaux (« MinEco – MaxEnv +%CG », comparée à « MinAgeFin -%CG ») est donc celle avec le plus d'animaux dans le cœur de gamme.

Les pratiques simulées, qui favorisent les meilleurs résultats techniques, sont une restriction alimentaire et une conduite biphasé (classes « MeilleurTech -%CG » et « MaxProduit +%CG »).

Si l'âge de fin est augmentée, toutes autres pratiques étant égales par ailleurs, la classe « MeilleurTech -%CG » (RC=35) devient la classe « MaxAgeFin -%CG » (RC=7). La classe avec les meilleurs résultats techniques (« MeilleurTech -%CG », comparée à « MaxAgeFin -%CG ») est donc celle avec le moins d'animaux dans le cœur de gamme.

Les pratiques simulées, qui favorisent les pires résultats techniques, sont une alimentation *ad libitum* et une conduite MPJ (classes « PireTech -%CG » et « MinProduit +%CG »).

Si l'âge de fin est réduit, toutes autres pratiques étant égales par ailleurs, la classe « PireTech -%CG » (RC=7) devient la classe « MinAgeFin -%CG » (RC=35). La classe avec les pires résultats techniques (« PireTech -%CG », comparée à « MinAgeFin -%CG ») est donc celle avec le plus d'animaux dans le cœur de gamme.





## Conclusions

Les résultats de cette étude sont basés sur l'utilisation du modèle du projet CASDAR-MOGADOR pour explorer les effets techniques, économiques et environnementaux de différentes pratiques de gestion des fins de bandes et d'alimentation.

Le modèle est individu-centré, ce qui permet de simuler chaque porc de façon unique et renseigne sur la variabilité de leurs performances zootechniques. La variabilité de poids est une caractéristique importante pour l'éleveur car cela complique sa gestion de l'alimentation et du tri des animaux avant le départ à l'abattoir. L'éleveur cherche donc à réduire au maximum l'hétérogénéité de poids.

Les facteurs qui impactent le plus les résultats économiques, environnementaux et techniques sont, par ordre d'importance décroissante : la permission alimentaire, le nombre de phases et le rythme de cohorte d'abord, l'échelle de la séquence alimentaire, la salle tampon et, dans une petite mesure, l'allotement et la taille des cases.

Les facteurs qui augmentent le pourcentage de porcs dans le cœur de gamme sont, par ordre d'importance décroissante : un RC de 7 jours, une salle tampon et une alimentation biphase.

Les meilleures pratiques en termes d'économie et d'environnement sont une restriction alimentaire à 2,5 kg par jour, une conduite MPJ et RC de 35 jours (*vs ad libitum*, conduite BP, RC de 7 jours).

Le rationnement et la conduite MPJ ont des effets opposés sur les performances zootechniques, mais le premier améliore un peu plus que le second détériore.

Dans les conditions de cette étude (niveau en lysine élevé, porcs performants), les performances des animaux sont maximisées, la variabilité est minimisée. Ainsi, l'augmentation de l'âge d'abattage n'améliore que faiblement le pourcentage de porcs dans le cœur de gamme (car le porc à croissance rapide produit de plus en plus de gras au cours de sa vie, par rapport aux muscles). Par contre, la limitation de l'âge d'abattage permet de réduire la quantité d'aliments achetés et de diminuer les rejets dans l'environnement, plus fortement que l'augmentation du nombre de porcs dans le cœur de gamme.

Il existe d'autres facteurs, qui influencent les performances zootechniques (présentation de l'aliment, type soupe, granulés, farine...), les résultats économiques (taille de l'élevage...) et environnementaux (possession de terres...), qui ne sont pas pris en compte dans le modèle. Par exemple, des fermes polyculture-élevage sont plus durables car le lien au sol garantit la fourniture en aliments (moins de volatilité des prix d'achat) et permet de gérer les effluents.

Cette étude nous a amené à nous questionner sur les changements de résultats qui seraient obtenus par la modification d'autres facteurs.

D'abord, on peut se demander si la significativité des facteurs « salle tampon », « allotement » et « nombre de places par case » serait plus importante avec des porcs moins performants et/ou en réduisant le niveau de lysine dans l'alimentation.

Il serait également intéressant de simuler une estimation moins précise de l'éleveur des départs des animaux pour l'abattoir, en passant d'une estimation au poids à l'aide d'une balance (0% d'erreur) à une estimation à l'œil (0,05% d'erreur).

La dernière perspective serait d'étudier la variabilité de croissance (GMQ) intra-bandes et la variabilité du TMP selon les pratiques d'élevage.

Développé sous Python, le fonctionnement du modèle requiert actuellement une vingtaine de minutes par simulation. L'outil final, disponible en ligne, devrait comporter une base de données avec quelques scénarios de pratiques courantes préenregistrés. Cela laisse la possibilité à l'utilisateur



d'accéder à des résultats de certains scénarios rapidement. A terme, le générateur de profils sera activé pour permettre une variabilité totale des profils de porcs.



## Bibliographie

Allouchery H. (2010). Choisir sa conduite en bandes. Revue L'abreuvoir n°217.

Boys KA, L. N., Preckel PV, Schinckel A, Foster K (2007). "Economic replacement of a heterogeneous herd." American Journal of Agricultural Economics 89, 24-35.

Brossard, L. et al. (2009). "Modelling the variation in performance of a population of growing pig as affected by lysine supply and feeding strategy." The Animal Consortium 3:8: 1114-1123.

Brossard L., M.-S. M. C., Dourmad J.Y., Lescoat P., Gardeur J.N. (2011). "Evolution de la variabilité du poids chez les groupes de porcs en croissance selon la variabilité initiale et la densité d'élevage." Journal Recherche Porcine 43: 179-180.

