

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE, AGROALIMENTAIRE  
ET DE L'ALIMENTATION NANTES ATLANTIQUE – ONIRIS

ANNEE 2017

**Performances et santé des vaches laitières en  
agriculture biologique :  
Bilan de l'expérimentation – système de l'INRA de  
Mirecourt**

THESE  
pour le  
diplôme d'Etat  
de  
DOCTEUR VETERINAIRE

présentée et soutenue publiquement  
le 16 octobre 2017  
devant  
la Faculté de Médecine de Nantes  
par

**Marion ROBIN**

Née le 8 Février 1991 à Loudéac (22)

JURY

Président : Monsieur Patrick LUSTENBERGER, Professeur à la faculté de médecine de Nantes  
Rapporteur : Madame Nathalie BAREILLE, Professeur à ONIRIS  
Assesseur : Monsieur Aurélien MADOUASSE, Maître de conférences à ONIRIS





ECOLE NATIONALE VETERINAIRE, AGROALIMENTAIRE  
ET DE L'ALIMENTATION NANTES ATLANTIQUE – ONIRIS

ANNEE 2017

**Performances et santé des vaches laitières en  
agriculture biologique :  
Bilan de l'expérimentation – système de l'INRA de  
Mirecourt**

THESE  
pour le  
diplôme d'Etat  
de  
DOCTEUR VETERINAIRE

présentée et soutenue publiquement  
le 0 octobre 217  
devant  
la Faculté de Médecine de Nantes  
par

**Marion ROBIN**

Née le 8 Février 1991 à Loudéac (22)

JURY

Président : Monsieur Patrick LUSTENBERGER, Professeur à la faculté de médecine de Nantes  
Rapporteur : Madame Nathalie BAREILLE, Professeur à ONIRIS  
Assesseur : Monsieur Aurélien MADOUASSE, Maître de conférences à ONIRIS





## ENSEIGNANTS-CHERCHEURS ET ENSEIGNANTS D'Oniris

Ecole Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes Atlantique

Directrice Générale : Dominique BUZONI-GATEL

<b>DEPARTEMENT DE BIOLOGIE, PATHOLOGIE ET SCIENCES DE L'ALIMENT (BPSA)</b>		
NUTRITION et ENDOCRINOLOGIE	Patrick NGUYEN (Pr) Lucile MARTIN (Pr)	Henri DUMON (Pr)
PHARMACOLOGIE et TOXICOLOGIE	Yassine MALLEM (MC) Martine KAMMERER (Pr) Julie DUVAL (MCC)	Hervé POULIQUEN (Pr) Jean-Claude DESFONTIS (Pr)
PHYSIOLOGIE FONCTIONNELLE, CELLULAIRE et MOLECULAIRE	Lionel MARTIGNAT (Pr) Jean-Marie BACH (Pr)	Grégoire MIGNOT (MC) Julie HERVE (MC)
HISTOLOGIE ET ANATOMIE PATHOLOGIQUE	Jérôme ABADIE (MC) Francesca FRANZOSO (MCC) Laetitia JAILLARDON (MC)	Frédérique NGUYEN (MC) Marie-Anne COLLE (Pr)
PATHOLOGIE GENERALE, MICROBIOLOGIE et IMMUNOLOGIE	François MEURENS (Pr) Jean-Louis PELLERIN (Pr)	Hervé SEBBAG (MC) Emmanuelle MOREAU (MC)
BIOCHIMIE ALIMENTAIRE INDUSTRIELLE	Laurent LE THUAUT (MC) Thierry SEROT (Pr) Joëlle GRUA (MC) (MC)	Carole PROST (Pr) Florence TEXIER (MC) Mathilde MOSSER (MC) Clément CATANEO (MC)
MICROBIOLOGIE ALIMENTAIRE INDUSTRIELLE	Xavier DOUSSET (Pr) Bénédicte SORIN (Chef de travaux) Bernard ONNO (MC) Géraldine BOUE (MCC)	Hervé PREVOST (Pr) Emmanuel JAFFRES (MC) Nabila HADDAD (MC)
<b>DEPARTEMENT DE SANTE DES ANIMAUX D'ELEVAGE ET SANTE PUBLIQUE (SAESP)</b>		
HYGIENE ET QUALITE DES ALIMENTS	Michel FEDERIGHI (Pr) Bruno LE BIZEC (Pr) Catherine MAGRAS (Pr) Fanny RENOIS-MEURENS (MC)	Eric DROMIGNY (MC) Marie-France PILET (MC) Jean-Michel CAPPELIER (Pr)
MEDECINE DES ANIMAUX D'ELEVAGE	Alain DOUART (MC) Catherine BELLOC (PR) Isabelle BREYTON (MC) Christophe CHARTIER (Pr) (MCC)	Sébastien ASSIE (MC) Raphaël GUATTEO (Pr) Mily LEBLANC MARIDOR
PARASITOLOGIE AQUACULTURE FAUNE SAUVAGE	Alain CHAUVIN (Pr) Albert AGOULON (MC)	Guillaume BLANC (MC) Ségolène CALVEZ (MC) Suzanne BASTIAN (MC)
MALADIES REGLEMENTEES, REGLEMENTATION SANITAIRE ZONOSSES	Jean-Pierre GANIERE (Pr émérite) Carole PEROZ (MC)	Nathalie RUVOEN-CLOUET (MC)
ZOOTECHE	Aurélien MADOUASSE (MC) Xavier MALHER (Pr) François BEAUDEAU (Pr)	Christine FOURICHON (MC) Nathalie BAREILLE (Pr)
<b>DEPARTEMENT DE SCIENCES CLINIQUES (DSC)</b>		
ANATOMIE COMPAREE	Eric BETTI (MC)	Claire DOUART (MC) Claude GUINTARD (MC)
PATHOLOGIE CHIRURGICALE ET ANESTHÉSIOLOGIE	Olivier GAUTHIER (Pr) Béatrice LIJOUR (MC) Eric AGUADO (MC) Caroline TESSIER (MC)	Gwenola TOUZOT-JOURDE (MC) Olivier GEFROY (Pr) Eric GOYENVALLE (MC)
DERMATOLOGIE PARASITOLOGIE DES CARNIVORES ET DES EQUIDES MYCOLOGIE ANIMAUX D'ESPECES INHABITUELLES	Patrick BOURDEAU (Pr)	Vincent BRUET (MC)
MEDECINE INTERNE, IMAGERIE MÉDICALE et LEGISLATION PROFESSIONNELLE	Dominique FANUEL (Pr) Anne COUROUCE (Pr) Catherine IBISCH (MC) Nicolas CHOUIN (MC)	Marion FUSELLIER-TESSON (MC) Jack-Yves DESCHAMPS (Pr) Odile SENECAT (MC) Françoise ROUX (MC)
BIOTECHNOLOGIES et PATHOLOGIE DE LA REPRODUCTION	Francis FIENI (Pr) Jean-François BRUYAS (Pr) Daniel TAINURIER (Pr émérite)	Lamia BRIAND-AMIRAT (MC) Djemil BENCHARIF (MC)

## DEPARTEMENT DE GENIE DES PROCEDES ALIMENTAIRES

Lionel BOILLEREAUX (Pr)  
Sébastien CURET PLOQUIN (MC)  
Marie DE LAMBALLERIE (Pr)  
Dominique DELLA VALLE (MC)  
Francine FAYOLLE (Pr)  
Michel HAVET (Pr)  
Cyril TOUBLANC (MC)

Vanessa JURY (MC)  
Alain LEBAIL (Pr)  
Catherine LOISEL (MC)  
Jean-Yves MONTEAU (MC)  
Denis PONCELET (Pr)  
Olivier ROUAUD (MC)  
Laurence POTTIER (MC)

## DEPARTEMENT DE MANAGEMENT, STATISTIQUES ET COMMUNICATION

MATHEMATIQUES, STATISTIQUES -  
INFORMATIQUE

Véronique CARIOU (MC)  
Philippe COURCOUX (MC)  
El Mostafa QANNARI (Pr)

Michel SEMENOU (MC)  
Chantal THORIN (PCEA)  
Evelyne VIGNEAU (Pr)

ECONOMIE – GESTION - LEGISLATION

Pascal BARILLOT (MC)  
Yvan DUFEU (MC)  
Florence BEAUGRAND (MC)

Jean-Marc FERRANDI (Pr)  
Sonia EL MAHJOUB (MC)  
Samira ROUSSELIERE (MC)  
Sybille DUCHAINE (MC)

COMMUNICATION - LANGUES

Franck INSIGNARES (IE)  
Linda MORRIS (PCEA)  
contractuel  
David GUYLER (PCEA) contractuel  
Virginie Magin contractuel  
CARON Christophe (PLPA)  
Laurence FRERET (PCEA)  
Pascale FLEURY (PCEA)

Marc BRIDOU (PLPA)  
Shaun MEEHAN (PCEA)  
  
Fabiola ASENCIO (PCEA)

**Pr** : Professeur,

**Pr A** : Professeur Associé,

**Pr I** : Professeur Invité,

**MC** : Maître de Conférences,

**MCC** : Maître de Conférences Contractuel,

**AERC** : Assistant d'enseignement et de recherches,

**PLPA** : Professeur Lycée professionnel Agricole,

**PCEA** : Professeur certifié enseignement agricole

**La reproduction d'extraits est autorisée avec mention de la source. Toute reproduction partielle doit être fidèle au texte utilisé. Cette thèse devra donc être citée comme suit :**

ROBIN, M. (2017). Performances et santé des vaches laitières en agriculture biologique : Bilan de l'expérimentation – système de Mirecourt. Thèse de doctorat vétérinaire, Faculté de Médecine, Nantes. ONIRIS : École Nationale Vétérinaire, Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes Atlantiques, 104 pages.

*Le défaut de citation est considéré comme du plagiat. Ce dernier est puni par la loi française et passible de sanctions allant jusqu'à 3ans d'emprisonnement et 300 000 € d'amende.*



## REMERCIEMENTS

À **Monsieur Patrick LUSTENBERGER,**

Professeur de la faculté de médecine de Nantes

Pour m'avoir fait l'honneur de présider mon jury de thèse

*Hommages respectueux*

À **Madame Nathalie BAREILLE,**

Professeur à ONIRIS

Pour m'avoir accordé sa confiance et donné des conseils tout au long de mon travail

*Sincères remerciements*

À **Monsieur Aurélien MADOUASSE,**

Maître de conférences à ONIRIS

Pour m'avoir fait le plaisir de participer à mon jury de thèse et l'aide apportée pour la maîtrise du logiciel R.

*Sincères remerciements*

À **Monsieur Luc DELABY,**

Ingénieur de recherche à l'INRA

Pour le travail en amont sur les données, la patience et l'apport statistique.

*Sincères remerciements*



**À Jean – Marie TROMMENSCHLAGER et Laurent BRUNET,**

Pour votre accueil à Mirecourt puis votre patience au cours de ma découverte des fichiers, votre disponibilité, votre gentillesse.

J'aimerais vous recroiser

*Un grand et sincère Merci !*

**À Jean – Louis FIORELLI, Florence HELLEC, Bertrand CAILLY et Emilie OLLION,**

Pour vos appuis techniques et les discussions hors et au cours des comités de pilotage de ce stage.

*Sincères remerciements*

**À toute l'équipe de l'unité ASTER,**

Pour m'avoir fait découvrir votre unité et diverti mes repas, mes soirées et mes weekends en me faisant découvrir les Vosges, Mirecourt et d'autres choses ... dans la joie et la bonne humeur.

*Merci d'avoir rendu ce séjour parmi vous si agréable !*

**À Nadine BRISSEAU, Anne LEHEBEL et Thomas MEIGNAN,**

Pour votre patience, votre disponibilité et votre bonne humeur au cours de l'aide que vous m'avez apportée pour mes questions statistiques.

*Sincères remerciements*

**À Michel LEROUX, Erwann HELLEU et Juliette BORDOT,**

Pour l'appui logistique indispensable.

*Sincères remerciements*

**À toute l'équipe de l'unité BIOEPAR d'ONIRIS,**

**Erwann, Michel, Marie, Marion, Evelyne,** mes coloc de logette, **Raïsha, François, Guillaume,** et les autres pour cette superbe ambiance de travail que j'espère retrouver ailleurs.

*Un grand et sincère Merci !*



## **A ma Génialissime Famille**

A mes parents.

**PAPA, MAMAN**, Merci pour la confiance en moi que vous m'avez donné pour réussir à aller jusqu'au bout de ces études. Merci pour ce que vous m'apportez au quotidien, la joie de vivre, tous les souvenirs qu'on partage tous ensemble avec Alexis, et la force que cela me donne pour croire en mes rêves et avancer.

A **Alexis**,

Merci d'être toi, j'ai adoré ces deux dernières années passées ensemble à Nantes, le taekwondo, le théâtre et le reste. J'espère que notre relation restera toujours celle qu'elle est.

A mes grands-parents.

A **Papy Roger** et **Mamy Léa**, même en votre absence, l'amour et les souvenirs qu'il me reste sont gravés en moi et participent à faire qui je suis aujourd'hui.

A **Papy Claude** et **Mamy Gisèle**, merci pour votre bonne humeur et votre dynamisme à toute épreuve, vous êtes tous les deux des modèles de motivation !!

Merci à **mes tontons** et **mes tatas** pour tous ces moments passés tous ensemble qui font que j'aime tant passer du temps en famille.

A **Florian**

Je t'aime tout simplement !



### A tous mes professeurs

De la maternelle à l'école vétérinaire. Ceux du début qui m'ont fait adorer l'école, ceux qui m'ont appris à lire et à écrire, ceux du lycée Fulgence Bienvenüe qui nous ont fait grandir avec bienveillance, et puis après ceux qui m'ont amenés jusqu'à aujourd'hui.

A tous **les vétérinaires** qui ont participé à ma formation

Merci de votre accueil toujours chaleureux et du temps que vous avez tous pris pour moi.

### A tous mes copains

A mes vieux copains, **Alice, Hugo et Kévin**. Merci pour les premiers campings entre copains, les premiers nouveaux ans, la première sortie en boîte, et tout ce qui a suivi et qui continue, la coloc, les voyages, le ski, il faudrait une thèse entière pour vous dire tout ce que j'ai envie, Vous êtes géniaux !! Merci à ma famille d'adoption.

A **Servane et Emilie**, merci pour votre folie ! Pour la musique, Fosfenn forever. Mais aussi tous ces plans foireux qu'on a monté ensemble.

A **Nathalie**, les colos c'est fini mais après Bruxelles j'espère que tu me feras visiter beaucoup d'autres villes !

A **Maël**, à qui j'ai laissé seulement trois jours de répit dans la vie. Merci de le vivre de mieux en mieux. T'es le super cousin que tout le monde voudrait avoir.

A tous mes autres copains du lycée, cette période a été tellement incroyable avec vous tous !! A ceux que je vois toujours, merci pour toutes ces soirées, **Antoine, Jean, Marine, Julie, Alain, Manon et Félix**. A l'équipe de basket la plus géniale du monde avec **Virginie**, la grande **Marion, Justine et Alice et Servane** !! Et à tous ceux que je n'ai pas vu depuis longtemps !!

A **Marion** pour la prépa !!

Ça cligne toujours quand je pense à toi.

A mes colocs, **Alice** tu as été la première et la plus courageuse je pense, merci pour ces deux années à Rennes qui ont été super. **Mathilde**, trois ans de vie commune et un Erasmus ça créé des liens et je suis très contente que ces liens existent entre nous !! Merci aussi à toi **Delphine**, notre rousse de la première heure. **Valentine et Clémence**, merci de m'avoir acceptée comme poulotte !! Merci **Marie** d'avoir un peu été ma grande sœur pour cette première année à l'école et pour tous les stages qui ont suivis !! Merci aussi à **Guillaume et Didier**, pour tous ces apéros mouvementés.

A **Mathilde, Camille, Elise et Audrey**.

Merci toutes les quatre pour ces années à l'école. Les soirées, les potins, les vacances, les anniversaires, tout ce qui fait notre amitié.

A **Franck, Thomas et Nathan** pour participer à l'entretien et l'embellissement de cette amitié.