Brossard L., V. B., van Milgen J., Salaun Y., Quiniou N. (2014). "Comparison of in vivo and in silico growth performance and variability in pigs when applying a feeding strategy designed by simulation to control the variability of slaughter weight." Animal Production Science, 2014, 54, 1939-1945.

CORPEN (2003). Estimation des rejets d'azote - phosphore - potassium - cuivre et zinc des porcs. Influence de la conduite alimentaire et du mode de logement des animaux sur la nature et la gestion des déjections produites.

Courboulay V. (2006). "Point réglementaire sur le bien-être des porcs." TechniPorc 29 (6).

Daumas, G. (2006). Les nouvelles modalités de classement des porcs. Techniporc. Vol 29, N°6.

Dubois A., M. F., Boulestreau A.L., Chevillon P., Minvielle B. (2005). "Post-sevrage et engraissement sur litière paillée accumulée : 6 années d'expérience à la station porcine des Trinottières." TechniPorc 28(N°2).

Garcia-Launay, F., H. M. G. van der Werf, et al. (2014). "Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino acids in pig production using Life Cycle Assessment." Livestock Science 161: 158-175.

Gaudré, D. (2008). "Caillebotis intégral ou litière paillée : comparaison des performances zootechniques en engraissement." Techniporc Vol. 31(N°2).

Gonyou H.W., B. M. C., Bush E., Deen J., Edwards S.A., Fangman T., McGlone J.J., Meunier-Salaun M., Morrison R.B., Spooler H., Sundberg P.L., Johnson A.K. (2006). "Application of broken-line analysis to assess floor space requirements of nursery and grower-finisher pigs expressed on an allometric basis." Journal Animal Science 84: 229-235.

Guyennet F., F. J. L., ALBAR J. (2000). "Le biphasé en alimentation porcine, une pratique d'élevage doublement intéressante." Agreste cahiers 4.

IFIP, coordonné par Salaun Y. (2013). Mémento de l'éleveur de porc. 7<sup>ème</sup> édition.

IFIP (2015). Porc Performances 2014. Résultats de gestion des élevages de porcs. Références GTTT-GTE.



Jolliet O., Saadé M., Crettaz P., Shaked S. Chap 2 : Principe général de l'Analyse du Cycle de vie. In : *Analyse du cycle de vie Comprendre et réaliser un écobilan* 2<sup>ème</sup> édition mise à jour et augmentée. Presses polytechniques et universitaires romandes.

Kristensen AR, N. L., Nielsen MS (2012). "Optimal slaughter pig marketing with emphasis on information from on-line live weight assessment." *Livestock Science* 145, 95-108.

Lescot, M. (2015). La gestion des fins de bandes en élevage porcin : analyse des stratégies décisionnelles des éleveurs et des enjeux économiques associés. Mémoire de stage.

Morel PCH, S. D., Wood GR (2012). "Effect of pig type, costs and prices, and dietary restraints on dietary nutrient specification for maximum profitability in grower-finisher pig herds : a theoretical approach." *Livestock Science* 148(225-267).

Niemi JK, S.-A. M.-L., Pietola K, Stalder KJ (2010). "The value of precision feeding technologies for grow-finish swine." *Livestock Science* 129: 13-23.

Pomar C., K. I., Emmans G.C., Knap P.W. (2003). "Modeling stochasticity : Dealing with populations rather than individual pigs." *Anim. Sci.* 81(E. Suppl. 2):E178–E186.

Pomar C., Pomar J., Babot D., Dubeau F. (2007). "Effet d'une alimentation multiphase quotidienne sur les performances zootechniques, la composition corporelle et les rejets d'azote et de phosphore du porc charcutier". *Journées Recherche Porcine* 39 (23-30).

Pomar C., Pomar J., Dubeau F., Joannopoulos E., Dussault J.-P. (2014). "The impact of daily multiphase feeding on animal performance, body composition, nitrogen and phosphorus excretions, and feed cost in growing-finishing pigs". *Animal* 8:5 (704-713).

Quiniou N., B. L., van Milgen J., Salaün Y., Quesnel H., Gondret F., Dourmad J.-Y. (2012). "La variabilité des performances animales en élevage porcin : description et implications pratiques." *INRA Prod. Anim.* 25(1): 5-16.

Rivest J. (2009). Etude des impacts zootechniques et économiques d'une augmentation du poids d'abattage chez le porc. Thèse de doctorat en sciences animales, sous la direction de Jean-Paul Laforest, Université de Laval.

Texier C., L. P. (2003). "Les rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs engraisés sur caillebotis ou litière de bois." *TechniPorc* 26(5).

van Milgen J., V. A., Dubois S., Dourmad J.Y., Sève B., Noblet J. (2008). "Inraporc : A model and decision support tool for the nutrition of growing pigs." *Animal Feed Science et Technology* 143: 387-405.

Vautier, B. (2013). Intégration de la variabilité des porcs en croissance dans la modélisation des besoins nutritionnels et recherche de stratégies alimentaires permettant de maîtriser l'hétérogénéité des porcs en élevage., Agrocampus Ouest.

### **Sitographie :**

IFIP (2016). "Aliment IFIP, prix mensuel sur 3 ans." Disponible sur : <http://www.ifip.asso.fr/fr/indicateur-aliment-ifip.html> (consulté le 8/07/16)





INAPORC (2016). « Un élevage familial ». Disponible sur : <http://www.leporc.com/elevage/elevage-familial.html> (consulté le 11/08/16)

Uniporc (2016). « Grilles ». Disponible sur : <http://www.uniporc-ouest.com/documentation-technique/classement-des-animaux.html> (consulté le 11/08/16).

Marché du porc Breton (2015). "Cotations". Disponible sur : <http://www.marche-porc-breton.com/> (consulté le 11/08/16)

Marché du porc Breton (2016). "Cotations". Disponible sur : <http://www.marche-porc-breton.com/> (consulté le 11/08/16)



## **Tables des annexes**

Annexe I : Description du fonctionnement du modèle InraPorc.

Annexe II : Emissions du porc prises en compte dans l'ACV.

Annexe III : Fonctions utilisées sous R en programmation.

Annexe IV : Variables d'entrées fixes du modèle MOGADOR.

Annexe V : Coefficients de conversion pour le calcul des indicateurs environnementaux de l'ACV.

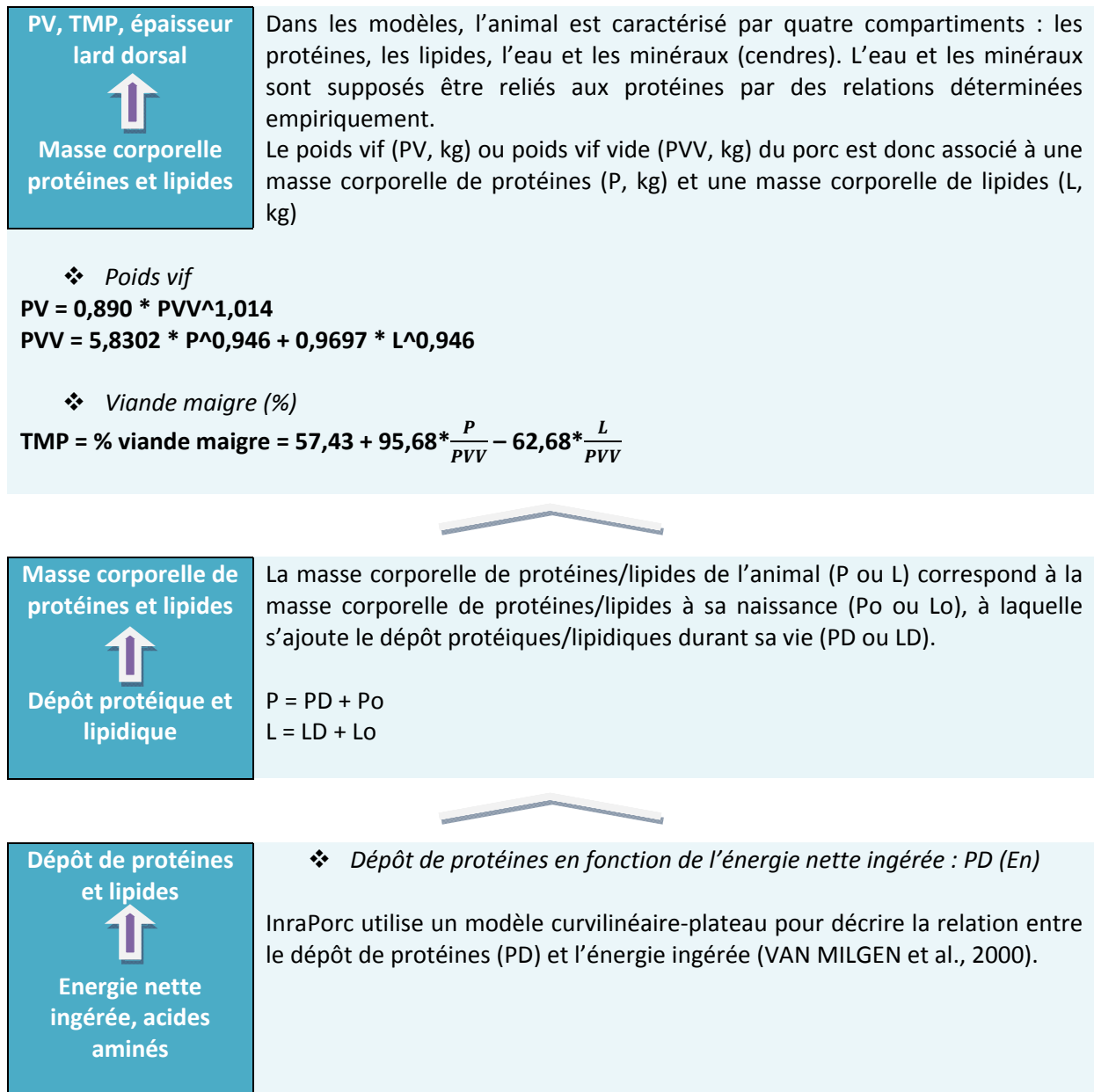
Annexe VI : Construction des classes

VI.a. Dendrogramme représentant les 192 "scénarios" et les 8 classes constituées.

VI.b. Positionnement des 192 "scénarios" en fonction de leur classe sur les axes d'analyse.

Annexe VII : Description des classes selon les variables quantitatives.