# SOMMAIRE

<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>17</b>
<b>LISTE DES ABREVIATIONS</b> .....	<b>21</b>
<b>TABLE DES FIGURES</b> .....	<b>22</b>
<b>TABLE DES TABLEAUX</b> .....	<b>23</b>
<b>TABLE DES ANNEXES</b> .....	<b>26</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>27</b>
<b>ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b> .....	<b>29</b>
<b>I - APTITUDES RECHERCHEES CHEZ LES VACHES LAITIÈRES CONDUITES EN SYSTEME AUTONOME HERBAGER, A BAS INTRANTS OU EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE</b> .....	<b>29</b>
I-1) DES PERFORMANCES DE REPRODUCTION EXIGEANTES : L'EXEMPLE DE L'IRLANDE.....	29
I-2) UNE PRODUCTION LAITIÈRE LA PLUS ÉCONOME POSSIBLE .....	30
I-3) UN ÉTAT SANITAIRE SOULIGNÉ PAR LE CAHIER DES CHARGES AB.....	30
I-4) LA LONGEVITÉ : UN GAGE DE DURABILITÉ .....	31
I-5) BILAN .....	31
<b>II - CAPACITÉS DES VACHES LAITIÈRES DES TROIS PRINCIPALES RACES FRANÇAISES À RÉPONDRE À CES EXIGENCES</b> .....	<b>32</b>
II-1) PERFORMANCES DE REPRODUCTION .....	32
II-2) EFFICACITÉ LAITIÈRE EN SYSTÈME PATURANT .....	33
II-3) PERFORMANCE DE LONGEVITÉ ET DE SANTÉ .....	34
II-4) BILAN .....	34
<b>III - CARACTÉRISER ET ÉVALUER LA ROBUSTESSE DE LA VACHE LAITIÈRE</b> .....	<b>34</b>
III-1) DÉFINITION DE LA ROBUSTESSE .....	34
III - 1 - 1 - <i>Robustesse et diversité des réponses adaptatives.</i> .....	35
III - 1 - 2 - <i>Définition à l'échelle de la performance : une approche incomplète</i> .....	35
III - 1 - 3 - <i>La robustesse est basée sur un ensemble de performances à prendre en compte</i> .....	36
III - 1 - 4 - <i>Décrire les mécanismes de régulation par le concept de compromis entre fonctions biologiques.</i> .....	37
III-2) MODALITÉS D'ÉVALUATION DE LA ROBUSTESSE .....	37
III - 2 - 1 - <i>Recommandations pour l'étude de la robustesse</i> .....	37
III - 2 - 2 - <i>Méthode développée par Sadoul et al. (2014)</i> .....	37
III - 2 - 3 - <i>Méthode d'analyse des profils de compromis entre fonctions biologiques développée par Ollion et al. 2015</i> .....	38
III - 2 - 4 - <i>Apports complémentaires de Cloet (2015)</i> .....	39
III-3) SANTÉ ET ROBUSTESSE : PEU D'APPROCHES QUANTITATIVES À L'HEURE ACTUELLE .....	39
<b>ETUDE PERSONNELLE</b> .....	<b>41</b>
<b>I - CADRE ET OBJECTIFS</b> .....	<b>41</b>
I-1) CADRE.....	41
I-2) OBJECTIFS .....	41
<b>II - MATÉRIELS ET MÉTHODES</b> .....	<b>43</b>
II-1) DISPOSITIF D'ÉTUDE ET DONNÉES DISPONIBLES .....	43
II - 1 - 1 - <i>Dispositif d'étude</i> .....	43
II - 1 - 1 - (1) Description de l'installation expérimentale et des systèmes .....	43
II - 1 - 1 - (2) Similitudes et différences dans la conduite des systèmes .....	43
II - 1 - 2 - <i>Collecte et organisation des données</i> .....	44

II - 1- 2- (1) Collecte des données .....	44
II - 1- 2- (2) Organisation des fichiers .....	45
II-2) ANALYSE DES EFFETS DE LA RACE ET DU SYSTEME .....	46
II - 2 - 1 - Performances analysées .....	46
II - 2- 1- (1) Production laitière .....	46
II - 2- 1- (2) Condition corporelle.....	46
II - 2- 1- (3) Reproduction .....	47
II - 2- 1- (4) Santé.....	48
II - 2- 1- (5) Longévité et carrière productive .....	50
II - 2 - 2 - Sélection et validation des données .....	51
II - 2- 2- (1) Critères communs à toute l'étude.....	51
II - 2- 2- (2) Sélection des données pour l'analyse des performances de lactation, de condition corporelle et de reproduction.....	51
II - 2- 2- (3) Sélection des données pour l'analyse de la longévité et de la carrière.....	52
II - 2 - 3 - Modèles statistiques choisis .....	52
II - 2- 3- (1) Modèle A.....	52
II - 2- 3- (2) Modèle B et D .....	53
II - 2- 3- (3) Modèle C .....	53
II - 2- 3- (4) Outils utilisés.....	53
II-3) ANALYSE DES PROFILS DE COMPROMIS ENTRE FONCTIONS BIOLOGIQUES INTEGRANT LA SANTE .....	54
II - 3 - 1 - Période d'étude et variables utilisées.....	54
II - 3- 1- (1) Période d'étude.....	54
II - 3- 1- (2) Choix des variables à partir des travaux antérieurs .....	54
II - 3- 1- (3) Nouvelle représentation de la survie et détermination des variables de santé.....	55
II - 3 - 2 - Méthode statistique et Sélection des données.....	56
II - 3- 2- (1) Méthode statistique .....	56
II - 3- 2- (2) Sélection des données .....	56
<b>III - RESULTATS .....</b>	<b>57</b>
III-1) EFFET DE LA RACE ET DU SYSTEME SUR LES PERFORMANCES DES VACHES LAITIÈRES .....	57
III - 1 - 1 - Analyse des performances de production laitière .....	57
III - 1 - 2 - Condition corporelle .....	59
III - 1 - 3 - Analyse de la production de lait et de matières utiles par kg de poids vif .....	60
III - 1 - 4 - Performances de reproduction.....	61
III - 1- 4- (1) Réussite à l'insémination, taux de gestation à la fin de la saison de reproduction et de vêlage.....	61
III - 1- 4- (2) Fécondité.....	62
III - 1- 4- (3) Taux d'insémination et de gestation par saison de reproduction .....	63
III - 1 - 5 - Performances de santé .....	65
III - 1- 5- (1) Incidence cumulée des événements sanitaires .....	65
III - 1- 5- (2) Approche de l'état sanitaire des mamelles via les concentrations en cellules somatiques du lait individuelles .....	67
III - 1 - 6 - Analyse de la longévité et de la carrière.....	67
III - 1- 6- (1) Devenir des animaux suite à leurs deux premières lactations.....	67
III - 1- 6- (2) Durée et performance de vie productive .....	69
III-2) INTEGRATION DES DONNEES DE SANTE A L'ANALYSE DES PROFILS DE COMPROMIS ENTRE FONCTIONS BIOLOGIQUES .....	71
III - 2 - 1 - Mise en évidence des profils de compromis entre fonctions biologiques.....	71
III - 2- 1- (1) Résultat de l'ACP .....	71
III - 2- 1- (2) Résultat de la classification.....	71
III - 2- 1- (3) Bilan des compromis entre fonctions biologiques mis en évidence suite à l'incorporation des données de santé.....	74
III - 2 - 2 - Caractéristiques des animaux exprimant les différents profils de compromis entre fonctions biologiques .....	74

III - 2- 2- (1) Répartition en fonction de la race et du système. ....	74
III - 2- 2- (2) Répartition en fonction du rang de lactation .....	75
III - 2- 2- (3) Répartition en fonction des performances de reproduction .....	76
III - 2- 2- (4) Caractéristique de production laitière et état corporel au vêlage .....	76
III - 2- 2- (5) Caractéristiques sanitaires des profils .....	77
III - 2- 2- (6) Répétition des profils au cours de la carrière de la vache laitière .....	78
<b>DISCUSSION .....</b>	<b>79</b>
<b>I - SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX RESULTATS .....</b>	<b>79</b>
I-1) QUELLE CAPACITE DES MONTBELIARDE ET DES HOLSTEIN A S'ADAPTER AUX SYSTEMES CONTRAINTS DE MIRECOURT ? .....	79
I - 1 - 1 - <i>Des différences d'adaptation mises en évidence sur les performances de lactation, reproduction et condition corporelle.</i> .....	79
I - 1 - 2 - <i>Différences de survenue d'état sanitaire entre races et entre systèmes</i> .....	79
I - 1 - 3 - <i>La longévité particulièrement liée aux lactations prolongées</i> .....	80
I-2) APPORT DE LA SANTÉ DANS LA CARACTERISATION DES COMPROMIS ENTRE FONCTIONS BIOLOGIQUES .....	80
I-3) REPETITION DE L'EXPRESSION D'UN MEME PROFIL DE COMPROMIS ENTRE FONCTIONS BIOLOGIQUES AU COURS DE LA CARRIERE D'UNE VACHE LAITIERE .....	81
<b>II - EFFET DE LA RACE ET DES SYSTEMES SUR LES PERFORMANCES DES ANIMAUX .....</b>	<b>81</b>
<b>III - DES LIAISONS CLASSIQUEMENT RETROUVEES ENTRE FONCTIONS BIOLOGIQUES .....</b>	<b>82</b>
<b>IV - DES PROFILS DE COMPROMIS ENTRE FONCTIONS BIOLOGIQUES LIES AUX CAPACITES INDIVIDUELLES DES VACHES LAITIERES.....</b>	<b>83</b>
<b>V - VALIDITE DES RESULTATS OBTENUS SUR L'INSTALLATION EXPERIMENTALE DE MIRECOURT .....</b>	<b>83</b>
V-1) VALIDITE EXTERNE.....	83
V-2) DIFFICULTES D'ANALYSE DES PERFORMANCES DE SANTE ET LA FONCTION DE SURVIE .....	84
V - 2 - 1 - <i>La survie, une fonction complexe à décrire.</i> .....	84
V - 2 - 2 - <i>Validation des données de santé.</i> .....	84
V - 2 - 3 - <i>Evaluation de la NEC, un indicateur peu précis.</i> .....	84
<b>VI - PERSPECTIVES.....</b>	<b>85</b>
VI-1) PERSPECTIVES D'APPLICATION TERRAIN .....	85
VI - 1 - 1 - <i>Adéquation race- système.</i> .....	85
VI - 1 - 2 - <i>Opportunité des lactations prolongées.</i> .....	85
VI-2) PERSPECTIVES D'APPROFONDISSEMENT IMMEDIATES .....	85
VI - 2 - 1 - <i>Améliorer l'approche de la santé et de la fonction de survie.</i> .....	85
VI - 2 - 2 - <i>Etudier les compromis à l'échelle de la carrière : quels sont les facteurs d'influence de la trajectoire adaptative ?</i> .....	86
VI - 2 - 3 - <i>Prendre en considération l'effet campagne inhérent aux systèmes étudiés</i> .....	86
VI - 2 - 4 - <i>Evaluer l'impact du mois de vêlage sur les performances des animaux.</i> .....	86
VI-3) PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES A PLUS LONG TERME : CONNAITRE ET EXPLOITER LES DIFFERENCES ENTRE VACHES .....	87
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>89</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>91</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>97</b>



## LISTE DES ABREVIATIONS

AB : Agriculture Biologique  
ACP : Analyse en Composante Principale  
CAH : Classification Ascendante Hiérarchique  
CCS : Concentration en Cellules Somatiques  
Ho : Holstein  
INRA : Institut Nationale de la Recherche Agronomique  
IpossI-1 : Intervalle Insémination possible – première Insémination.  
IpossIfec : Intervalle insémination possible – Insémination fécondante.  
Mo : Montbéliarde  
MU : Matière Utile  
NEC : Note d'Etat Corporel  
PL : Production Laitière  
SCS : Score Cellulaire somatique  
SH : Système Herbager  
SPCE : Système PolyCulture Elevage  
TB : Taux Butyreux  
TP : Taux Protéique  
Unité ASTER : Agrosystèmes – Territoires – Ressources.

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Caractéristique (a : à gauche) et diversité de la dynamique (b : à droite) d'une réaction adaptative observée en réponse à la survenue d'une perturbation d'après Sauvart et Martin (2010). .....	35
Figure 2 : Normes de réaction en milieu variés d'après Bryant et al (2006).....	36
Figure 3 : Courbes des moyennes brutes de production laitière (a), de Taux Butyreux (b), de Matière Utile (c) et de Taux protéique (d) en fonction de la race et du système.....	57
Figure 4 : Mise en évidence de l'interaction race*système pour la quantité de matière utile totale produite sur 44 semaines de lactation (a), la production laitière totale sur 44 semaines (b), le lait brut total produit par kg de poids vif sur 44 semaines (c) et la Note d'Etat corporel minimale (d). .....	58
Figure 5: Courbe des moyennes brutes d'évolution de la Note d'Etat Corporel sur les 44 premières semaines de lactation en fonction de la race et du système .....	60
Figure 6 : Représentation de la répartition des animaux selon l'intervalle vêlage - insémination fécondante (à gauche) et des courbes de matière utile et de NEC au sein des 4 profils réalisés dans le cadre de l'incorporation des résultats de santé.....	73
Figure 7 : Bilan des profils de compromis obtenus suite à l'incorporation des données de santé .....	74

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Performances des vaches laitières au cours des expérimentations menées sur les domaines INRA du Pin au Haras et de Mirecourt : reproduction et variation de la NEC d'après Delaby et Fiorelli (2014).	33
Tableau 2 : Résultats des expérimentations systèmes INRA menées au Pin au Haras et à Mirecourt : Performances de production laitière, d'après Delaby et Fiorelli 2014	34
Tableau 3 : Similitudes et différences dans la conduite du Système Herbager (SH) et du Système Polyculture Elevage (SPCE)	44
Tableau 4 : Variables utilisées pour l'analyse de l'effet de la race et du système sur la production laitière	46
Tableau 5 : Variables utilisées pour l'analyse de l'effet de la race et du système sur la condition corporelle.	47
Tableau 6 : Variables utilisées pour l'analyse de l'effet de la race et du système sur la reproduction. (* le codage réfère aux modèles définis ci-après dans la partie II – 2 – 3 -)	48
Tableau 7 : Regroupement des dénominations sanitaires en catégories sanitaires utilisables pour l'analyse descriptive des performances de santé en fonction de la race et du système.	49
Tableau 8 : Variables utilisées pour l'analyse de l'effet de la race et du système sur la santé	50
Tableau 9 : Variables utilisées pour l'analyse de l'effet de la race et du système sur les concentrations en cellules somatiques du lait.	50
Tableau 10 : Variables utilisées pour l'analyse de l'effet de la race et du système sur la longévité	51
Tableau 11 : Variables explicatives incluses dans les modèles statistiques d'analyse de l'effet de la race et du système sur les performances de lactation, maintien de l'état corporel, reproduction, longévité et carrière.	52
Tableau 12 : Variables utilisées dans l'analyse des compromis entre fonctions biologiques.	55
Tableau 13 : Variables sanitaires ajoutées aux variables habituellement utilisées pour décrire la fonction de survie dans l'analyse des compromis entre fonctions biologiques.	55
Tableau 14 : Moyennes ajustées et p-value des variables de production laitière en fonction de l'effet de la race et du système.	58
Tableau 15 : Moyennes ajustées des Notes d'Etat Corporel et de poids vif aux points clés de la lactation selon la race et le système.	59
Tableau 16 : Moyennes ajustées des variables de production ramenées au poids vif analysées en fonction de la race et du système	60
Tableau 17 : Résultats de l'analyse de la réussite de la première et deuxième insémination ainsi que de la survenue d'un vêlage selon la race et le système.	61

Tableau 18 : Intervalle Vêlage –Vêlage (IVV), intervalle Vêlage – première insémination (IVI-1), intervalle Vêlage – insémination fécondante (IVIfec) et intervalle première insémination – insémination fécondante (II-1Ifec) en fonction de la race et du système	62
Tableau 19 : Intervalle vêlage - insémination possible (IVIpss), durée de la période de reproduction (Drepro), intervalle insémination possible - première insémination (IpossI-1) et intervalle insémination possible - insémination fécondante (IpossIfec) en fonction de la race et du système	62
Tableau 20 : Taux d'insémination et de gestation dans les 21 et 42 premiers jours de la saison de reproduction du système en fonction de la race et du système	63
Tableau 21 : Taux d'insémination et de gestation dans les 21 et 42 premiers jours de la saison de reproduction individuelle en fonction de la race et du système	64
Tableau 22 : Evènements sanitaires rencontrés sur 308 jours de lactation : Nombre de cas pour 100 vaches.	65
Tableau 23 : Taux de vaches présentant au moins une boiterie, une mammite ou un trouble de l'appareil génital sur 44 semaines de lactations en fonction de la race et du système.	65
Tableau 24 : Evènements sanitaires rencontrés sur les 44 premiers jours de lactation : Nombre de cas pour 100 vaches.	66
Tableau 25 : Evènements sanitaires rencontrés entre 45 et 110 jours de lactation : Nombre de cas pour 100 vaches.	66
Tableau 26 : Moyennes ajustées des scores en cellules somatiques du lait à 7 et 44 semaines de lactation.	67
Tableau 27 : Prévalence et incidence des mammites subcliniques sur 44 semaines de lactation.	67
Tableau 28 : Devenir des vaches laitières de première ou deuxième lactation : pourcentage d'animaux réalisant une nouvelle lactation ou continuant la lactation par une lactation prolongée ou réformés.	68
Tableau 29 : Pourcentage d'animaux réalisant au moins une lactation prolongée au cours de leur vie productive en fonction de la race et du système	68
Tableau 30 : Cause de réforme suite à la première lactation	69
Tableau 31 : Moyennes ajustées des durées de vie productives et de la production laitière selon la race, le système et la réalisation d'une lactation prolongée au cours de la carrière de l'animal.	70
Tableau 32 : Moyenne des variables classifiantes au sein des profils réalisés par typologie des lactations incluant les données sanitaires.	71
Tableau 33 : Résultats des tests de Khi deux pour les variables illustratives des profils de compromis entre fonctions biologiques	75
Tableau 34 : Résultats de l'analyse des variables illustratives quantitatives des profils de compromis entre fonctions biologiques.	76
Tableau 35 : Résultats des tests de khi deux <sup>1</sup> pour les variables illustratives de santé des profils de compromis entre fonctions biologiques.	77

Tableau 36 : Répartition des lactations n+1 au sein des profils en fonction du profil de la lactation n et selon que la lactation n soit une lactation prolongée ou non. 78

Tableau 37 : Répartition des lactations n+2 au sein des profils en fonction du profil de la lactation n. 78

## TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Elément du glossaire des expérimentateurs pris en compte pour chaque cause de réforme en fin de première lactation.....	97
ANNEXE 2: Présentation des modèles utilisés pour les variables décrivant les performances de lactation, d'évolution de l'état corporel, de reproduction et de longévité et carrière.....	98
ANNEXE 3 : Variables classifiantes utilisées par OLLION et al (2016) dans la méthode de caractérisation des compromis entre fonction biologique.....	99
ANNEXE 4 : Variables classifiantes utilisées par CLOET (2015) dans la méthode de caractérisation des compromis entre fonctions biologiques.....	99
ANNEXE 5 : Variables explicatives conservées et leurs effets dans les modèles d'analyse des performances de lactation, reproduction, NEC et santé des vaches laitières de l'installation expérimentale de Mirecourt.....	100
ANNEXE 6 : Effets des variables explicatives sur les performances de reproduction et de santé estimés par les modèles de régression logistique choisis dans l'étude.....	101
ANNEXE 7 : Courbes de lactations des moyennes brutes hebdomadaires en fonction du mois de vêlage dans le SH.....	103
ANNEXE 8 : Résultats de l'ACP réalisée dans la méthode de caractérisation des profils de compromis intégrant les données sanitaires.....	103

## INTRODUCTION

En France, au sortir de la seconde guerre mondiale, l'agriculture prend un nouvel élan. La demande en denrées alimentaires à des prix acceptables est croissante et les politiques agricoles européennes encouragent alors l'augmentation de la productivité agricole. Les exploitations se spécialisent et s'intensifient afin d'augmenter la production laitière individuelle. Cet objectif va être permis par la large diffusion de la race Holstein (Pflimlin & Faverdin 2014), l'amélioration des conditions d'élevage et l'adaptation de l'alimentation de ces animaux. En effet, durant toutes ces années, l'augmentation de la production laitière n'a pas été totalement associée à une augmentation de la capacité d'ingestion des animaux. Le potentiel laitier des vaches laitières ne peut alors être exprimé qu'avec une alimentation plus riche en aliments concentrés (Peyraud et al. 2009).

Ce type d'alimentation animale basée sur une quantité importante d'intrants (céréales, tourteaux d'oléo-protéagineux) et l'intensification de l'élevage sont aujourd'hui discutés. La fluctuation importante des marchés des denrées agricoles fragilise la durabilité économique des élevages laitiers à hauts niveaux d'intrants. De plus, l'attribution de ressources céréalières aux animaux de production peut être perçue comme un gaspillage nutritionnel (Peyraud et al. 2009). Enfin, la concentration territoriale des élevages intensifs dans certaines régions comme en Bretagne est également un risque de pollution, notamment de l'eau (Raison et al. 2008).

Face à ces constats, les acteurs de l'agriculture s'organisent. Des méthodes d'agriculture alternatives se développent. Que l'on parle d'agroécologie (Dumont et al. 2013), de permaculture ou d'agriculture biologique, ces méthodes alternatives visent toutes un objectif global : la durabilité de nos systèmes d'alimentation. En pratique, cet objectif se traduit par une impressionnante diversité et une plus grande complexité des systèmes et des modes d'élevage.

Pour être économiquement viables, socialement acceptables et écologiquement responsables, en un mot durables, certains systèmes se tournent vers une production laitière autonome et à bas intrants. L'autonomie est basée sur l'utilisation unique des ressources de l'exploitation pour nourrir les animaux permettant ainsi de réduire l'utilisation d'intrants (Delaby et al. 2009). Les systèmes visant l'autonomie alimentaire sont d'abord construits à partir d'une vision agronomique (Coquil et al. 2009). Le système d'élevage est réfléchi en fonction des potentialités du milieu et non l'inverse. En France, dans ces conditions, l'herbe pâturée est le fourrage le plus économe disponible comme en Irlande et en Nouvelle-Zélande où les coûts de production laitière sont les plus bas du monde. La durabilité de ces systèmes pâturants repose alors sur leur capacité à être adaptés aux contraintes de leur milieu et à pouvoir résister aux aléas que celui-ci peut imposer, aléas qui risquent d'être de plus en plus nombreux à l'avenir (GIEC 2013). La robustesse des systèmes d'élevage est alors un enjeu majeur et à l'heure actuelle, les acteurs du terrain s'interrogent sur la façon de l'améliorer (Beguin et al. 2016). La composante animale constitue un pilier non négligeable sur lequel elle s'appuie (Blanc et al. 2013).

En systèmes laitiers herbagers bas intrants, le choix de la race des vaches laitières est au cœur des préoccupations. Cette considération est également rappelée dans le cahier des charges de l'agriculture biologique (Règlement R(CE) n°834/2007) qui stipule que ce choix doit être fait selon l'adaptation des animaux « aux conditions locales ». Dans les systèmes herbagers autonomes, l'expression maximale du potentiel laitier n'est pas possible pour les vaches hautes productrices nécessitant une alimentation plus énergétique (Peyraud et al. 2009), et les mauvaises performances de reproduction de ces animaux (Fiorelli et al. 2010) remettent en question leur capacité à pérenniser le système.

Ainsi la question soulevée aujourd'hui est de savoir quelle est la capacité réelle des trois principales races de vaches laitières françaises spécialisées à répondre aux objectifs des systèmes herbagers autonomes et quels sont les leviers zootechniques à la portée des éleveurs pour atteindre le meilleur compromis race – système. (Peyraud et al. 2009).

Au-delà du choix de la race, la sélection des animaux doit se faire sur leurs capacités adaptatives pour assurer la pérennité des systèmes autonomes (Blanc et al. 2013). Plutôt qu'une productivité laitière importante, c'est la robustesse des animaux qui est cherchée aujourd'hui (Phocas et al. 2014). Cependant, l'étude des capacités adaptatives est complexe et peu de méthodes existent à l'heure actuelle pour les caractériser (Ollion et al. 2016). Ces méthodes sont en voie de développement et, bien que cruciales comme composante de la robustesse des animaux, la santé n'y est encore que très peu prise en compte.



# ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

## **I - Aptitudes recherchées chez les vaches laitières conduites en système autonome herbager, à bas intrants ou en agriculture biologique**

Les aptitudes animales recherchées en système autonome herbager à bas intrants ou AB sont bien décrites dans la littérature. Elles portent d'abord sur de bonnes performances de reproduction, une production laitière adéquate mais également des performances de santé répondant au cahier des charges de l'AB et une bonne longévité.

### **I-1) Des performances de reproduction exigeantes : l'exemple de l'Irlande**

En Irlande, où les systèmes herbagers sont majoritaires (Brocard et al. 2008) et particulièrement rentables (You & Monniot 2013), l'objectif est de faire coïncider la période où le troupeau a les plus gros besoins nutritionnels avec la période où le pâturage est en possibilité de couvrir au mieux ces besoins (McCarthy et al. 2013). Cette période est le printemps (Dillon et al. 1995). La stratégie d'élevage adéquate consiste alors à grouper les vêlages sur des périodes courtes voire très courtes grâce à une saison de reproduction n'excédant pas 100 jours (McCarthy et al. 2013). Butler et al. (2014) rappellent les points clés pour atteindre cet objectif. Ainsi 90% des vêlages doit avoir lieu sur une période de 6 semaines à la fin de l'hiver ce qui n'est permis que par une saison d'insémination inférieure à 12 semaines. Au début de la saison d'insémination, l'ensemble des vêlages doit avoir eu lieu et 70% des vaches doivent présenter une bonne cyclicité des chaleurs. Tout retard pris sur la saison d'insémination de l'année n sera du temps perdu sur celle de l'année n+1. Ainsi, plus de 90% des vaches doivent recevoir la première insémination artificielle dans les 21 premiers jours de la saison de reproduction. L'objectif de gestation est de 70% dans les six premières semaines et de 90% dans les 12 premières semaines.

Cette stratégie est efficace car la saison de pâturage permise en Irlande est longue, les lactations sont courtes car la production laitière réglée sur la pousse de l'herbe, est stoppée quand le pâturage n'est plus permis (Brocard et al. 2008). Ainsi les besoins en trésorerie fourragère pour l'hiver sont faibles, les vaches sont tarées à cette période.

Toutefois, ces objectifs sont à adapter à la diversité des systèmes existants. Ainsi, notamment en France, la part de l'herbe dans la ration des vaches laitières en système herbager est variable. Rien qu'en Bretagne, six types de systèmes fourragers ont été distingués (Brocard et al. 2008) avec une durée variable de la saison de pâturage et de la part de maïs dans la ration. Néanmoins, même si les objectifs visés ne sont pas aussi ambitieux qu'en Irlande, les performances de reproduction doivent être optimales pour permettre aux éleveurs d'adapter leur conduite d'élevage aux potentialités permises par l'herbe.

Des performances de reproduction optimales permettant des vêlages groupés sont nécessaires pour une valorisation optimale du pâturage.

## **I-2) Une production laitière la plus économe possible**

L'expression maximale du potentiel laitier des animaux n'est pas souhaitée ni souhaitable dans les systèmes à bas intrants (Brunschwig et al. 2001). En effet, les vaches laitières hautes productrices atteignent des productions laitières importantes grâce à l'utilisation de concentrés. Or dans les systèmes décrits, la production laitière doit être permise majoritairement par les ressources du milieu (Fiorelli et al. 2010). Ainsi, l'animal recherché est plutôt un animal efficace dans la transformation des fourrages en lait, exprimant pour cela une efficacité alimentaire optimale exprimée en kg de lait produit par kg d'herbe ingérée. Faverdin et al. (2007) définissent l'animal le plus efficace comme celui qui produit le plus de lait ou de matières utiles par kg de poids vif ou métabolique. Ce type d'animal est supposé avoir des besoins d'entretien moindres pour une production équivalente. Mais des études sont contradictoires sur ce paramètre, le seul point soutenu par Thomet et al. (2006) est que les animaux plus légers produisent plus à l'hectare car le chargement peut être augmenté. L'efficacité du système est alors décrite comme la production maximale de lait et de matière utile par hectare (Mccarthy et al. 2013). Une caractéristique des animaux les plus efficaces seraient également de présenter une courbe de lactation avec une bonne persistance et un pic de lactation plus écourté afin de ne pas mobiliser les réserves corporelles de manière excessive (Peyraud et al. 2009, Bedere 2016).

Cependant, là encore, la situation est à adapter au contexte. Ainsi dans des situations particulières, d'amélioration du prix du lait ou de concentrés disponibles ; où la production laitière souhaiterait être augmentée, il peut être intéressant que les animaux soient capables de réagir efficacement à l'ajout de complément dans leur alimentation (Peyraud et al. 2009). Ainsi les animaux recherchés doivent tout de même présenter un bon potentiel laitier.

La vache recherchée est une vache efficace dans la transformation des fourrages en lait et capable de valoriser efficacement tout ajout de concentrés dans la ration.

## **I-3) Un état sanitaire souligné par le cahier des charges AB**

La santé animale est au cœur des préoccupations des systèmes biologiques et herbagers. Les normes relatives au bien-être et à la santé animale sont contraignantes en AB (Règlement R(CE) n° 834/2007). La fédération internationale du mouvement de l'AB (IFOAM) stipule son importance ; l'agriculture biologique doit « soutenir et promouvoir la santé des sols, des plantes, des animaux, des hommes et de la planète » et « plus que l'absence de maladies », la santé « inclut la préservation d'un bien-être physique, mental, social et écologique » (IFOAM). Les consommateurs, également, associent l'agriculture biologique et le pâturage au bien-être des animaux (Shafie & Rennie 2012) et maintenir des animaux en bonne santé assure aussi la qualité des produits animaux avec des risques zoonotiques mieux maîtrisés.

L'abord de la santé animale en agriculture biologique est décrit comme différent de ce qui peut être observé en agriculture conventionnelle (Cabaret & Nicourt 2009). Les principes de l'AB visent à privilégier les mesures préventives. Au-delà de la pathologie c'est l'état de déséquilibre qui doit être évité. Dans l'ordre des traitements privilégiés par le cahier des charges, les traitements alternatifs sont en tête (Cabaret & Nicourt 2011). Ainsi l'homéopathie ou la phytothérapie seront souvent mises en place avant l'appel du vétérinaire pour la prescription d'un traitement allopathique. Les éleveurs sont décrits comme les principaux acteurs de la santé de leur troupeau. En France, les interactions entre les éleveurs en agriculture biologique et les vétérinaires sont jugées insuffisantes par les deux parties. (Duval et al. 2016; Duval et al. 2017). Les vétérinaires n'ayant que peu d'élevages avec ce type de gestion sanitaire dans leur clientèle, ils sont moins expérimentés pour répondre aux attentes des éleveurs biologiques.

Ainsi malgré les objectifs affichés, des études menées dans différents pays européens ne mettent pas en évidence des prévalences de troubles sanitaires moindres en élevage biologique qu'en élevage conventionnel. (Kijlstra & Eijck 2006; Krieger et al. 2017; Blanco-Penedo & Emmanuelson 2012). Krieger et al. (2017), ont observés une grande variabilité de prévalence des maladies de production au sein et entre chacun des pays étudiés (France, Allemagne, Espagne et suisse). Les résultats sont même parfois contradictoires car la comparaison des performances de santé de deux types de systèmes différents est difficile (Hovi et al. 2003). La différence de prévalence des mammites par exemple n'a pas la même tendance dans toutes les études mais d'une manière générale la santé des mamelles n'est pas décrite comme différente entre l'AB et l'agriculture conventionnelle (Müller & Sauerwein 2010; Garmo et al. 2010; Kijlstra & Eijck 2006).

La gestion de la santé animale en AB doit être renforcée. La promotion du dialogue entre les différents acteurs est nécessaire pour le bien être des vaches laitières.

#### **I-4) La longévité : un gage de durabilité**

Gage de durabilité économique et écologique des élevages laitiers (Peyraud et al. 2009), la longévité des animaux est une aptitude recherchée. Elle permet de réduire la taille du troupeau de génisses, le chargement et ainsi les rejets azotés (Disenhaus et al. 2005). Les coûts d'élevage sont également diminués et la trésorerie fourragère est conservée.

Brochard et al. (2013) aborde la longévité de manière fonctionnelle. La longévité fonctionnelle aussi appelée durée de vie productive correspond alors à la durée entre le 1<sup>er</sup> vêlage et la réforme. Elle est fragilisée d'abord par la dégradation des performances de reproduction, premier critère de réforme des vaches laitières françaises (Disenhaus et al. 2005). D'autres critères comme la survenue de troubles sanitaires, mammites ou boiteries (Booth et al. 2004) diminuent également les chances de maintien de l'animal dans l'élevage.

En système pâturant, des animaux présentant une meilleure longévité renforce la durabilité du système.

#### **I-5) Bilan**

Au bilan, la vache « idéale » en système pâturant biologique est beaucoup décrite dans la littérature. Ce doit être un animal efficace dans la transformation des fourrages en lait (Peyraud et al. 2009), capable de s'adapter aux ressources du système et non l'inverse. Elle doit pouvoir se reproduire dans un intervalle de temps limité (Butler 2014), de maintenir un état corporel suffisant tout en gardant un état sanitaire lui assurant un bien-être optimal (Règlement R(CE) n°834/2007) et ce sur plusieurs lactations grâce à une bonne longévité fonctionnelle (Brochard et al. 2013)

## **II - Capacités des vaches laitières des trois principales races françaises à répondre à ces exigences**

La partie précédente souligne le caractère pluri-compétent de la vache idéale en système autonome. Cette vache doit donc présenter des performances équilibrées (Delaby & Fiorelli 2014). En France, les trois principales races laitières ont été plutôt spécialisées car elles ont été sélectionnées sur la production laitière. Cela remet-il en cause leur capacité à répondre aux exigences de ces systèmes ?

### **II-1) Performances de reproduction**

En France, le regroupement des vêlages sur une période aussi courte qu'en Irlande est peu développé. Les laiteries souhaitent une livraison laitière étalée sur toute l'année. La part importante du maïs sous forme conservée dans l'alimentation des animaux facilite l'alimentation hivernale (Delaby & Fiorelli 2014). De plus, les vaches laitières ont des difficultés à se reproduire dans les temps.

En effet, la sélection sur performance de lactation a entraîné une dégradation des performances de reproduction au cours des dernières décennies (Bedere et al. 2016). Barbat et al. (2005) montrent que la fertilité en première IA des multipares de 45% en 1995 est descendue en dessous de 40% en 2003 en race Holstein. Cette dégradation des performances de reproduction existe également chez la Normande et la Montbéliarde bien que moins marquée. Les données des expérimentations système du Pin au Haras et de Mirecourt montrent que le taux de gestation est meilleur en race Normande et en Montbéliarde qu'en race Holstein (Tableau 1).

De plus, dans les systèmes uniquement basés sur le pâturage, tout aléa climatique peut être source de variabilité de la qualité et de la quantité des fourrages (Delagarde & Peyraud 2013). Ainsi il n'est pas rare d'y observer un déficit énergétique en début de lactation très important. Là encore, les animaux de race Holstein sont les plus impactés (Dillon et al. 2003). Ils perdent alors beaucoup d'état corporel au détriment de leur reproduction ou de leur état sanitaire (Blanc et al. 2004). Au sein de l'expérimentation système de Mirecourt où un système herbager a été conduit de 2004 à 2015, ce sont également les mauvaises performances de reproduction des Holstein qui ont failli remettre en cause la pérennité du système en 2006 (Gouttenoire et al. 2010). De 2007 à 2009 alors que le taux de gestation des Montbéliardes n'est jamais descendu en dessous de 74 %, celui des Holstein descend jusqu'à 50% (Fiorelli et al. 2010; Coquil et al. 2009).

Ainsi les races mixtes comme la Montbéliarde et la Normande supportent mieux les systèmes alimentaires restreints (Delaby & Peyraud 2009). A partir des données de l'expérimentation système « quelle vache pour quel système ? » menée sur le domaine INRA du pin au haras, Bedere et al. (2015) ont montré que les vaches Normande présentaient un meilleur taux de vêlage dans le système bas en alimentation que les Holstein (46% contre 32%) et ce grâce à une meilleure stratégie d'adaptation leur permettant de préserver leur capacité reproductive en limitant la production laitière et la perte d'état corporel (Tableau 1).