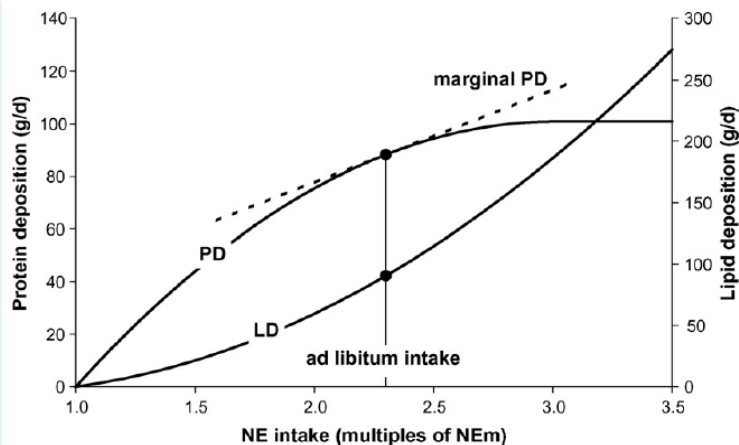


Figure 26 : Dépôt de protéines et dépôt de lipides en alimentation *ad libitum* en fonction de l'énergie nette ingérée – Source : van Milgen J. et al., 2008.

❖ *Dépôt de lipides en fonction de l'énergie nette ingérée : LD (En)*

De la même façon, le dépôt de lipides en fonction de l'énergie nette a été estimé. L'énergie non utilisée pour l'entretien est déposée sous forme de lipides. Le dépôt de lipides est considéré illimité.

❖ *Dépôt de protéines en fonction des acides aminés ingérés : PD (aa)*

Au même titre que l'énergie, les apports d'acides aminés et de protéines digestibles peuvent limiter le dépôt de protéines. Les besoins en lysine des animaux en fonction du poids vif (ou de l'âge) a été déterminé par analyses expérimentales. Les besoins des autres acides aminés sont calculés sur la base de la lysine.

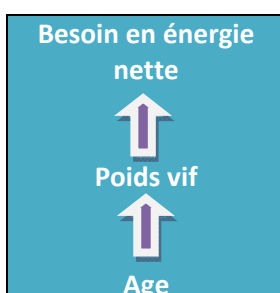
$$PD_{aa} = \frac{(\text{apport digestible standardisé} - \text{entretien}) \times k_{aa}}{AA \text{ protéines corporelles}}$$

$k_{aa}$  : rendement maximal de l'utilisation des acides aminés

AA protéines corporelles : composition en acides aminés des protéines corporelles

Les acides aminés du régime ne sont pas totalement digestibles à 100%. Quand sont soustrait les pertes endogènes basales (acides aminés consommées pendant le tractus digestif par les cellules de l'intestin) et les matières non digérées, on parle de digestibilité standardisée. Sinon, on parle de digestibilité apparente.

Les besoins d'entretien comprennent la desquamation de la peau, les pertes liées au turn-over basal des protéines et les pertes associées à l'endogène basal.



❖ *Fonction de croissance*

Le logiciel INRAPorc s'appuie sur la fonction de croissance de Gompertz (1825) :

$$P_{\text{maturité}} = \frac{P_{\text{final}} * \left(\frac{P_{\text{final}}}{P_{\text{initial}}}\right)^{\text{exp}(-\text{précocité} * (\text{age}_{\text{final}} - \text{age}_{\text{initial}}))}}{1 - \text{exp}(-\text{précocité} * (\text{age}_{\text{final}} - \text{age}_{\text{initial}}))}$$

Cette fonction estime le poids vif à maturité. Il ne s'agit pas ici de maturité sexuelle mais du moment où l'animal atteint son GMQ maximum. En élevage actuel, le porc est abattu avant. Le coefficient de précocité de cette fonction permet d'estimer si cet état est atteint tôt ou tardivement.

Cette fonction a été adaptée dans InraPorc au porc en croissance et permet de s'affranchir du poids vif à la maturité. Elle permet ainsi de modéliser, en conditions nutritionnelles non limitantes, l'évolution du poids vif en fonction de l'âge. Elle suit un comportement sigmoïde avec un point d'inflexion fixe.

$$PV(AGE) = PV2 \cdot \left(\frac{PV2}{PV1}\right) \cdot \exp\left(\frac{-\left(e^{-BGompertz \times (Age 2 - Age 1)} - e^{-BGompertz \times (AGE - Age 1)}\right)}{-1 + e^{-BGompertz \times (Age 2 - Age 1)}}\right)$$

❖ *Fonction de croissance*

L'estimation de l'énergie nette ingérée en fonction du poids vif de l'animal a été déterminée par des résultats expérimentaux. Au fur et à mesure de l'avancé des recherches, plusieurs fonctions de croissance ont été proposées. Pour cette étude, l'équation allométrique a été sélectionnée, équation par défaut dans InraPorc.

Equation allométrique : EN (MJ/j) = a\*PV<sup>b</sup>



Selon leur composition, les aliments consommés sont convertis en énergie brute (EB, MJ/kg), puis énergie digestible (ED, MJ/kg), puis énergie métabolisable (EM, MJ/kg) et enfin énergie nette (EN, MJ/kg).