**Tableau 1 : Performances des vaches laitières au cours des expérimentations menées sur les domaines INRA du Pin au Haras et de Mirecourt : reproduction et variation de la NEC d'après Delaby et Fiorelli (2014).**

Site expérimental	Le Pin-au-Haras (38 lactations)				Mirecourt (62 lactations)			
	Holstein		Normande		Holstein		Montbéliarde	
<b>Systèmes ou alimentation</b>	Haut <sup>1</sup>	Bas <sup>2</sup>	Haut <sup>1</sup>	Bas <sup>2</sup>	SPCE <sup>3</sup>	SH <sup>4</sup>	SPCE <sup>3</sup>	SH <sup>4</sup>
<b>Durée et période de vêlages</b>	90 jours de Janvier à Mars				105j Août à Novembre	101j janvier à avril	98j aout à novembre	95 j Janvier à Avril
<b>Taux de réussite en 1<sup>ère</sup> IA (%)</b>	28	20	41	38	33	28	43	39
<b>Taux de vêlage</b>	59	44	71	68	71	52	83	67
<b>Perte d'état max (NEC)</b>	-1,00	-1,25	-0,60	-0,90	-0,90	-1,20	-0,70	-0,90

<sup>1</sup>Haut intrant : début de lactation : ensilage de maïs, luzerne déshydratée et 30% de concentrés. Puis ensilage d'herbe ou 35 ares d'herbe pâturée par vache avec 4 kg de concentrés et 5 kg d'ensilage de maïs. <sup>2</sup>Bas intrant : Alimentation hivernale (90j) : ensilage d'herbe sans concentré. Puis 55 ares d'herbe pâturée par vache ou ensilage d'herbe.

<sup>3</sup>SPCE (2006-2008): Système Polyculture Elevage en agriculture biologique. Alimentation hivernale : foin et complémentation avec un mélange céréales-protéagineux (4kg par jour par vache). Puis 52 ares d'herbe pâturée par vaches.

<sup>4</sup>SH (2005-2008): Système Herbager en agriculture biologique. Alimentation hivernale : foin sans aliments concentrés. Puis 75 ares d'herbe pâturée par vache sans apports (125j) + foin au printemps (75j) et à l'automne (50j).

Les difficultés de reproduction de la race Holstein remettent en cause sa capacité à correspondre aux exigences des systèmes herbager. Cela au profit des races Montbéliarde et Normande capable de se reproduire plus facilement au cours d'une saison courte et de maintenir leur réserve corporelle.

## II-2) Efficacité laitière en système pâturant

Les efforts de sélection génétique de la race Holstein sur les performances de lactation lui permettent aujourd'hui de produire plus de 8000 kg en moyenne sur 305j de lactation (Idele 2016). Ces productions sont plus faibles chez la Normande (5 900 kg) et la Montbéliarde (6 600 kg). Néanmoins la capacité d'ingestion des Holstein n'a pas suivi la même augmentation que le potentiel laitier. Ainsi, avec une alimentation uniquement à base d'herbe sans concentrés, les Holstein sont les animaux dont la production laitière est la plus éloignée de leur potentiel. Les résultats des expérimentations du Pin au Haras (Cutullic et al. 2011) et de Mirecourt (Coquil et al. 2009) montrent cette tendance. Dans ces deux situations, les vaches Holstein sont caractérisées par des variations de la production laitière plus importantes que les deux autres races (Tableau 2) et malgré cette variation les vaches Holstein restent les animaux produisant le plus de lait.

Ainsi les Holstein présentent une importante réactivité, qui peut être à la fois perçue comme un défaut et une qualité. Bien que leur potentiel soit important, elles ne sont pas efficaces au point de l'exprimer avec du fourrage seulement. Mais cette réactivité peut présenter un intérêt, car en cas d'amélioration de leur alimentation (plus de fourrages, apport de céréales), leur aptitude à réagir est plus importante (Peyraud et al. 2009).

**Tableau 2 : Résultats des expérimentations systèmes INRA menées au Pin au Haras et à Mirecourt : Performances de production laitière, d'après Delaby et Fiorelli 2014**

Site expérimental	Le Pin-au-Haras (38 lactations)				Mirecourt (62 lactations)			
	Holstein		Normande		Holstein		Montbéliarde	
Race	Haut <sup>1</sup>	Bas <sup>2</sup>	Haut <sup>1</sup>	Bas <sup>2</sup>	SPCE <sup>3</sup>	SH <sup>4</sup>	SPCE <sup>3</sup>	SH <sup>4</sup>
<b>Lait produit sur 44 semaines (kg/vache)</b>	8515	6022	6332	4798	6302	5637	5207	5025

<sup>1-4</sup> voir définition tableau 1.

La productivité laitière de la race Holstein reste supérieure en système pâturant à celle des vaches de race Montbéliarde et Normande.

### II-3) Performance de longévité et de santé

Les médiocres performances de reproduction de la Holstein entraînent une diminution exacerbée de sa longévité dans les systèmes en vèlages groupés. En effet, dans ce type de système tout animal non gestant doit être éliminé (Delaby & Fiorelli 2014). Miller et al. (2008) ont mis en évidence que les animaux à fort potentiel de production présentent un taux de mortalité plus élevé que ceux de potentiel laitier moindre. Les vaches de race Holstein ont également une durée de vie productive plus courte que des animaux croisés Holstein\*Normande ou Holstein\*Montbéliarde (Heins et al. 2012).

La longévité des vaches de race Holstein est moins bonne que celles des vaches de race Montbéliarde et Normande.

### II-4) Bilan

Déterminer la race de vache la plus adaptée aux systèmes herbagers et biologiques est délicat. La vache Holstein est la vache produisant le plus de lait même dans ces situations limitant l'expression de son potentiel. Néanmoins, cela se fait au prix d'une perte d'état importante et de médiocres performances de reproduction. A l'inverse les races mixtes sont plus prolifiques mais moins bonnes productrices et leurs productions laitières sont moins réactives à une amélioration des conditions du milieu. Dans ce contexte, de nombreux travaux restent encore à faire. Des croisements entre races sont également testés (Vance et al. 2013; Heins & Hansen 2012).

## III - Caractériser et évaluer la robustesse de la vache laitière

Dans le cadre de la recherche de la vache la plus adaptée aux différents systèmes c'est également la robustesse des animaux qui est discutée aujourd'hui et dont on tente de comprendre les mécanismes. On attend des animaux d'être capable de s'adapter aux contraintes de leur milieu mais on connaît mal les déterminants de cette capacité, ce à quoi il semble nécessaire de remédier en perspective d'une sélection future des animaux sur ce trait. (Blanc et al. 2010).

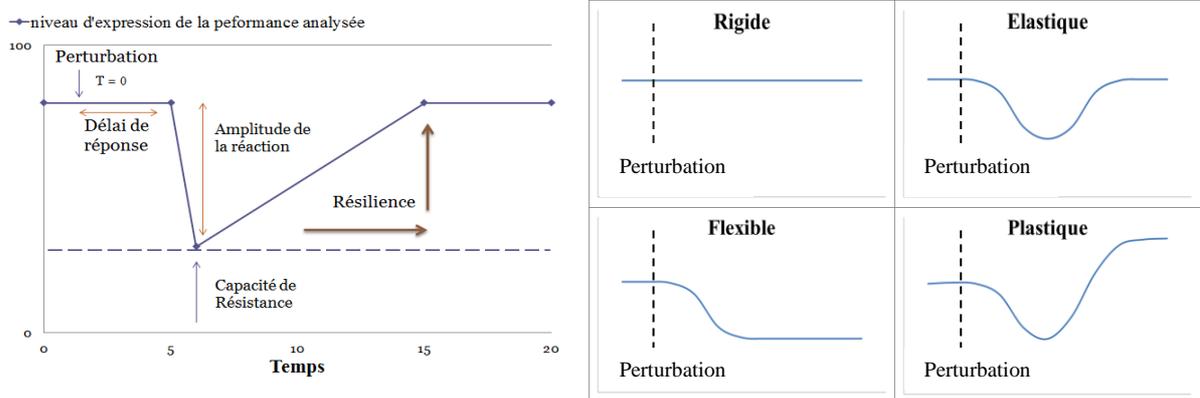
### III-1) Définition de la robustesse

La notion de robustesse est employée dans plusieurs disciplines scientifiques. Diverses définitions sont ainsi disponibles dans chaque domaine, et bien que le socle commun reste le même, ce terme est parfois source de confusions (Sauvant et Martin 2010).

### III - 1 - 1 - Robustesse et diversité des réponses adaptatives.

Au sein des sciences animales, on distingue ainsi plusieurs niveaux de définition. La robustesse du point de vue génétique a été décrite comme l'aptitude d'un animal à exprimer une performance de manière constante et indépendante des conditions du milieu (Bodin et al, 2010). Knapp (2005) désigne les animaux robustes comme des animaux capables de maintenir, en particulier, un haut niveau de production dans des environnements variés. Si l'on s'en tient à cette définition, l'évaluation et l'approche de la robustesse paraît simple. Elle peut être basée sur l'étude d'un seul caractère mesurable, à partir duquel on observe la réaction adaptative de l'animal soumis à une perturbation.

Sauvant et Martin (2010) décrivent les caractéristiques attendues d'une réaction d'adaptation face à une perturbation au sein d'un système biologique. Le type de réaction observable peut traduire la rigidité, la flexibilité, l'élasticité ou la plasticité du système d'étude (Sauvant et Martin, 2010). Si on considère l'animal comme un système d'étude, avant toute perturbation le système est à l'état d'équilibre. La survenue d'une perturbation entraîne une réponse, initiée à la suite d'un délai de réaction (Figure 1a). L'amplitude de la réponse varie selon la durée et l'intensité de la perturbation mais aussi de la capacité de résistance du système. La notion de résilience désigne ensuite la capacité du système à retourner à un état d'équilibre.

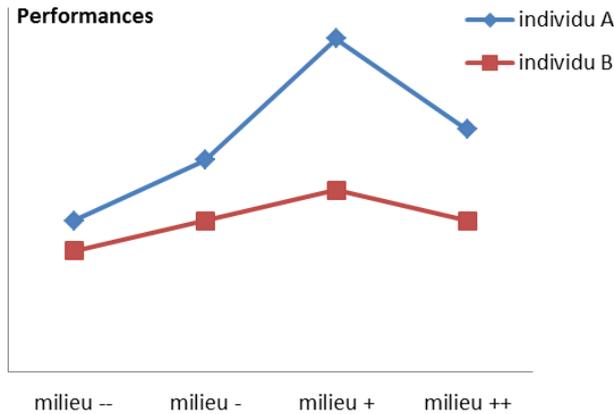


**Figure 1 : Caractéristique (a : à gauche) et diversité de la dynamique (b : à droite) d'une réaction adaptative observée en réponse à la survenue d'une perturbation d'après Sauvant et Martin (2010).**

On peut observer plusieurs types de réponses adaptatives d'un système face à une perturbation (Sauvant & Martin 2010) (Figure 1b). Soit la réponse consiste à résister, la performance étudiée n'est pas modifiée. Soit la réponse du système consiste à modifier sa performance de manière plastique ou flexible. De manière flexible, cela correspond à une modification permanente de la performance. De manière élastique, la modification est temporaire et suivie du retour au niveau basal. Soit la réponse consiste à se transformer, la performance est modifiée par la perturbation et à son arrêt un nouveau niveau d'expression apparaît différent du niveau basal et du niveau atteint pendant la perturbation.

### III - 1 - 2 - Définition à l'échelle de la performance : une approche incomplète

Une étude néozélandaise analyse la sensibilité d'un animal à son environnement via l'étude d'une de ses performances. L'approche repose alors sur le concept de « norme de réaction ». (Bryant et al. 2006). La robustesse y est quantifiée grâce à la pente de la norme de réaction d'une performance dans des milieux variables (Figure 2). Sur la Figure 2, l'individu B sera considéré comme plus robuste que l'individu A.



**Figure 2 : Normes de réaction en milieu variés d'après Bryant et al (2006)**

En suivant ce principe, la robustesse se rapproche de la notion de résistance. Mais cette vision est très incomplète. Sauvant et Martin (2010) soulignent que dans la réalité, bien que chaque performance d'un animal sera modifiée selon une trajectoire précise, les trajectoires prises par les différentes performances de l'animal sont diverses et peuvent être liées.

S'intéresser à une seule performance ne met pas évidence les conséquences d'une perturbation sur les autres fonctions biologiques de l'animal. Le maintien de la performance observée constitue un coût énergétique pour l'animal et peut se faire au détriment d'autres fonctions (Blanc et al. 2013). Ainsi l'approche monocritère ne donne pas une définition biologique acceptable car elle ne prend pas en compte l'intégralité des régulations biologiques sous-jacentes en jeu en cas de perturbations (N C Friggens et al. 2010).

### **III - 1 - 3 - La robustesse est basée sur un ensemble de performances à prendre en compte.**

On trouve deux types de définition plus globale de la robustesse dans la littérature :

- La Fitness : Dans l'approche physiologique de l'animal, Bodin et al. (2010) associent à la robustesse la notion de fitness, qui est l'aptitude à transmettre ses gènes à la génération suivante malgré les diverses contraintes qui peuvent être imposées par l'environnement.
- La Survie : La robustesse est la capacité d'un animal à survivre dans un environnement soumis à des perturbations (Friggens et al 2010).

Deux mécanismes de régulation sont mis en jeu. L'homéorhèse décrit la capacité de survie d'une espèce. Elle correspond à l'échelle individuelle à la capacité à se reproduire (Sauvant et Martin, 2010). La survie de l'organisme considéré est permise par les régulations d'homéostasie, liée à la capacité de retourner à un état d'équilibre après une perturbation, la résilience, via des régulations physiologiques et comportementales (Sauvant et Martin. 2010). La réponse adaptative d'un animal est alors décrite comme le fruit d'un équilibre entre les mécanismes physiologiques d'homéostasie et d'homéorhèse. La robustesse repose sur ces deux mécanismes et est donc une propriété qui repose sur l'ensemble des capacités adaptatives de l'animal (Blanc et al 2013) et ceux à différents niveaux d'organisation.

### **III - 1 - 4 - Décrire les mécanismes de régulation par le concept de compromis entre fonctions biologiques.**

Friggens et Newbold (2007) ont décrit les mécanismes de régulation en développant la théorie d'allocation des nutriments. Selon cette dernière, en situation limitante, certaines fonctions biologiques jugées prioritaires sont privilégiées au détriment de d'autres en termes d'allocation des nutriments. Cette priorisation est également à la base du concept de « trade offs » (compromis) (Blanc et al. 2013) qui défend l'idée que des compromis sont réalisés entre fonctions biologiques se'est-à-dire que toute augmentation de fitness d'un animal grâce au changement d'un trait est contrebalancée par une diminution de fitness liée au changement pour un autre trait.

Ainsi, la robustesse d'un animal est sa capacité à exprimer en situation limitante le « meilleur compromis dans l'allocation des ressources entre les différentes fonctions biologiques » (Phocas et al 2014). Pour les animaux d'élevage, cela se traduit par la capacité à maintenir un bon niveau de production tout en se préservant grâce à un état sanitaire et de bien être optimal et gardant la capacité à se reproduire et ce même en cas d'aléas.

### **III-2) Modalités d'évaluation de la robustesse**

Ainsi nombres de définitions et d'approches qualitatives de la robustesse existent aujourd'hui. Néanmoins si la sélection animale veut intégrer des critères de robustesse aux index, une approche quantitative est nécessaire ( Friggens et al. 2010).Au vue de la difficulté à définir la robustesse, son évaluation est elle aussi jugée complexe.

#### **III - 2 - 1 - Recommandations pour l'étude de la robustesse**

Plusieurs auteurs apportent des conseils pour l'étude qualitative de la robustesse :

- L'évaluation de la robustesse doit être réalisée en situation limitante : En situation de ressources non limitantes, l'animal peut améliorer sa production laitière sans détériorer ses autres fonctions biologiques. Les conditions nécessaires à l'évaluation de la robustesse sont alors des situations limitantes et/ou variables (Blanc et al, 2013), ce qui en complique la réalisation.
- L'évaluation de la robustesse doit être multicritère (Friggens et Newbold 2007).
- L'évaluation de la robustesse doit être dynamique : Face à une perturbation, la réponse d'une performance est dynamique et dépend de la capacité de résilience du système (Sauvant & Martin 2010). La robustesse en tant que capacité à faire face à une perturbation il faut que son évaluation prenne en compte toute l'évolution de la performance suite à une perturbation (Blanc et al. 2010) La robustesse doit donc s'analyser de manière temporelle et dynamique pour décrire au mieux les trajectoires adaptatives existantes (Phocas et al. 2014).

Deux travaux ont déjà approché la robustesse des vaches laitières en tenant compte de tous ces critères.

#### **III - 2 - 2 - Méthode développée par Sadoul et al. (2014)**

Sadoul (2014) a analysé la robustesse de manière multicritère chez la truite arc en ciel. Les données utilisées sont des mesures physiologiques et comportementales, obtenues en conditions contrôlées où les animaux étaient soumis à un stress unique et maîtrisé. Les mesures récoltées devaient permettre de traduire les différentes réponses adaptatives de l'animal face à ce stress imposé. Deux stratégies d'adaptation indépendantes ont bien été mises en évidence à la faveur de cette expérience. Une forte variabilité intra-lignée est également ressortie de l'étude, bien qu'inattendue, Sadoul (2014)

l'associe au fait que « l'histoire de vie » de l'animal influence l'importance de la perturbation subie par l'animal. A partir de ce travail, les auteurs envisagent la réalisation d'un modèle permettant de caractériser les cinétiques de réponse adaptatives face à des perturbations aiguës et adaptables à différentes espèces.

### **III - 2 - 3 - Méthode d'analyse des profils de compromis entre fonctions biologiques développée par Ollion et al. 2015**

Emilie Ollion en 2015 a proposé et testé une méthode dynamique et multi-trait d'évaluation de la robustesse chez la vache laitière. Cette méthode permet de mettre en évidence différents profils de compromis réalisés entre les fonctions biologiques impliqués dans la fitness des vaches laitières. Ollion et al (2016) précisent que la vache laitière constitue un cas d'étude intéressant de ces compromis car ses performances de production sont très réactives aux variations des conditions environnementales et cela permet d'obtenir des mesures intéressantes sur plusieurs indicateurs intéressants. Les fonctions biologiques impliquées dans la fitness de la vache laitière sont la reproduction (générer la génération suivante), la lactation (assurer la survie de la génération suivante) et la capacité individuelle à survivre. L'analyse conjointe de ces trois fonctions par la méthode proposée a permis de dissocier des profils de compromis différents dans la manière de les exprimer.

L'analyse est réalisée sur la période 0-90 jours post partum où le déficit énergétique est maximal (Ollion 2015).

Les données utilisées dans cette étude concernaient 334 lactations issues de trois expérimentations menées par l'INRA :

- Les expérimentations menées de 2000 à 2003 et de 2004 à 2012 sur la ferme expérimentale de Mirecourt.
- L'expérimentation menée de 2006 à 2011 sur le domaine du Pin au Haras.

Ces trois expérimentations portent sur des systèmes laitiers herbagers où les animaux doivent particulièrement mettre en jeu leurs capacités adaptatives.

A partir des données disponibles, les performances de lactation sont décrites à travers les données de production laitière. La reproduction est décrite de manière dynamique par la durée des intervalles entre le moment où l'insémination est possible et la première insémination ou l'insémination fécondante. La survie est appréhendée à travers les données de variation de la Note d'état corporel (NEC).

Grâce à cette méthode, Emilie OLLION a mis en évidence 4 profils de compromis entre fonctions biologiques exprimés par les vaches laitières. Le premier profil correspond à des animaux capables de maintenir toutes leurs performances à un niveau optimal. En revanche, les trois autres profils sont ceux d'animaux dont de forts compromis sont réalisés entre fonctions biologiques. L'un est caractérisé par la priorité donnée à la fonction de lactation au détriment du maintien de l'état corporel. Un autre favorise la reproduction au détriment de la production laitière et de l'état corporel. Le dernier profil mis en évidence montre que toutes les fonctions biologiques peuvent être dégradées en situation limitante. Ces profils sont le reflet de la diversité des stratégies d'allocation des ressources de l'organisme entre les fonctions impliquées dans la fitness de l'animal.

Afin de chercher les déterminants de la robustesse, les caractéristiques des animaux exprimant les différents profils de compromis ont été recherchées comme la race, le rang de lactation et le niveau d'alimentation. Il ressort que le profil de compromis exprimé par une vache ne peut pas être prédit par ses caractéristiques de race, rang de lactation ou de niveau d'alimentation.

### **III - 2 - 4 - Apports complémentaires de Cloet (2015)**

Cette méthode a également été utilisée par Estelle CLOET (Cloet 2015) . Elle a réalisé la même analyse sur un jeu de données plus important qui comportait 490 lactations issues de l'expérimentation menée sur le domaine INRA du Pin au Haras de 2006 à 2013. Deux autres différences majeures sont à noter entre les deux analyses :

- Estelle CLOET a travaillé sur la période de 0 à 150 jours post partum afin de pouvoir décrire plus finement les dynamiques d'évolution de la note d'état corporelle. En effet, sur cette période, la vache commence à reprendre de l'état.
- De plus, les variables utilisées pour décrire la production laitière ont été calculées à partir de la production de matière utile des animaux.

An bilan 5 profils de compromis entre fonctions biologiques ont ainsi été mis en évidence renforçant l'hypothèse qu'une grande variété de compromis existe et que le type de compromis exprimés par les vaches laitières ne peut pas être expliqués seulement par leur race, leur parité ou leur niveau d'alimentation. De plus, l'index génétique n'apporte pas plus d'explication.

Ces résultats contribuent à approuver l'utilité de cette méthode multi-variée et dynamique. Seule la prise en compte de plusieurs fonctions biologiques peut apporter un éclairage sur les interactions entre ces fonctions au sein de l'organisme et leur impact sur la robustesse.

### **III-3) Santé et Robustesse : peu d'approches quantitatives à l'heure actuelle**

La santé est au cœur des préoccupations des éleveurs en systèmes herbagers autonomes et en AB. Les résultats d'enquêtes sur la robustesse réalisées auprès d'éleveurs par Ollion (2015) ont montré que pour eux, la santé est un pilier important de la robustesse : certains associent robustesse et immunité ; pour 23 éleveurs sur 39, une vache robuste est une vache avec de bons aplombs et 19 évoquent la résistance générale aux maladies et la capacité à ne pas tomber malade. Des auteurs soulignent également ce lien dans d'autres types de production animale (Star et al. 2008). Aujourd'hui les index de sélection prennent déjà en compte des critères fonctionnels de santé, comme la résistance aux mammites depuis 1997 (Bonaiti et al. 2005).

Pourtant, à l'heure actuelle aucune approche multicritère et dynamique de la robustesse ne permet de prendre en compte la santé dans l'étude de la robustesse des vaches laitières.



# ETUDE PERSONNELLE

## I - CADRE ET OBJECTIFS

### I-1) CADRE

Le projet AgriBio a été lancé par l'INRA en 2000 avec l'objectif de promouvoir des programmes de recherche en agriculture biologique et favoriser le transfert des résultats au monde interprofessionnel (Le Pensec 2000). En 2014, il est reconduit pour la 4<sup>ème</sup> fois, sous l'appellation AgriBio4. Ce dernier vise à caractériser les performances de l'AB pour accompagner son développement et répondre aux défis techniques et systémiques de la production et de la transformation (Savini & Penvern 2016). Le projet ENSEMBLE, Evaluation pour l'action des systèmes agricoles en AB, est piloté par l'unité INRA ASTER de Mirecourt et fait partie des 11 projets financés par le programme AgriBio4.

L'objectif général de l'unité ASTER est de concevoir et évaluer des systèmes en AB autonomes et économes conçus à partir des potentialités de leur milieu (Coquil et al. 2009). Ces systèmes se veulent durables agro-écologiquement mais aussi économiquement et socialement en gagnant notamment en indépendance alimentaire des troupeaux, via une valorisation optimale du pâturage, en indépendance énergétique (moins de carburant) et en réduisant la sensibilité aux fluctuations des marchés des intrants (Delaby & Fiorelli 2014).

C'est dans le but d'alimenter la réflexion autour des enjeux zootechniques que soulèvent ces systèmes biologiques autonomes que le projet ENSEMBLE rassemble alors des compétences via une collaboration entre plusieurs unités de recherche dans le cadre de cette étude :

- L'unité ASTER de l'INRA de Mirecourt porteuse du projet. Les données sur lesquelles va s'appuyer cette étude sont le fruit de l'expérimentation menée en son sein.
- L'unité PEGASE de l'INRA de Saint Gilles via l'encadrement de Luc DELABY.
- L'unité mixte de recherche BIOEPAR, de l'INRA et de l'école vétérinaire ONIRIS de Nantes grâce à l'encadrement de Nathalie BAREILLE.

### I-2) OBJECTIFS

Le premier objectif de cette étude est d'abord d'identifier les différences d'adaptation des vaches laitières de deux races différentes, Montbéliarde et Holstein au sein des deux systèmes autonomes testés sur l'installation expérimentale de Mirecourt. Les performances de lactation, de reproduction, de santé et de longévité des animaux des deux races au sein de ces systèmes seront analysées. Cette analyse devrait nous permettre d'apporter des pistes de réflexion sur la capacité de ces deux races à s'adapter à des systèmes aussi contraints.

Le deuxième objectif est de déterminer s'il est possible et de prendre en compte les données sanitaires dans la méthode d'analyse des profils de compromis entre fonctions biologiques développée par Ollion (2015). L'intérêt serait ainsi d'améliorer la caractérisation de la survie. En effet, dans les études précédentes (Ollion, 2016, Cloet, 2015), la survie n'est représentée que par des variables liées à l'état corporel des animaux. Une meilleure caractérisation de la fonction de survie pourrait permettre d'affiner la description des profils de compromis entre fonctions biologiques.



## **II - MATERIELS ET METHODES**

### **II-1) DISPOSITIF D'ETUDE ET DONNEES DISPONIBLES**

#### **II - 1 - 1 - Dispositif d'étude**

##### **II - 1- 1- (1) Description de l'installation expérimentale et des systèmes**

L'unité INRA ASTER de Mirecourt est située dans la plaine des VOSGES à 271m d'altitude. En 2004, une expérimentation-système en agriculture biologique y débute. Deux systèmes laitiers bas intrants visant l'autonomie sont créés, le Système Herbager (SH) et le Système PolyCulture Elevage (SPCE), à partir du troupeau laitier déjà présent conduit jusqu'alors en agriculture conventionnelle.

##### Le Système Herbager (SH).

L'alimentation des vaches laitières du système herbager est basée uniquement sur l'herbe tout au long de l'année. Le troupeau est constitué de 40 vaches laitières de race Holstein et Montbéliarde en essayant de maintenir à égale proportion les deux races. 78 hectares sont alloués à ce système. Cette surface intégralement en prairies permanentes permet une saison de pâturage d'en moyenne 248 jours (224 – 265) par an. La complémentation au champ et en hiver est réalisée uniquement grâce au foin. Les vaches vèlent de Janvier à Mai et pâturent à partir du mois d'Avril jusqu'au mois de Novembre pour faire coïncider la période de production maximale du troupeau avec celle de l'offre la plus importante en herbe.

##### Le Système Polyculture Elevage (SPCE).

L'autonomie du SPCE est basée sur l'utilisation optimale de la diversité des ressources présentes. 60 vaches laitières de race Holstein et Montbéliarde également réparties constituent le troupeau. 160 hectares composent ce système, 53 hectares en prairie permanente et 106 hectares en culture de céréales et protéagineux. Une partie des cultures est destinée à la vente pour la consommation humaine, l'autre permet la complémentation du troupeau. Dans le but de lisser la production de lait de l'installation expérimentale sur l'année, le système SPCE produit du lait, l'hiver, à l'inverse du SH. La période de vêlage visée s'étend d'Août à Novembre mais au cours de certaines campagnes les vêlages s'étalent jusqu'au mois de Février.

Une des particularités de cette expérimentation réside également dans la façon dont les problèmes rencontrés ont été intégrés aux décisions de conduite. L'unité ASTER a en effet réalisé des ajustements « pas à pas » face aux aléas rencontrés, dans le but de permettre la validation de modalités de conduite stratégiques et opérationnelles (Coquil et al. 2009).

##### **II - 1- 1- (2) Similitudes et différences dans la conduite des systèmes**

Les différences entre le SH et le SPCE en termes d'alimentation entraînent des différences de saison de reproduction et de nombre d'animaux présents. Néanmoins, la répartition des animaux et les autres facteurs d'expérimentation sont les mêmes (Tableau 3).

**Tableau 3 : Similitudes et différences dans la conduite du Système Herbager (SH) et du Système Polyculture Elevage (SPCE)**

	SH	SPCE
Nombre d'animaux	40	60
Race	Montbéliarde et Holstein équitablement réparties	
Saison de vêlage	Janvier - Mai	Août - Février
Saison de reproduction :	Avril - Juillet	Novembre - Mars
Période et durée	104 j	136 j
Alimentation	Pâturage 100 % herbe Foin et regain en complémentation hivernale	Pâturage et foin + mélange céréale – protéagineux en complémentation hivernale
Durée moyenne du pâturage	248 jours par an (224 – 265)	216 jours par an
Surface de pâturage par vache	75 ares	52 ares
Rang de lactation	Répartition plus ou moins équitable	
Saison de production laitière maximale	Fin de printemps - été	Hivernale
Age au premier vêlage	Objectif : 36 mois	

#### Conduite de la reproduction commune aux deux systèmes

Les inséminations artificielles sont réalisées par les techniciens d'expérimentation sur observation des chaleurs dont la détection est facilitée par l'utilisation de système KAMAR®.

Au sein de ces deux systèmes, chaque vache dispose d'une période de reproduction qui lui est propre. A partir de la date de début de la saison de reproduction définie chaque année, les vaches peuvent être inséminées à partir de 44 jours après le vêlage. Ainsi, les vaches vêlant tôt dans la saison de reproduction pourront déjà avoir dépassé le 44<sup>ème</sup> jour après le vêlage avant le début de la saison de reproduction. Ces vaches bénéficieront de la durée totale de la période de reproduction. A l'inverse, les vaches vêlant tard dans la saison de vêlage auront une période de reproduction écourtée.

Des diagnostics de gestation sont réalisés sur toutes les vaches non revues en chaleur à partir de 30 jours après l'insémination artificielle. A la fin de la saison de reproduction le devenir des vaches non gestantes est discuté. Certaines vaches sont alors amenées à ne pas être réformées mais à réaliser une lactation prolongée jusqu'à la saison de reproduction suivante.

#### Conduite sanitaire commune aux deux systèmes

Le suivi sanitaire du troupeau est réalisé par les techniciens d'expérimentation. Ils réalisent des parages individuels préventifs ou curatifs lorsque cela est jugé nécessaire. Selon le cahier des charges de l'agriculture biologique, les traitements allopathiques sont évités autant que possible. L'homéopathie est utilisée en premier recours et les techniciens sont formés à la préparation et l'utilisation de produit à base d'huiles essentielles.

## **II - 1 - 2 - Collecte et organisation des données**

### **II - 1- 2- (1) Collecte des données**

Les données étudiées ont été récoltées de septembre 2004 à janvier 2016. Au cours de ces onze années d'expérimentation, les données brutes concernant les performances des animaux, les événements majeurs et les prises de décision ont été enregistrées sur la base de données ALADIN développée sous Access.

#### Les performances laitières

Chaque vache laitière est équipée d'un collier permettant sa reconnaissance électronique individuelle en salle de traite. Grâce à ce système, la production laitière individuelle est enregistrée automatiquement à chaque traite et les données sont transférées automatiquement dans la base de

données ALADIN. Une fois par semaine, le mercredi, un échantillon de lait des deux traites est réalisé afin de déterminer individuellement les différents taux et composants du lait.

#### L'état corporel

Le poids vif et la note d'état corporel sont déterminés et enregistrés par les techniciens d'expérimentation une à deux fois par mois grâce à un boîtier électronique relié à la bascule et la grille de notation établie par l'Institut Technique de l'Élevage Bovin (Bazin & Augéard 1984). La première pesée est réalisée après le vêlage. Une double pesée est réalisée entre les 4<sup>ème</sup> et 6<sup>ème</sup> jours post-vêlage en sortie de salle de traite. Les pesées suivantes sont organisées en chantier de pesées collectives. L'hiver, période où les vaches sont alimentées en continu, elles ont lieu en début d'après-midi. En période de pâturage, les vaches sont pesées avant la traite de l'après-midi. Une double pesée est systématiquement réalisée lors de la mise à l'herbe et lors de la rentrée des animaux à l'automne.

#### Les performances de reproduction

Le suivi de la reproduction est réalisé par les techniciens d'expérimentation qui notent dans des carnets manuscrits les dates des chaleurs observées, des jours d'inséminations artificielles ou de saillies naturelles réalisées ainsi que les dates et difficultés de mise-bas. Ce suivi est complété par un vétérinaire qui réalise des diagnostics de gestation une à deux fois par mois.

#### Les évènements sanitaires

Chaque évènement sanitaire individuel ou collectif et, préventif ou curatif est rapporté par des notes manuscrites dans des agendas par les techniciens et est saisi informatiquement au fur et à mesure dans la base de données. Les informations rapportées concernent la description de la maladie, le traitement réalisé en termes de durée et de produits utilisés. Les informations manuscrites sont uniformisées au moment de la saisie informatique, afin que chaque maladie soit toujours nommée avec le même vocabulaire.

#### Les causes de réforme

Chaque réforme est décidée par les expérimentateurs en accord avec les observations des techniciens d'élevage et les besoins de l'expérimentation. Ces décisions sont saisies manuellement et au fur et à mesure dans la base de données. Les raisons peuvent être multiples, sanitaires, expérimentales (manque de fourrage), âge de l'animal.

## **II - 1- 2- (2) Organisation des fichiers.**

A partir de la base de données expérimentales ALADIN, une compilation réalisée sous Excel constitue le support des données de cette étude. Cette compilation comprend quatre fichiers Excel, un premier concernant les performances de lactation, un deuxième pour les performances de reproduction et les deux derniers contiennent les données sanitaires propres à chaque système.

Au sein du fichier des performances de lactation, chaque ligne correspond à une lactation. Au sein du fichier des performances de reproduction chaque ligne correspond à une campagne de reproduction par vache. Ainsi la lactation prolongée d'une vache, au cours de laquelle la vache est mise à la reproduction au cours de deux campagnes consécutives, correspond à deux lignes. Au sein des fichiers sanitaires, une ligne correspond à un traitement journalier réalisé en cas d'évènements sanitaires.

## II-2) ANALYSE DES EFFETS DE LA RACE ET DU SYSTEME

### II - 2 - 1 - Performances analysées

#### II - 2- 1- (1) Production laitière

L'étude des différences de production laitière entre races et entre systèmes est appréhendée via la production laitière totale cumulée sur 44 semaines, soit 308 jours. La production laitière au pic de lactation est également étudiée (Tableau 4). La composition du lait selon la race et le système de l'animal est analysée grâce à l'analyse des Taux Protéique (TP), Taux Butyreux (TB), et Taux de lactose (TL) moyens sur 44 semaines. Les quantités de matière grasse (MG), matière protéique (MP), matière utile (MU) et de lactose totales produites sur 44 semaines sont analysées, de manière brute puis ramenées au kg de poids vif. La production laitière totale est également calculée et étudiée en fonction de la production par kg de poids vifs. Le TP minimal atteint dans chaque race et chaque système est également étudié en tant que reflet du déficit énergétique subit par l'animal.