❖ *Besoin en matière organique*

MO = MAT + MG + Amidon + Sucres + Résidu

**EB = 22,64\*MAT + 38,76\*MG + 17,54\*Amidon + 16,71\*Sucres + 18,58\*Résidu**

**ED = 23,31\*dMAT + 39\*dMG + 17,45\*Amidon + 16,62\*Sucres + 16,61\*Résidu**

**EM = 20,34\*dMAT + 39\*dMG + 17,45\*Amidon + 16,62\*Sucres + 15,51\*Résidu**

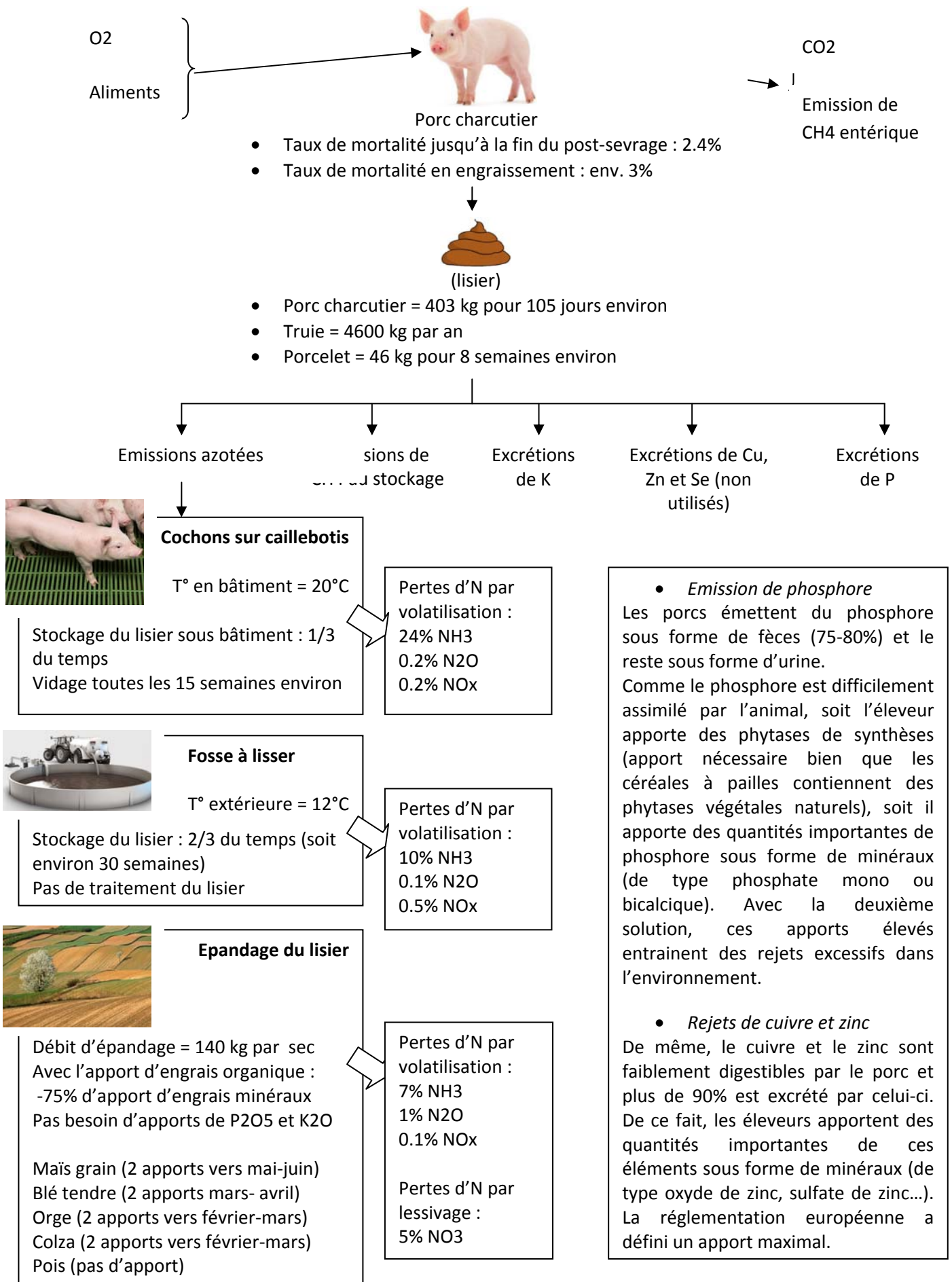
**EN = 12,08\*dMAT+35,01\*dMG+14,32\*Amidon + 11,94\*Sucres + 8,64\*Résidu**

Annexe II : Fonctions utilisées sous R en programmation – Source : réalisation personnelle.

Fonction	Description
read.table()	Importer un fichier sous forme de data.frame
rm()	Supprimer un fichier sous forme de data.frame
view()	Visualiser un fichier sous forme de data.frame
setwd() write.table()	Définir le lieu d'exportation Exporter un data.frame sous forme csv, txt...
print() sink()	Afficher les variables commandées dans la console de R Exporter les résultats de la console vers un fichier txt, csv...
as.numeric() as.factor() as.character() as.data.frame()	Convertir des variables en variables numériques Convertir des variables en facteurs Convertir des variables en caractères Convertir une matrice en data.frame
matrix() seq()	Créer une matrice Créer un vecteur
colnames() row.names() names()	Nommer des colonnes Nommer des lignes Nommer soit des colonnes, soit des lignes
which()	Trouver le numéro des colonnes contenant une variable spécifique dans une matrice / Trouver la position d'une variable spécifique dans une liste
grep()	Trouver le numéro des colonnes contenant dont une chaîne de valeurs/caractères spécifiques dans une matrice / Trouver la position d'une chaîne de valeurs/caractères spécifiques dans une liste
if ( ) {}	Afficher des variables sous conditions affirmatives
ifelse ( )	Afficher des variables sous conditions affirmatives et négatives
for (i in 1:13) {}	Créer une boucle
levels() nlevels()	Sélectionner les variables différentes (en supprimant les répétitions) Compter le nombre de variables distinctes
lengths()	Indiquer le nombre de variables dans une liste, vecteur ou matrice
min() max()	Indiquer la variable la plus petite Indiquer la variable la plus grande
sum() mean()	Sommer des variables Faire une moyenne de variables
apply() , tapply() aggregate() lapply()	Appliquer une fonction à une liste de variables, selon des variables d'une autre liste Appliquer une fonction à une liste de variables, selon des variables d'une autre liste Appliquer une fonction à une liste de variables
subset()	Selectionner des variables qui respectent certaines conditions
substr()	Extraire des caractères d'une chaîne de caractères
strsplit()	Couper en plusieurs morceaux une chaîne de caractères
any() all()	Evaluer si certaines variables respectent une ou plusieurs conditions Evaluer si toutes les variables respectent une ou plusieurs conditions
paste()	Coller ensemble plusieurs variables
round() signif() ceiling() floor()	Arrondir le nombre en gardant le nombre de décimales commandées Arrondir le nombre en gardant le nombre de chiffres commandés Arrondir à l'entier supérieur Arrondir à l'entier inférieur
order() sort()	Ordonner des variables Trier des variables
sqrt() log() exp() scale()	Racine carrée Logarithme Exponentielle Centrer et réduire variables $x : (x - E(x)) / \sigma(x)$
duplicated()	Peut être utilisé pour enlever les doublons



Annexe III : Emissions du porc prises en compte dans l'ACV – Source : réalisation personnelle.



Annexe IV : Coefficients de conversion pour le calcul des indicateurs environnementaux de l'ACV  
 – Source : réalisation personnelle.

		Changement climatique	Acidification	Eutrophisation	Demande énergétique	Occupation des sols
Coefficient de conversion		kg CO2-eq /porc	g SO2-eq /porc	g PO4-eq /porc	MJ /porc	m <sup>2</sup> an /porc
<b>Emissions lors de la fabrication des aliments</b>						
Aliments : maïs grain, blé tendre, orge, colza, soja						
Impact de la déforestation due à la culture du soja pris en compte (<1% de déforestation dans Centre-Ouest du Brésil et 0% ailleurs)						
Gaz à effet serre	kg CO2	1				
Acidification	kg SO2		1			
Eutrophisation	kg PO4			1		
Besoin énergétique	MJ				1	
Surface utilisée	m <sup>2</sup> an					1
Electricité (41 kWh par tonne d'aliment)	kWh	+ 0.00871855	+ 0.00004142	+ 0.00000341	+ 0.90513108	+ 0.00045690
Gaz naturel (20,5 kWh par tonne d'aliment)	kWh	+ 0.02060937	+ 0.00007305	+ 0.00000215	+ 0.33626306	+ 0.00006732
Transport des aliments entre l'usine de fabrication et la ferme (30 t.km)	t.km	+ 0.13552743	+ 0.00071396	+ 0.00013245	+ 2.22760640	+ 0.01129125
<b>Emissions dans les bâtiments</b>						
NH3	kg N-NH3	+ 0.01*(44/28)*298	+ (17/14)*1.6	+ (17/14)*0.35		
N2O	kg N-NO2	+ (44/28)*298				
NOx	kg N-NOx	+ 0.01*(44/28)*298				
NO3	kg N-NO3	+ 0.0075*(44/28)*298		+ (62/14)*0.1		
CH4 (lisier stocké sous caillebotis, 1/3 du temps total de stockage)	kg CH4	+ 25*0.33				
CH4 (entérique)	kg CH4	+ 25				
Electricité (11 kWh/cochon)	kWh	+ 0.00871855	+ 0.00004142	+ 0.00000341	+ 0.90513108	+ 0.000045690
Surface utilisée en production	m2					1

porcine plein air (ici 0)						
<b>Emissions par rapport à la gestion du lisier sur les champs</b>						
CH4 (lisier stocké fosse à lisier, 2/3 du temps total de stockage)	kg CH4	+ 25*0.67				
N substitution	kg N	- 7.3406518	- 0.03770845	- 0.00792280	- 66.447482	- 0.1679342
P substitution	kg P	- 1.6593054 *62/31	- 0.02260542 *62/31	- 0.00635443 *62/31	- 33.566886 *62/31	- 0.4735183 *62/31
K substitution	kg K	- 0.58194209 *78.2/39.1	- 0.00434929 *78.2/39.1	- 0.00046844 *78.2/39.1	- 9.8692107 *78.2/39.1	- 0.9156523 *78.2/39.1
Transport de lisier entre ferme et lieu d'épandage (env. 10 km)	t.km	+ 0.39964633	+ 0.00247782	+ 0.00066817	+ 5.2284446	+ 0.07409018
Epandage (soit X, la quantité de lisier produit par l'animal)	tonne	+ 22.765041 /3600* X/140	+ 0.15578582 /3600* X/140	+ 0.03094642 /3600* X/140	+ 380.12081 /3600* X/140	+ 0.46086673 /3600* X/140

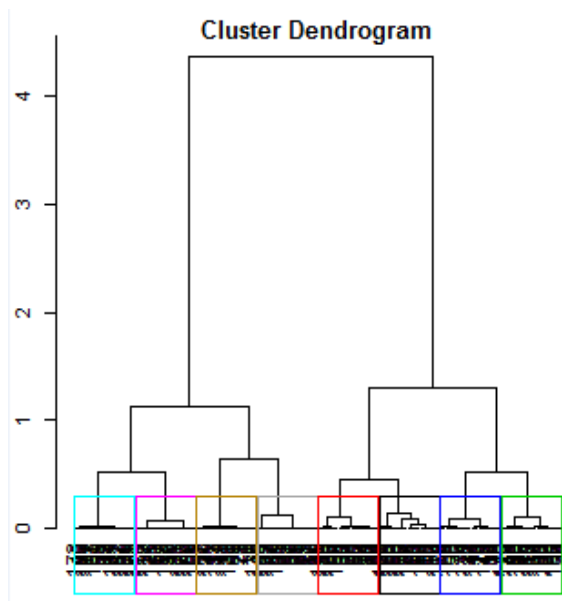
Annexe V : Variables d'entrées fixes du modèle MOGADOR – Source : thèse en cours de Cadéro A.