**Tableau 4 : Variables utilisées pour l'analyse de l'effet de la race et du système sur la production laitière**

Variable	Abréviation	Unité	Modèle statistique *
Production laitière totale sur 44 semaines	PLt44s		
Production laitière au pic	PLmax		
Production totale de matière grasse sur 44 semaines de lactation	MGt44s		
Production totale de matière protéique sur 44 semaines de lactation	MPt44s	kg	
Production totale de matière utile sur 44 semaines de lactation	Mut44s		
Production totale de lactose sur 44 semaines de lactation	Lat44s		A*
Taux butyreux moyen sur 44 semaines de lactation	TBm44s		
Taux protéique moyen sur 44 semaines de lactation	TPm44s	g/kg	
Taux protéique minimal atteint sur 44 semaines de lactation	TPmin		
Production laitière totale sur 44 semaines par kg de poids vif	PLt44s/kgPV	kg/ kg de poids vif	
Production totale de matière utile sur 44 semaines par kg de poids vif	Mut44s/kgPV	kg/100 kg de poids vif	

\* le codage réfère aux modèles définis ci-après dans la partie II – 2 – 3 -)

#### II - 2- 1- (2) Condition corporelle

La condition corporelle de chaque race au sein de chaque système est approchée par l'étude de la NEC et du Poids vif (PV). Le poids vif au vêlage et le poids vif moyen sur 44 semaines de lactation sont analysés. La NEC au vêlage, la NEC minimale atteinte au cours de la lactation ainsi que de la perte maximale de NEC entre le vêlage et la NEC mini, et le gain de NEC en période de reprise d'état en deuxième partie de lactation sont également comparés entre races et systèmes (Tableau 5).

**Tableau 5 : Variables utilisées pour l'analyse de l'effet de la race et du système sur la condition corporelle.**

Variable	Abréviation	Unité	Modèle statistique
Poids vif au vêlage	PVvel	kg	A*
Poids vif moyen sur 44 semaines de lactation	PVm44s		
Note d'état corporel au vêlage	NECvel		
Note d'état corporel minimale atteinte sur 44 semaines de lactation	NECmini	Note de 0 à 5 points	
Perte de Note d'état corporel maximale enregistrée sur 44 semaines de lactation	PerteNEC		
Gain de Note d'état corporel entre la NEC mini et la NEC à 44 semaines de lactation	GainNEC		

\* le codage réfère aux modèles définis ci-après dans la partie II – 2 – 3 -

### II - 2- 1- (3) Reproduction

Les variables quantitatives de reproduction correspondent à des intervalles en jours : l'intervalle vêlage-vêlage, l'intervalle entre le vêlage et la première insémination et l'intervalle entre le vêlage et l'insémination fécondante (Tableau 6). La particularité temporelle de ces systèmes avec une période de reproduction très courte oblige également à s'intéresser à des variables spécifiques. Ainsi une date de première insémination possible (Iposs) est attribuée à chaque animal. La date de première insémination possible est égale à la date de début de la saison de reproduction pour les animaux ayant vêlé tôt (plus de 44 jours avant). Pour les animaux ayant vêlé tardivement, elle correspond à la date de vêlage + 44 jours. Plusieurs intervalles sont ensuite calculés par rapport à cette date (Tableau 6) l'intervalle vêlage – insémination possible, l'intervalle insémination possible – première insémination et l'intervalle insémination possible - insémination fécondante.

D'autres variables de reproduction à expliquer sont des variables qualitatives de type binaire comme la fertilité à la première et la deuxième insémination (Tableau 6). Deux variables binaires permettent d'apprécier la fécondité des animaux : Gestation débutée ou non suite à la campagne de reproduction (GES) et Vêlage ou non suite à la campagne de reproduction (vêlé). Les causes d'arrêt de gestation comprennent ainsi les mortalités embryonnaires tardives, les mortalités fœtales ou les avortements.

Afin d'explorer la capacité des animaux à répondre pleinement aux objectifs des systèmes étudiés, on analysera également des variables plus temporelles de type : réalisation ou non de la première insémination dans les 21 premiers jours de la saison de reproduction (I-21j). De même dans les 42 premiers jours (I-42j). Puis on cherchera à décrire la capacité des animaux à être gestants ou non sur ces mêmes intervalles de temps (G21j et G42j).

Afin de déterminer si, malgré un vêlage tardif, certains animaux présentent de bonnes performances, il est également intéressant de s'attarder sur leur capacité à être inséminés rapidement dès qu'on leur en donne la possibilité. On analysera ainsi le taux d'insémination et de gestation dans les 21 et 42 premiers jours (I-21jindiv, I-42jindiv, G21jindiv, G42jindiv).suivant la date où la possibilité est donnée à l'animal d'être inséminé, soit la date d'insémination possible (Iposs).

**Tableau 6 : Variables utilisées pour l'analyse de l'effet de la race et du système sur la reproduction.** (\* le codage réfère aux modèles définis ci-après dans la partie II – 2 – 3 -)

Variable	Abréviation	Modèle statistique
<b>Variabiles quantitatives</b>		
Intervalle Vêlage - Vêlage	IVV	A*
Intervalle Vêlage - première Insémination	IVI1	
Intervalle Vêlage – Insémination fécondante	IVIfec	
Intervalle première Insémination – Insémination fécondante	IIIfec	
Intervalle Vêlage – Insémination possible	IVIposs	
Intervalle Insémination possible – première Insémination	IIpossI1	
Intervalle Insémination possible – Insémination fécondante	IIpossIfec	
<b>Variabiles qualitatives</b>		
Réussite ou échec de la fécondation à la première Insémination	RI-1	B*
Réussite ou échec de la fécondation à la deuxième Insémination	RI-2	
Réussite ou échec de la fécondation assurée après les deux premières inséminations	RI-1ou2	
Gestation débutée ou non suite à la campagne de reproduction	GES	
Vêlage ou non suite à la campagne de reproduction	vêl	
Réalisation ou non d'une insémination dans les 21 premiers jours de la saison de reproduction	I-21j	
Réalisation ou non d'une insémination dans les 42 premiers jours de la saison de reproduction	I-42j	
Réussite ou échec de la fécondation dans les 21 premiers jours de la saison de reproduction	G21j	
Réussite ou échec de la fécondation dans les 42 premiers jours de la saison de reproduction	G42j	
Réalisation ou non d'une insémination dans les 21 premiers jours suivant la date d'insémination individuelle autorisée	I-21jindiv	
Réalisation ou non d'une insémination dans les 42 premiers jours suivant la date d'insémination individuelle autorisée	I-42jindiv	
Réussite ou échec de la fécondation dans les 21 premiers jours suivant la date d'insémination individuelle autorisée	G21jindiv	
Réussite ou échec de la fécondation dans les 42 premiers jours suivant la date d'insémination individuelle autorisée	G42jindiv	

#### II - 2- 1- (4) Santé

L'analyse des performances de santé est surtout descriptive. Elle correspond au décompte des différentes maladies en fonction de la race et du système.

Le fichier de base ne donnant pas directement accès à cette information, un nouveau fichier Excel a été créé afin d'y réunir les événements sanitaires des animaux du SH et du SPCE. Au sein de ce nouveau fichier chaque ligne correspond à une lactation et chaque colonne correspond à une catégorie d'événements sanitaires. Le nombre de chaque type d'évènement sanitaire survenu au cours de cette lactation est recensé dans chacune des colonnes correspondantes.

Afin de simplifier l'analyse, les événements sanitaires ont été regroupés sous R (2.41-3) en catégories d'événements à partir des dénominations présentes dans le fichier de base. Le détail des catégories créées et des dénominations rassemblées au sein de chacune d'entre elles est présenté dans le tableau 7.

Pour chaque catégorie sanitaire, l'incidence cumulée des cas a été calculée. Il s'agit du nombre total d'événements sanitaires recensés sur la population d'étude divisé par le nombre d'animaux présents. Ce chiffre est donné pour différentes périodes de la lactation. On distingue alors le début de la lactation correspond aux 44 premiers jours, la période 45-110 jours (période de reproduction) puis un bilan sur 44 semaines de lactation.

**Tableau 7 : Regroupement des dénominations sanitaires en catégories sanitaires utilisables pour l'analyse descriptive des performances de santé en fonction de la race et du système.**

<b>Catégorie</b>	<b>Dénominations rassemblées</b>
<b>Boiterie</b>	"Boiterie (mal aux pieds)", "Décollement de la ligne blanche", "Distension ou déchirure de ligaments", "Entorse", "Fourbure", "Lymphangite (inflammation des jarrets)", "Limace", "Panaris", "Ulcère typique (cerise)"
<b>Digestif</b>	"Acidose", "Coliques", "Déplacement de la caillette", "Indigestion", "Météorisation", "Occlusion intestinale" "Parasitisme digestif (paramphistome)"
<b>Mammite</b>	"Mammite", "Mammite subclinique - Cellules", "Mammites"
<b>Affection mammaire autre que mammite</b>	"œdème mammaire", "Hémolactation (sang dans le lait)", "Perte d'un quartier", "Trayon obstrue", " Rétention laitière", "Traitement de la vaccine",
<b>Génital</b>	"Avortement", "Césarienne", "Déchirure au moment du vêlage", "Métrite", "Non délivrance (rétention placentaire)", "Retournement vagin ou matrice (boucle vulve)", "Vaginite", "soins après vêlage", "œdème de la vulve", "Kyste ovarien",
<b>Inflammation Locale handicapante</b>	"Abcès", "Glossite", " Kératite", "Langue de bois", "Mauvais état général (maigre)"
<b>Inflammation cutanée</b>	"Dartres (teigne)", "verrues "
<b>Péritonite</b>	"Corps étranger", "Péritonite"
<b>Respiratoire</b>	"Bronchite (coup de froid)", "Congestion pulmonaire", "Grippe", "Pneumonie"
<b>Fièvre de lait</b>	"Fièvre vitulaire"
<b>Accident</b>	"Ablation ou perte de cornes (accident)", "Accident", "Blessure mamelle", "Boiterie (accident)", "Fracture", "Hématome (coup)", "Plaie ouverte (suite blessure)"
<b>Non pris en compte</b>	"Détoxification", "Fouilles appareil génital", "Malformation"

Toute répétition d'évènement du même type chez le même animal à moins de 3 semaines d'intervalle n'est pas comptabilisée comme un nouvel évènement. Seuls les évènements survenant sur des animaux en lactation sont ici pris en compte.

De plus, il a été possible de créer trois variables qualitatives pour analyser statistiquement l'effet de la race et du système sur la santé (Tableau 8).

**Tableau 8 : Variables utilisées pour l'analyse de l'effet de la race et du système sur la santé**

Variable	Abréviation	Modèle statistique
Survenue ou non d'au moins une boiterie sur 44 semaines de lactation	Boiteries44s	
Survenue ou non d'au moins une mammite clinique sur 44 semaines de lactation	Mammites44s	B*
Survenue ou non d'au moins un trouble génital sur 44 semaines de lactation.	TGenitaux44s	

\* le codage réfère aux modèles définis ci-après dans la partie II – 2 – 3 –

Les concentrations individuelles hebdomadaires en cellules somatiques du lait (CCS) ont également été étudiées (Tableau 9). Le score cellulaire somatique hebdomadaire (SCS) a été utilisé pour comparer les races et les systèmes. Il est calculé selon sa définition dans la littérature (Rupp et al. 2000):

$$SCS = \frac{\ln\left(\frac{CCS}{100000}\right)}{\ln(2)} + 3$$

**Tableau 9 : Variables utilisées pour l'analyse de l'effet de la race et du système sur les concentrations en cellules somatiques du lait.**

Variable	Abréviation	Unité	Modèle statistique
Score cellulaire somatique moyen sur 7 semaines de lactation (autour du pic)	SCSm7s		A*
Score cellulaire somatique moyen sur 44 semaines de lactation	SCSm44s		

L'incidence et de la prévalence des mammites sub – cliniques en fonction de la race et du système ont été analysées. A partir des CCS individuelles et hebdomadaires disponibles, la mamelle des vaches présentant une concentration supérieure au seuil de 200 000 cellules / litres de lait a entraîné son classement comme infectée.

Pour calculer l'incidence, pour chaque animal, des couples « CCS à la semaine n – CCS à la semaine n+1 » ont été créés et le calcul a été réalisé selon la formule suivante :

(Nombre de couple « CCS n < seuil - CCS n+1 > seuil ») / (Nombre de couple où CCS n < seuil) via un programme réalisé sous R (2.41-3).

La prévalence a été calculée selon la formule : (nombre de CCS hebdomadaires > 200 000 cellules/litre) / (nombre de CCS hebdomadaires disponibles).

## II - 2- 1- (5) Longévité et carrière productive

La longévité des vaches laitières du SH et du SPCE est analysée à travers l'étude du devenir des animaux à l'issue de la première et de la deuxième lactation en fonction de la race et du système. Dans les systèmes étudiés, trois possibilités sont envisagées pour l'animal. L'animal peut d'abord être amené à réaliser une autre lactation ou il peut être réformé. La troisième possibilité correspond à la réalisation d'une lactation prolongée. Les variables utilisées pour l'analyse statistique sont présentées dans le tableau 10.

De plus, les causes de réforme principales suite à la première lactation au sein de chaque race et de chaque système sont de plus présentées (ANNEXE 1). Les effets de la race et du système sur le risque de réaliser une lactation prolongée sont également analysés statistiquement (Tableau 10)

L'effet de la race et du système sur la durée de vie productive des animaux a aussi été recherché (Tableau 10). Cette dernière est définie comme la durée entre le début de la première lactation et la date de dernier tarissement.

**Tableau 10 : Variables utilisées pour l'analyse de l'effet de la race et du système sur la longévité**

Variable	Abréviation	Unité	Modèle statistique
<b>Variabiles quantitatives</b>			
Durée de vie productive	Dvie	Jours	
Matière utile totale produite sur la vie productive de l'animal	MUcarrière	Kg	C*
Production laitière totale sur la vie productive de l'animal	PLcarrière		
Production laitière par jour de vie productive	PL_jourdevie	Kg/jour	
Production de matière utile par jour de vie productive	MU_jourdevie		
<b>Variabiles qualitatives</b>			
Réalisation ou non d'une deuxième lactation	Lac2		
Réforme ou non suite à la première lactation	Ref1		
Réalisation ou non d'une troisième lactation	Lac3		D*
Réforme ou non suite à la deuxième lactation	Ref2		
Réalisation ou non d'au moins une lactation prolongée au cours de la carrière	LPvie		

\* le codage réfère aux modèles définis ci-après dans la partie II – 2 – 3 -

## II - 2 - 2 - Sélection et validation des données

### II - 2- 2- (1) Critères communs à toute l'étude

Le jeu de données initial est composé de 1161 lactations issues de 485 vaches laitières. Seules les lactations débutant après le 1<sup>er</sup> Septembre 2004 et se terminant avant le 4 Janvier 2016 sont considérées. Les lactations débutant pendant la campagne 2004 du système SPCE sont exclues. A cette date, les conditions d'expérimentation n'y sont pas encore pleinement appliquées du fait de la difficulté de transition d'une saison de vêlage initiale à une autre. La période d'étude étant de 44 semaines, une seule campagne de reproduction sera analysée par lactation même en cas de lactation prolongée.

33 lactations interrompues précocement (entre 1 et 11 semaines de lactation) par la mort de l'animal sont écartées et une vache de race croisée est exclue.

Enfin, 13 lactations du SPCE sont écartées de l'analyse car les vêlages sont anormalement éloignés de la saison de vêlage de ce système et elles apporteraient un biais quant à l'étude de l'effet des systèmes. Une vache de race croisée est également exclue.

Finalement 970 lactations sont donc retenues pour l'étude. Ces lactations ont été retenues pour l'étude des troubles sanitaires.

### II - 2- 2- (2) Sélection des données pour l'analyse des performances de lactation, de condition corporelle et de reproduction

Pour décrire au mieux l'effet de la race et du système sur les performances de reproduction et de lactation, il a été décidé d'écarter les lactations dont la courbe de production était modifiée de façon importante par des troubles de santé. Les lactations présentant un ou plusieurs événements sanitaires entraînant un décrochage brutal ou durable de la courbe de lactation ont alors été éliminées de ces analyses. Une durée minimale de 210 jours de lactation a également été déterminée afin de simplifier l'étude. 182 lactations sont exclues du fait de cette sélection.

788 lactations sont ainsi comprises dans l'analyse descriptive des performances de lactation, de maintien de l'état corporel et de reproduction.

## II - 2- 2- (3) Sélection des données pour l'analyse de la longévité et de la carrière

L'analyse du devenir des animaux suite à leur première lactation a été réalisée sur 380 primipares. Les primipares intégrées à cette analyse devaient obligatoirement avoir la possibilité de réaliser une deuxième lactation, ainsi les premières lactations réalisées au cours de la dernière année d'expérimentation ont été exclues.

L'analyse du devenir des vaches laitières suite à leur deuxième lactation est réalisée sur 227 animaux. En effet, les animaux dont la première lactation est une lactation prolongée sont écartés et de même que précédemment, les animaux intégrés à cette analyse devaient avoir la possibilité de réaliser une troisième lactation, ainsi les primipares des deux dernières années d'expérimentation sont exclues.

Seules 318 des 485 vaches laitières ayant participé à l'expérimentation ont réalisé la totalité de leur carrière au cours de la période d'étude. L'une d'elle est une vache de race croisée écartée des statistiques. Les effets de la race et du système sur la durée de vie productive sont analysés sur ces 317 vaches laitières.

## II - 2 - 3 - Modèles statistiques choisis

Pour l'analyse des performances de lactation, de condition corporelle, de reproduction et de santé, l'individu statistique est la lactation d'une vache au cours d'une campagne, une vache peut alors être à l'origine de plusieurs individus statistiques.