Nom	Valeur	Explications
tauxporcs	1	Nombre de porcs présents dans la cohorte en rapport avec la taille de la salle d'accueil de la cohorte
decision_depart	50	Nombre de porcs détectés prêts à partir à l'abattoir à partir duquel un départ à l'abattoir est prévu
poidsmin_gamme	107	Poids d'entrée de gamme
poidsmax_gamme	137	Poids de sortie de gamme
poidsmin_coeurgamme	114	Poids d'entrée de cœur de gamme
poidsmax_coeurgamme	129	Poids de sortie de cœur de gamme
GMQest	0,8	GMQ moyen estimé (GTE 2014), sert à estimer les poids des porcs dans le futur (sert pour prévoir les départs à l'abattoir)
njour_departabat	10	Nombre de jour entre le jour de comptage et le jour de départ à l'abattoir programmé
njour_tri_depart	3	Nombre de jour entre le jour du tri et le jour du départ à l'abattoir (x jours avant le départ)
njour_C1C2	7	Nombre de jours entre deux comptages pour programmer un départ à l'abattoir
toldepart	0,05	Taux de tolérance du nombre de porcs en plus par départ par rapport au nombre de porcs programmés
jour_comptage	Lundi	Jour de la semaine durant lequel est effectué le comptage des porcs pour programmer un départ à l'abattoir (jour par défaut)
tri_precision	0.00	Estimation par pesée (0% d'erreur) ou à l'œil (5% d'erreur)
superficie_par_porcs	0,65	Superficie allouée par porc dans une case (superficie par case d'une même salle) Hyp : Les cases situées dans une même salle sont toute de la même taille
superficie_saltamp	0,65	Superficie allouée par porc dans une case
capacite_saltamp	0,05	Pourcentage appliqué sur le nombre de places totales dans l'élevage, pour connaître le nombre de places dans la salle tampon
tempsmax_saltamp	63	Nombre de jour maximum que le porc peut rester dans la salle tampon avant le départ à l'abattoir
fichier_profil	ProfilP2.rec	Fichier contenant les informations relatives aux profils des animaux (potentiel de croissance, d'ingestion, sexe, etc.)
choix_plan_saltamp	Ad libitum	Nom du plan de rationnement que l'éleveur va mettre en place pour la salle tampon (nom créé sous InraPorc)
choix_seq_saltamp	Bi-phase standard	Nom de la séquence alimentaire que l'éleveur va mettre en place dans la salle tampon (nom créé sous InraPorc)
Effet_densite	1	Paramètre permettant de mettre en place l'effet de la densité sur la croissance du porc ou non (0:non, 1:oui)
VS	3	Temps de vide sanitaire minimal par salle entre 2 cohortes
Variabilite	1	Paramètre déterminant si le modèle effectue la simulation avec la variabilité individuelle ou non (1 : oui, 0 : non)
mortalite	Effet aléatoire	Taux de mortalité des porcs en engraissement sur toute la période d'engraissement
Taille_salle	480	Taille théorique de chaque salle (en nombre de places)

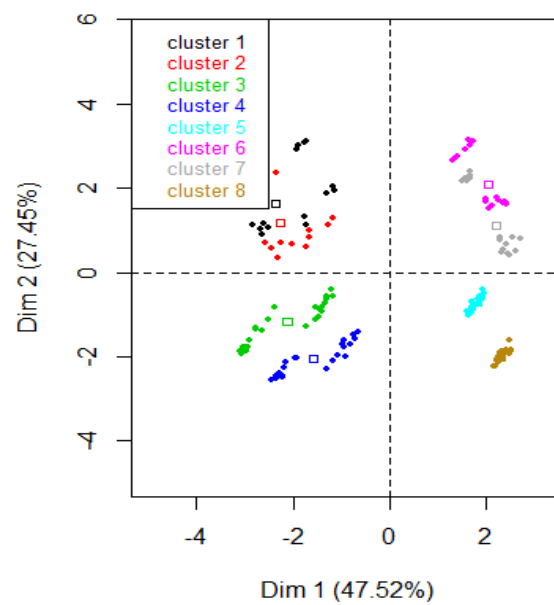
D'autres informations sont rentrées dans InraPorc et ont été enregistrées sous forme de fichier :

- les informations sur les aliments (composition, énergie...) – fichier Aliment.rec
- les informations relatives aux séquences alimentaires (biphase, multiphases en 10 phases, multiphases journaliers) - fichier SeqAlIP.rec
- les informations relatives au plan de rationnement (ab libitum, restriction à 2,5 kg) – fichier RationP2.rec

## Annexe VI : Construction des classes



VI.a. Dendrogramme représentant les 192 "scénarios" et les 8 classes constituées - Source : réalisation personnelle sous le logiciel R.



VI.b. Positionnement des 192 "scénarios" en fonction de leur classe sur les axes d'analyse - Source : réalisation personnelle sous le logiciel R.

Annexe VII : Description des classes selon les variables quantitatives – Source : réalisation personnelle.