### II - 2- 3- (1) Modèle A

Les variables quantitatives des performances de lactation, de condition corporelle, de reproduction et de score cellulaire somatique sont analysées via un modèle linéaire simple d'analyse de variance à effet fixe ou modèle ANOVA. Ce modèle est le suivant :

$$Y_{ijklmnop} = \mu + \text{race}_i + \text{système}_j + \text{parité}_k + \text{campagne}_l + \text{Dlac}_m + (\text{race} * \text{système})_{ij} + \varepsilon_{ijklmnop}$$

où Y désigne la variable de production,  $\mu$  la moyenne de la variable en question,  $\text{race}_i$  et  $\text{système}_j$  sont les effets fixes de la race ( $i = \text{Ho}$  ou  $\text{Mo}$ ) et du système ( $j = \text{SH}$  ou  $\text{SPCE}$ ) (Tableau 11),  $\text{parité}_k$  est l'effet fixe du rang de lactation ( $k = \text{primipare}$ , 2<sup>ème</sup> lactation ou 3<sup>ème</sup> lactation et plus),  $\text{campagne}_l$  est l'effet fixe de l'année de début de lactation ( $l = 2004$  à  $2015$ ),  $\text{Dlac}_m$  est l'effet fixe de la durée de la lactation ( $m = \text{de } 30 \text{ à } 33\text{s}$ , de  $33$  à  $36\text{s}$ , de  $36$  à  $40\text{s}$  ou plus de  $40\text{s}$ ) incorporée dans le modèle seulement quand cela avait du sens (ANNEXE 2),  $(\text{race} * \text{système})_{ij}$ , est l'effet de l'interaction race – système et  $\varepsilon_{ijklmnop}$  est l'effet résiduel.

**Tableau 11 : Variables explicatives incluses dans les modèles statistiques d'analyse de l'effet de la race et du système sur les performances de lactation, maintien de l'état corporel, reproduction, longévité et carrière.**

Facteurs	Nombre de niveaux	Facteurs	Modèle statistique incluant ces variables
Race	2	Montbéliarde (Mo) ou Prim'Holstein (Ho)	A, B, C, D
Système	2	Système Herbager (SH) ou Système Polyculture Elevage (SPCE)	
Parité	3	Primipare (1) 2 <sup>ème</sup> lactation (2) 3 <sup>ème</sup> lactation et plus (3)	A, B
Campagne	11	De 2004 à 2015	
Durée de lactation (Dlac)	4	De 30 à 33 semaines incluses De 33 à 36 semaines incluses De 36 à 40 semaines incluses Plus de 40 semaines	A
Lactation prolongée (LP)	2	Absence de LP Présence d'au moins une LP	C

Les effets des différents facteurs sont conservés dans les modèles seulement si leur p-value est inférieure à 0.05 sauf pour l'effet de la race, du système et de l'interaction race\*système qui sont toujours conservés (ANNEXE 5).

### II - 2- 3- (2) Modèle B et D

Les variables qualitatives de reproduction et de santé étant de type binaire elles sont analysées via le modèle de régression logistique suivant :

$$\log \left( \frac{P(Y_{ijklm}=1)}{1 - P(Y_{ijklm}=1)} \right) = \mu + \text{race}_i + \text{système}_j + \text{parité}_k + \text{campagne}_l + (\text{race*système})_{ij}$$

Où  $Y_{ijklm}$  est la réponse positive des variables binaires (exemple : Réussite de la fécondation à la première insémination,  $Y_{ijklm} = 1$ ). Les variables à effets fixes et l'interaction est la même que précédemment (Tableau 11).

Le modèle D correspond au modèle B sans l'effet de la parité et de la campagne.

### II - 2- 3- (3) Modèle C

La durée et les performances de vie productive sont analysées via un modèle linéaire simple d'analyse de variance à effet fixe ou modèle ANOVA :

$$Y_{ijklm} = \mu + \text{race}_i + \text{système}_j + LP_k + (\text{race*système})_{ij} + \varepsilon_{ijklm}$$

où Y désigne la variable analysée,  $\mu$  la moyenne de la variable en question,  $\text{race}_i$  et  $\text{système}_j$  sont les effets fixes de la race ( $i = \text{Ho}$  ou  $\text{Mo}$ ) et du système ( $j = \text{SH}$  ou  $\text{SPCE}$ ),  $LP_k$  l'effet fixe de la survenue d'une ou plusieurs lactations prolongées au cours de la carrière de l'animal ( $k =$  aucune lactation prolongée ou au moins une lactation prolongée) (Tableau 11),  $(\text{race*système})_{ij}$  l'interaction des effets correspondants et  $\varepsilon_{ijklm}$  est l'effet résiduel.

### II - 2- 3- (4) Outils utilisés

L'analyse des variables quantitatives a été réalisée sous Epsilon, un logiciel d'analyse statistique développé par Luc DELABY au sein de l'unité mixte de recherche INRA PEGASE de Saint Gilles. Les modèles de régression logistique ont été réalisés sous R (2.41-3).

## **II-3) ANALYSE DES PROFILS DE COMPROMIS ENTRE FONCTIONS BIOLOGIQUES INTEGRANT LA SANTE**

Le deuxième objectif est de déterminer s'il est possible et judicieux d'incorporer des données de santé à la méthode d'analyse des profils de compromis entre fonctions biologiques telle que proposée par OLLION et al. (2016).

### **II - 3 - 1 - Période d'étude et variables utilisées.**

#### **II - 3- 1- (1) Période d'étude**

La période d'étude des compromis entre fonctions biologiques doit correspondre à une situation de déséquilibre pour l'animal. Le début de la lactation est la période choisie car elle constitue une période de déficit énergétique pour la vache. Emilie OLLION a analysé les 90 premiers jours post-partum et Estelle CLOET, les 150 premiers jours (Ollion, 2015, Cloet, 2015). De même, l'étude ci-présente sera réalisée sur les 150 premiers jours post-partum, elle comprendra ainsi la majeure partie de la saison de reproduction et la phase de reprise d'état corporel.

#### **II - 3- 1- (2) Choix des variables à partir des travaux antérieurs**

La méthode mise au point par Emilie OLLION est une analyse multivariée afin d'analyser les compromis réalisés entre plusieurs fonctions biologiques à la fois. Pour représenter ces trois fonctions, dix variables ont été utilisées par Emilie OLLION (ANNEXE 3). Estelle CLOET a utilisé 11 variables car des données concernant l'ovulation étaient à sa disposition (ANNEXE 4). Les variables sont calculées de manière à décrire l'évolution des fonctions de manière dynamique sur la période d'étude. Chaque fonction doit être représentée par un nombre équitable de variables. Les variables sont testées par l'analyse du coefficient de corrélation de Pearson, lorsque deux variables sont trop liées entre elles, l'une des deux est écartée.

Les variables utilisées pour l'étude ci-présente sont directement issues de ces travaux précédents. Les variables utilisées par Estelle CLOET (sauf celle concernant l'ovulation) sont ainsi testées sur notre jeu de données. Une analyse des corrélations deux à deux a permis de déterminer celles utilisables dans notre étude. Un ensemble de 9 variables a été retenu (Tableau 12). Parmi les variables à notre disposition, seule la NEC au vêlage et la variation entre la NEC au vêlage et la NEC minimale sont corrélées ( $r > 0,5$ ), ainsi la NEC au vêlage n'est pas utilisée ici. Concernant, la fonction de lactation, elle est décrite via la matière utile, ce qui représente plus précisément l'investissement énergétique de l'animal.

Pour intégrer les animaux non fécondés dans l'étude, des valeurs saturées ont été attribuées en cas de données manquantes. Ainsi l'intervalle insémination possible – première insémination (IpossI-1) pour les animaux n'ayant subi aucune première insémination a reçu une valeur seuil calculée comme l'intervalle IpossI-1 max de l'échantillon + 1 écart-type. Pour l'intervalle insémination possible – insémination fécondante (IpossIfec) une valeur seuil de 150 jours a été attribuée à tous les animaux non fécondés avant la fin de la période d'étude.

**Tableau 12 : Variables utilisées dans l'analyse des compromis entre fonctions biologiques.**

Performance représentée	Variable	Abréviation	Définition
<b>Lactation</b>			
	Matière utile totale produite sur la période d'étude	Mutot	Matière utile totale sur 22 semaines
	Intervalle Vêlage – Pic de matière utile	IVpicMu	Pic de matière utile dans les 5 premières semaines. (en semaines)
	Persistence de la production de matière utile après le pic	Persist_Mu	[(Mu à 22 semaines)-(Mu semaine max)]/ Mumax
<b>Survie (via l'évolution de l'état corporel)</b>			
	Taux de variation de la NEC entre le vêlage et la Nec minimale	Nec_V_Min	(NECvel - NECmin) / NECvel
	Nombre de fois où la NEC est en stagnation d'un mois à l'autre	Stagn_NEC	NECmois = NECmois+1
	Variation de la NEC en fin de période	NEC_min_fin	NECfin / NECmin
<b>Reproduction</b>			
	Intervalle Insémination possible – première Insémination	IpossI1	en jours
	Intervalle Insémination possible – Insémination fécondante	IpossIfec	en jours
	Nombre d'inséminations	NbIA	Nombre d'Inséminations subies sur la saison de reproduction

### II - 3- 1- (3) Nouvelle représentation de la survie et détermination des variables de santé.

Des variables de santé sont créées afin de les ajouter au jeu de variables représentant la fonction de survie (Tableau 13). Elles sont déterminées et construites à partir des résultats obtenus dans l'analyse des performances sanitaires en fonction de la race et du système.

Comme pour les performances de production, reproduction et évolution de l'état corporel, les variables de santé doivent représenter un état dynamique. Ainsi, les maladies ont été dénombrées en fonction de leur délai d'apparition au cours de la lactation, permettant ainsi de dissocier l'état sanitaire à plusieurs stades de la lactation au cours de la période d'étude, de 0 à 44 jours et de 45 à 110 jours. La période de 0 à 44 jours correspondant à la phase de reprise de la cyclicité ovarienne, durant cette phase, les animaux ne sont pas inséminés. La période de 45 à 110 jours est la période liée à la saison de reproduction.

Les deux variables du tableau 13 ont ainsi été choisies comme représentantes de l'état de santé des animaux de manière dynamique et générale. La non - corrélation a été vérifiée et elles ont été ajoutées aux variables du tableau 12.

**Tableau 13 : Variables sanitaires ajoutées aux variables habituellement utilisées pour décrire la fonction de survie dans l'analyse des compromis entre fonctions biologiques.**

Performance représentée	Variable	Abréviation	Définition
<b>Survie (via la santé)</b>			
	Nombre d'évènements sanitaires dans les 44 premiers jours de lactation	San44j	Nombre par lactation
	Nombre d'évènements sanitaires entre 45 et 110 jours de lactation	San45_110J	

## **II - 3 - 2 - Méthode statistique et Sélection des données.**

### **II - 3- 2- (1) Méthode statistique**

La méthode développée par Emilie OLLION a été retenue. Elle consiste à réaliser une typologie qui permet de distinguer les vaches à partir des variables précédentes. Elle comprend deux étapes.

Toutes les variables utilisées étant quantitatives, la première étape consiste à réaliser une analyse en composante principale (ACP) grâce au package Factor Miner de R (2.41-3). Cette première étape permet de déterminer les composantes des axes factoriels représentant le plus la diversité des dynamiques entre fonctions. A partir du résultat de l'ACP, une classification ascendante hiérarchique (CAH) est réalisée afin de créer des classes d'animaux qui expriment alors le même profil de compromis entre fonctions biologiques.

C'est seulement suite à la création des regroupements que les caractéristiques des animaux exprimant chacun des profils sont mises en évidence par des variables illustratives. Les variables illustratives testées sont la race, le système d'appartenance, la parité, le mois de vêlage, la réussite de la reproduction, le suivi ou non de la lactation en lactation prolongée, la NEC au vêlage, la production laitière et les catégories d'événements sanitaires touchant la lactation. Les maladies faiblement représentées n'ont pas été testées faute d'effectifs suffisants. Les différences entre les classes ont été testées statistiquement et différemment selon que les variables décrites étaient quantitatives ou qualitatives.

Une analyse de variance (ANOVA) a été utilisée pour vérifier l'influence significative des différences observées entre les profils pour les variables quantitatives, le logiciel utilisé pour ces analyses est Epsilon. Un test de chi deux a été réalisé sous R (version, 2.41-3) pour les variables qualitatives.

Le type de profils exprimés au cours d'une lactation n+1 en fonction du profil exprimé en lactation n a été analysé grâce à un test de chi deux. La répartition des types de profils exprimés en lactation n+2 en fonction du profil exprimé en lactation n a également été étudiée mais le faible effectif n'a pas permis de réaliser de tests statistiques. La répartition des lactations n+1 en fonction de la présence d'une lactation prolongée ou non en lactation n est de plus présentée mais là encore le faible effectif n'a pas permis de réaliser de tests statistiques. Pour chaque analyse la dernière ou l'avant dernière campagne de l'expérimentation a été retirée pour prendre en compte les réformes et ne pas les surestimer.

### **II - 3- 2- (2) Sélection des données**

891 lactations sont utilisées pour réaliser la typologie intégrant les données de santé. Elles correspondent aux 970 lactations considérées dans l'étude desquelles ont été éliminées les lactations qui ne durent pas plus de 150 jours et celles où les vaches n'ont pas été mises à la reproduction.

### III - Résultats

#### III-1) Effet de la race et du système sur les performances des vaches laitières

##### III - 1 - 1 -Analyse des performances de production laitière

En moyenne au sein des deux systèmes étudiés et pour les deux races, la production laitière sur 44 semaines de lactation est faible, comprise entre 4555 et 5617 kg (Tableau 14).

Les performances de production laitière sont néanmoins meilleures chez les vaches laitières du SPCE que chez celles du SH (+ 665 kg de lait,  $p < 0,001$ ). Les animaux du SPCE produisent également plus de matière grasse (+ 7 kg,  $p < 0,001$ ), de matière protéique (+ 10 kg ;  $p < 0,001$ ) et de lactose (+ 15 kg ;  $p < 0,001$ ). Toutefois, la production laitière au pic de lactation est supérieure dans le SH (+1 kg ;  $p < 0,001$ ). Sur les 14 premières semaines de lactation, le TB moyen est plus important dans le SPCE que dans le SH (+0,6 g/l ;  $p < 0,5$ ), de même que le TP (+1,22 g/l ;  $p < 0,001$ ). Néanmoins, en fin de lactation, les taux augmentent plus dans le SH que dans le SPCE (figure 3. Ainsi sur 44 semaines de lactation, le TB moyen est plus important dans le SH que dans le SPCE ( $p < 0,05$ , Tableau 13). Le TP moyen sur 44 semaines de lactation reste supérieur dans le SPCE (32,3 g/l contre 31,9 g/l dans le SH,  $p < 0,5$ ), de même que le TP minimal atteint (+ 1,7 g/l,  $p < 0,001$ ).

Au cours des 44 premières semaines de lactation, la production laitière des vaches Ho (5381 kg) est supérieure à celle des vaches Mo (4850 kg ;  $p < 0,001$ ). Les vaches Ho produisent également plus de matières utiles (+ 46 kg ;  $p < 0,001$ ) et ont un pic de production plus élevé (+ 3,4 kg ;  $p < 0,001$ ). En revanche, les vaches Mo présentent de meilleurs TB (42,5 g/l) et TP (32,7 g/l) que les vaches Ho (41,3g/l ;  $p < 0,001$  et 31,5 g/l ;  $p < 0,05$ ). Le TP minimal atteint chez les vaches Ho est plus faible que celui des vaches Mo (-0,8g/l ;  $p < 0,001$ ).

La production laitière des vaches Ho est plus sensible au système dans lequel elles sont élevées que celle des vaches Mo (Figure 4). En effet la production laitière des vaches Ho du SPCE est supérieure de 472 kg à celles du SH alors que la différence n'est que de 54 kg chez les vaches Mo ( $p < 0,001$ ). Les mêmes effets sont observés sur la production totale de matière utile ( $p < 0,001$ ) (Figure 4) mais pas sur les taux.

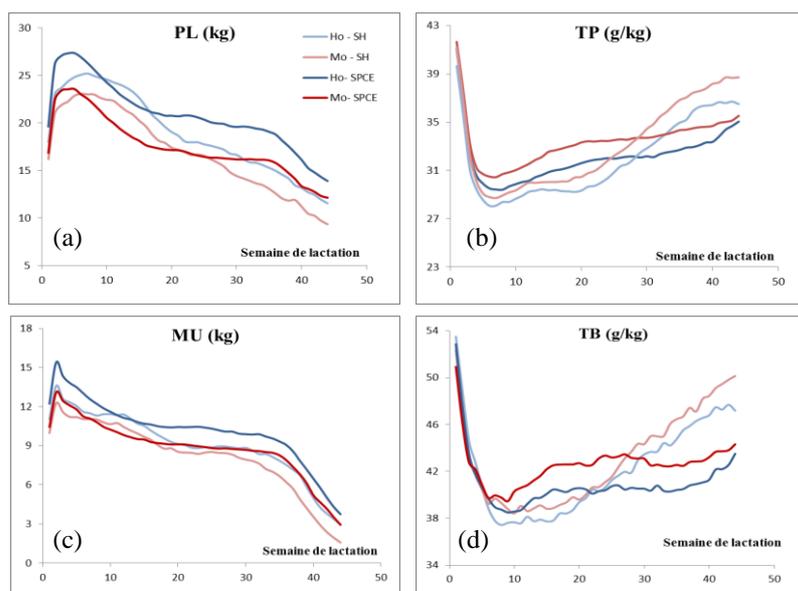


Figure 3 : Courbes des moyennes brutes de production laitière (a), de Taux Butyreux (b), de Matière Utile (c) et de Taux protéique (d) en fonction de la race et du système.