<b>Classe « MaxEco MinEnv -%CG »</b>		<b>Classe « MeilleurTech -%CG »</b>	
Marge :	1.424292e+01	TMP :	61.25653967
% de porcs « légers » :	7.235833e-02	Marge :	12.76750000
TMP :	6.052000e+01	Produit :	133.10708333
Produit :	1.310867e+02	% de porcs « légers » :	0.06833333
Age de fin :	1.705069e+02	Energie consommée :	15.46041667
IC :	2.687208e+00	% de porcs « lourds » :	0.00131250
% de porcs « lourds » :	1.666667e-05	Poids vif de fin :	117.27954167
% de porcs dans le cœur de gamme :	6.481708e-01	Taux de perte :	0.02750000
Energie consommée :	1.484967e+01	Age de fin :	169.68008333
Changement climatique :	2.158042e+00	Rejets de phosphore :	572.55845833
Acidification :	4.102942e+01	Occupation des sols :	3.41487500
Rejets d'azote :	2.788009e+03	% de porcs dans le cœur de gamme :	0.65736667
Eutrophisation :	1.550942e+01	IC :	2.63062500
Occupation des sols :	3.384292e+00		
Coût des aliments :	5.298500e+01		
Rejets de phosphore :	5.541585e+02		
Poids vif de fin :	1.158769e+02		
<b>Classe « MinProduit -%CG »</b>		<b>Classe « MinAgeFin -%CG »</b>	
% de porcs « légers » :	9.702500e-02	% de porcs « lourds » :	8.325000e-03
% de porcs « lourds » :	4.329167e-03	% de porcs « légers » :	8.295833e-02
IC :	2.724208e+00	Acidification :	4.480483e+01
Marge :	1.051875e+01	Energie consommée :	1.569862e+01
Taux de perte :	2.770833e-02	Eutrophisation :	1.668467e+01
Occupation des sols :	3.430542e+00	Changement climatique :	2.281125e+00
Rejets de phosphore :	5.737302e+02	Rejets d'azote :	3.307851e+03
TMP :	5.961558e+01	Coût des aliments :	5.801292e+01
Eutrophisation :	1.582138e+01	Occupation des sols :	3.479750e+00
Acidification :	4.198013e+01	Rejets de phosphore :	5.973867e+02
Changement climatique :	2.186542e+00	Poids vif de fin :	1.179704e+02
Rejets d'azote :	2.903429e+03	Produit :	1.304683e+02
Energie consommée :	1.499783e+01	IC :	2.678792e+00
% de porcs dans le cœur de gamme :	6.609125e-01	% de porcs dans le cœur de gamme :	6.843000e-01
Poids vif de fin :	1.167452e+02	Marge :	8.657500e+00
Age de fin :	1.689702e+02	Taux de perte :	2.705417e-02
Coût des aliments :	5.417667e+01	Age de fin :	1.682558e+02
Produit :	1.285333e+02		

<b>Classe « PireTech +%CG »</b>		<b>Classe « MaxAgeFin +%CG »</b>	
IC :	2.783833e+00	Age de fin :	1.760395e+02
% de porcs dans le cœur de gamme :	8.788208e-01	Taux de perte :	2.896667e-02
Poids vif de fin :	1.191843e+02	Marge :	1.359375e+01
Age de fin :	1.737266e+02	% de porcs dans le cœur de gamme :	8.924833e-01
Rejet de phosphore :	6.093259e+02	IC :	2.755500e+00
Occupation des sols :	3.494750e+00	Produit :	1.333079e+02
Taux de perte :	2.820833e-02	Poids vif de fin :	1.187159e+02
Eutrophisation :	1.616988e+01	TMP :	6.001487e+01
Rejets d'azote :	3.066868e+03	Coût des aliments :	5.579208e+01
Acidification :	4.298242e+01	% de porcs « lourds » :	0.000000e+00
Changement climatique :	2.222958e+00	Changement climatique :	2.202417e+00
Marge :	1.037458e+01	Rejets d'azote :	2.977080e+03
Energie consommée :	1.519758e+01	Eutrophisation :	1.593229e+01
Produit :	1.308154e+02	Acidification :	4.224462e+01
% de porcs « légers » :	3.155000e-02	Energie consommée :	1.509379e+01
% de porcs « lourds » :	0.000000e+00	% de porcs « légers » :	1.741250e-02
TMP :	5.915884e+01		
<b>Classe « MaxProduit +%CG »</b>		<b>Classe « MinEco MaxEnv +%CG »</b>	
Produit :	1.348542e+02	Occupation des sols :	3.556667e+00
Coût des aliments :	5.956667e+01	Eutrophisation :	1.715012e+01
Energie consommée :	1.580967e+01	Acidification :	4.616983e+01
Age de fin :	1.747813e+02	Changement climatique :	2.330292e+00
% de porcs dans le cœur de gamme :	8.974333e-01	Rejets de phosphore :	6.341540e+02
Rejets d'azote :	3.380360e+03	Rejets d'azote :	3.506293e+03
Changement climatique :	2.297917e+00	Coût des aliments :	6.063375e+01
Poids vif de fin :	1.196505e+02	Energie consommée :	1.598617e+01
Eutrophisation :	1.679675e+01	Poids vif de fin :	1.200467e+02
Acidification :	4.508054e+01	% de porcs dans le cœur de gamme :	8.874250e-01
TMP :	6.074909e+01	IC :	2.738375e+00
Rejets de phosphore :	6.156362e+02	Age de fin :	1.726149e+02
Occupation des sols :	3.508167e+00	Produit :	1.323113e+02
Taux de perte :	2.847083e-02	Taux de perte :	2.767500e-02
IC :	2.700083e+00	TMP :	5.977515e+01
% de porcs « lourds » :	0.000000e+00	% de porcs « lourds » :	0.000000e+00
% de porcs « légers » :	1.565833e-02	% de porcs « légers » :	2.544583e-02
		Marge :	7.842917e+00

Les variables dont la valeur-test est inférieure à 2 en valeur absolue sont grisées.