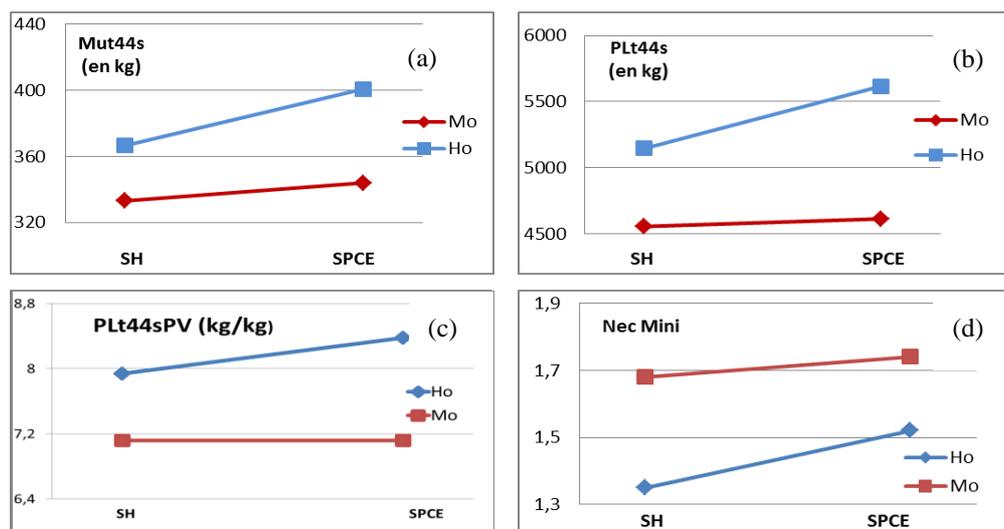
**Tableau 14 : Moyennes ajustées et p-value des variables de production laitière en fonction de l'effet de la race et du système.**

	Montbéliarde		Holstein		ETR	P-value <sup>1</sup>		
	SH	SPCE	SH	SPCE		R	S	R*S
<b>PLt44s</b> (kg)	4555 <sup>a</sup>	4613 <sup>a</sup>	5145 <sup>b</sup>	5617 <sup>c</sup>	676	***	***	***
<b>MGt44s</b> (kg)	189 <sup>a</sup>	194 <sup>a</sup>	210 <sup>b</sup>	226 <sup>c</sup>	29,9	***	***	**
<b>MPt44s</b> (kg)	144 <sup>a</sup>	150 <sup>b</sup>	157 <sup>c</sup>	175 <sup>d</sup>	19,7	***	***	***
<b>LAt44s</b> (kg)	214 <sup>a</sup>	220 <sup>a</sup>	242 <sup>b</sup>	268 <sup>c</sup>	33,7	***	***	***
<b>Mut44s</b> (kg)	333 <sup>a</sup>	344 <sup>b</sup>	366 <sup>c</sup>	401 <sup>d</sup>	48,1	***	***	**
<b>PLmax</b> (kg)	26,3 <sup>a</sup>	24,7 <sup>b</sup>	29,0 <sup>c</sup>	28,8 <sup>c</sup>	3,5	***	***	**
<b>TBm44s</b> (g/l)	42,5 <sup>a</sup>	42,4 <sup>ab</sup>	41,8 <sup>b</sup>	40,7 <sup>c</sup>	3,17	***	*	*
<b>TPm44s</b> (g/l)	32,5 <sup>a</sup>	32,9 <sup>b</sup>	31,4 <sup>c</sup>	31,6 <sup>c</sup>	1,95	***	*	0,58
<b>TPMin</b> (g/l)	27,1 <sup>a</sup>	28,8 <sup>b</sup>	26,3 <sup>c</sup>	27,9 <sup>d</sup>	1,97	***	***	1,0

<sup>1</sup>p-value du modèle d'analyse de variance réalisée pour évaluer la significativité de l'influence des facteurs explicatifs \*\*\*\* : p<0,0001 ; \*\*\* : p<0,001 ; \*\* : p<0,01 ; \* : p<0,05.

PLt44s : production laitière totale sur 44 semaines ; PLmax : production laitière au pic de lactation ; MGt44s : matière grasse totale produite sur 44 semaines de lactation ; MPt44s : matière protéique totale produite sur 44 semaines de lactation ; LAt44s : quantité totale de lactose produite sur 44 semaines de lactation ; Mut44s : matière utile totale produite sur 44 semaines de lactation ; TBm44s : taux butyreux moyen sur 44 semaines de lactation ; TPm44s : taux protéique moyen sur 44 semaines de lactation ; TPmin : Taux protéique minimal atteint sur 44 semaines de lactation. ETR : écart type résiduel ; R : race ; S : système, R\*S : interaction race\*système  
<sup>a-d</sup> au sein d'une même ligne, les valeurs n'ayant pas de lettres en commun sont statistiquement différentes (p < 0,05 par comparaison de Tukey).

La significativité des autres variables explicatives intégrées dans les modèles statistiques est présentée en ANNEXES 5 et 6.



**Figure 4 : Mise en évidence de l'interaction race\*système pour la quantité de matière utile totale produite sur 44 semaines de lactation (a), la production laitière totale sur 44 semaines (b), le lait brut total produit par kg de poids vif sur 44 semaines (c) et la Note d'Etat corporel minimale (d).**

### III - 1 - 2 - Condition corporelle

Le poids moyen des animaux sur 44 semaines de lactation varie entre 642 et 668 kg selon la race et le système (Tableau 15). Malgré un poids au vêlage inférieur aux vaches du SH, les vaches du SPCE sont en moyenne sur 44 semaines, significativement plus lourdes que celles du SH ( $p < 0,001$ ). Toutefois, même significative la différence n'est que de 14 kg, ce qui reste très peu par rapport aux conséquences biologiques que cela peut avoir sur les animaux. De même les vaches Ho sont significativement plus lourdes de 13 kg sur 44 semaines par rapport aux vaches Mo ( $p < 0,001$ ).

La NEC des animaux est de manière générale plutôt faible (Tableau 15). La NEC au vêlage dans le SPCE est égale à 2,57 en moyenne et 2,41 dans le SH. Là encore, la différence significative sur le plan statistique ( $p < 0,001$ ) est faible sur le plan biologique. Ainsi comparé au SPCE, c'est au sein du SH que les animaux perdent le plus d'état corporel (- 1,05 contre -0,78 point de NEC,  $p < 0,001$ ), les NEC minimales atteintes y sont alors les plus faibles (Tableau 15 et Figure 5) et la reprise d'état y est moindre.

L'effet de la race sur la NEC est significatif, sauf celle au vêlage. Les vaches Ho perdent plus d'état corporel que les vaches Mo (-1,04 contre -0,8 point de NEC,  $p < 0,001$ ). Les vaches Ho atteignent alors une NEC minimale particulièrement basse surtout dans le SH (1,35, Tableau 15) et sont les animaux reprenant le moins d'état en fin de lactation.

L'interaction race\*système significative pour la NEC minimale souligne la réactivité plus importante de la mobilisation des réserves chez les vaches Ho (Figure 4). Toutefois ces conclusions sont à nuancer par la faiblesse des écarts de NEC observés entre race et système.

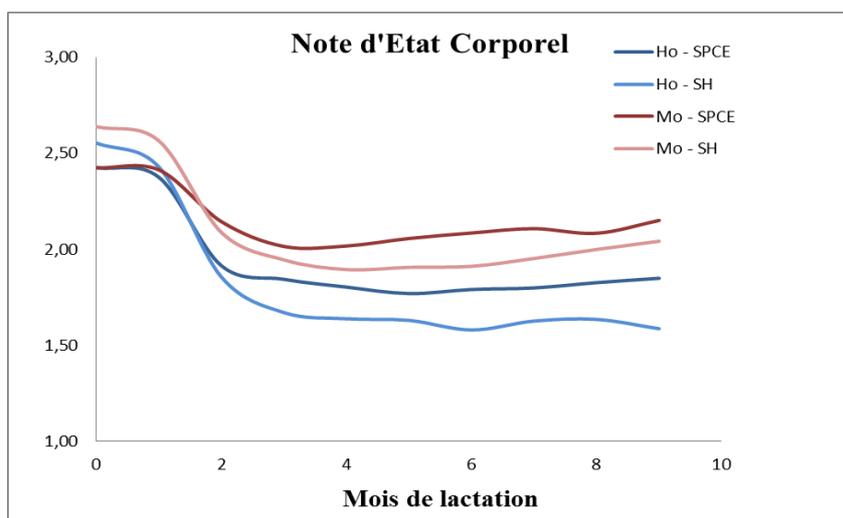
**Tableau 15 : Moyennes ajustées des Notes d'Etat Corporel et de poids vif aux points clés de la lactation selon la race et le système.**

	Montbéliarde		Holstein		ETR	P-value <sup>1</sup>		
	SH	SPCE	SH	SPCE		R	S	R*S
<b>PVvel (kg)</b>	664 <sup>a</sup>	642 <sup>b</sup>	680 <sup>c</sup>	668 <sup>a</sup>	57	***	***	0,27
<b>PVm44s (kg)</b>	642 <sup>a</sup>	652 <sup>b</sup>	651 <sup>ba</sup>	669 <sup>c</sup>	47,8	***	***	0,27
<b>NECvel</b>	2,60 <sup>a</sup>	2,41 <sup>b</sup>	2,54 <sup>a</sup>	2,41 <sup>b</sup>	0,50	0,41	***	0,43
<b>NECmini</b>	1,68 <sup>a</sup>	1,74 <sup>b</sup>	1,35 <sup>c</sup>	1,52 <sup>d</sup>	0,29	***	***	**
<b>PNECm</b>	0,92 <sup>a</sup>	0,67 <sup>b</sup>	1,19 <sup>c</sup>	0,89 <sup>a</sup>	0,48	***	***	0,49
<b>GNEC</b>	0,29 <sup>a</sup>	0,37 <sup>b</sup>	0,22 <sup>c</sup>	0,28 <sup>ac</sup>	0,31	**	**	0,72

<sup>1</sup>p-value du modèle l'analyse de variance réalisée pour évaluer la significativité de l'influence des facteurs explicatifs \*\*\*\* :  $p < 0,0001$  ; \*\*\* :  $p < 0,001$  ; \*\* :  $p < 0,01$  ; \* :  $p < 0,05$ .

PVvel : Poids Vif au vêlage ; PM44s : poids vif moyen sur 44 semaines de lactation ; NECvel : Note d'Etat Corporel au vêlage ; NECmini : Note d'état corporel minimale ; PNECm : Perte de NEC maximale entre la NEC au vêlage et la NEC minimale. ; GNEC : Différence entre la NEC minimale et la NEC à 44 semaines de lactation ; ETR : écart type résiduel ; R : race ; S : système ; R\*S : race\*système

<sup>a-d</sup> au sein d'une même ligne, les valeurs n'ayant pas de lettres en commun sont statistiquement différentes ( $p < 0,05$  par comparaison de Tukey).



**Figure 5: Courbe des moyennes brutes d'évolution de la Note d'Etat Corporel sur les 44 premières semaines de lactation en fonction de la race et du système**

### III - 1 - 3 -Analyse de la production de lait et de matières utiles par kg de poids vif.

L'analyse de la production par kg de poids vif va dans le même sens que les conclusions précédentes (Tableau 16).

Les vaches du SPCE produisent plus de lait (+ 0,21 kg/ kg,  $p < 0,01$ ) et de matières utiles (+ 2,2 kg/100kg ;  $p < 0,001$ ) par kg de poids vif que les animaux du SH. Les vaches Ho produisent plus de lait par kg de poids vif que les vaches Mo (+ 1,04 kg/kg ;  $p < 0,001$ ) et plus de matières utiles (+ 5,57 kg/100kg ;  $p < 0,001$ ).

Là encore la production laitière des vaches Ho est plus réactive au changement de système que celle des vaches Mo, avec 440 g/kg de plus dans le SPCE que dans le SH contre aucune différence entre systèmes chez les vaches Mo, ( $p < 0,01$  ; Figure 4). La même observation est faite sur la production de matière utile par centaine de kg de poids vif (Tableau 16).

**Tableau 16 : Moyennes ajustées des variables de production ramenées au poids vif analysées en fonction de la race et du système**

	Montbéliarde		Holstein		ETR	P-value <sup>1</sup>		
	SH	SPCE	SH	SPCE		R	S	R*S
<b>PLt44sPV</b> (kg/kg)	7,12 <sup>a</sup>	7,12 <sup>a</sup>	7,94 <sup>b</sup>	8,38 <sup>c</sup>	1,09	***	**	**
<b>Mut44sPV</b> (kg/100kg)	52,0 <sup>a</sup>	53,0 <sup>a</sup>	56,4 <sup>b</sup>	59,8 <sup>c</sup>	7,4	***	***	*

<sup>1</sup>p-value du modèle d'analyse de variance réalisée pour évaluer la significativité de l'influence des facteurs explicatifs \*\*\*\* :  $p < 0,0001$  ; \*\*\* :  $p < 0,001$  ; \*\* :  $p < 0,01$  ; \* :  $p < 0,05$ .

PLt44sPV : production laitière totale sur 44 semaines par centaine de kg de poids vif ; Mut44sPV : production totale de matière utile sur 44 semaines par centaine de kg de poids vif. ETR : écart type résiduel ; R : race ; S : système ; R\*S : interaction race\*système

<sup>a-d</sup> au sein d'une même ligne, les valeurs n'ayant pas de lettres en commun sont statistiquement différentes ( $p < 0,05$  par comparaison de Tukey).

### III - 1 - 4 -Performances de reproduction

Dans cette partie, les niveaux du facteur campagne « 2014 » et « 2015 » ont été regroupés au sein du niveau « 2014-2015 » pour permettre la convergence des modèles de régression logistique. Pour plusieurs de ces variables, l'effet du système s'avère non significatif lorsque l'on ajoute l'interaction race\*système au modèle.

#### III - 1- 4- (1) Réussite à l'insémination, taux de gestation à la fin de la saison de reproduction et de vêlage

A l'issue des campagnes de reproduction successives, 76% des animaux en moyenne sont gestants. Ce taux de gestation est meilleur dans le SPCE que dans le SH ( $p < 0,05$ ) et en race Mo (83%) qu'en race Ho (67%,  $p < 0,001$ , Tableau 17). Le taux de gestation des vaches Ho dans le SH est particulièrement dégradé (54%). Le taux de vêlage suit la même tendance, avec là encore, une sensibilité plus importante des vaches Ho, qui présentent un écart entre systèmes (-17%) supérieur à celui des vaches Mo (-8%). Ainsi, avec un taux de vêlage moyen de 51 %, les Ho dans le SH sont les vaches ayant le plus de difficultés à se reproduire (Tableau 17).

Une différence significative de taux de réussite en première et deuxième insémination entre races explique en partie les observations précédentes. Les vaches Mo présentent de meilleurs taux de réussite en première (+ 10 % ;  $p < 0,05$  ; Tableau 17) et en deuxième insémination (+12% ;  $p < 0,01$ ) que les vaches Ho et donc un meilleur taux de réussite après deux inséminations (+ 15% ;  $p < 0,001$ ). Les différences entre systèmes sont non significatives. Pourtant il est à noter que les performances les plus faibles sont retrouvées chez les vaches Ho dans le SH (Tableau 17).

**Tableau 17 : Résultats de l'analyse de la réussite de la première et deuxième insémination ainsi que de la survenue d'un vêlage selon la race et le système.**

	Montbéliarde		Holstein		Total	P-value <sup>1</sup>		
	SH	SPCE	SH	SPCE		R	S	R*S <sup>1</sup>
Nombre d'animaux mis à la reproduction	171	257	134	215	777			
Taux de gestation à la fin de la saison de reproduction	79% <sup>ab</sup>	86% <sup>a</sup>	54% <sup>c</sup>	75% <sup>b</sup>	76%			
Odds Ratio	1,26	2,21	0,36	1(ref)		***	*	0,22
Nombre d'animaux avec une I-1	170	256	126	213	765			
Taux de réussite à l'I-1	43% <sup>ab</sup>	48% <sup>a</sup>	31% <sup>b</sup>	38% <sup>ab</sup>	41%			
Odds Ratio	1,25	1,53	0,72	1(ref)		*	0,31	0,71
Nombre d'animaux avec une I-2	92	129	72	118	411			
Taux de réussite à l'I-2	40% <sup>a</sup>	47% <sup>a</sup>	18% <sup>b</sup>	41% <sup>a</sup>	38%			
Odds Ratio	0,99	1,30	0,32	1(ref)		**	0,35	!
Taux de réussite cumulé des Inséminations 1 et 2	65 % <sup>a</sup>	71% <sup>a</sup>	42% <sup>b</sup>	61% <sup>a</sup>	62%			
Odds Ratio	1,20	1,63	0,46	1(ref)		***	0,16	0,14
Nombre d'animaux mis à la reproduction non réformés ou morts avant le vêlage	165	246	125	208	744			
Taux de vêlage	76% <sup>ab</sup>	84% <sup>a</sup>	51% <sup>c</sup>	68% <sup>b</sup>	72%			
Odds Ratio	1,58	2,68	0,49	1(ref)		***	*	0,62

<sup>1</sup>p-value du modèle l'analyse de variance réalisée pour évaluer la significativité de l'influence des facteurs explicatives \*\*\*\* :  $p < 0,0001$  ; \*\*\* :  $p < 0,001$  ; \*\* :  $p < 0,01$  ; \* :  $p < 0,05$  ; !  $p < 0,1$ . R : Race, S : Système, R\*S : l'interaction Race\*Système, la p-value présentée compare MoSH et HoSPCE pour le détail, se référer aux lettres. <sup>a-d</sup> au sein d'une même ligne, les valeurs n'ayant pas de lettres en commun sont statistiquement différentes. La méthode de comparaison est basée sur le test de Tukey réalisé sur l'échelle log Odds Ratio. La significativité de différence est basée sur p-value  $< 0,05$ .

### III - 1- 4- (2) Fécondité

L'intervalle vêlage – vêlage est en moyenne de 371 jours chez les vaches Mo, il est plus court que chez les vaches Ho à 379 jours ( $p < 0,001$  ; Tableau 18). De même, l'intervalle vêlage – première insémination et l'intervalle vêlage – insémination fécondante ( $p < 0,001$ ) sont plus courts pour les vaches Mo. L'effet du système n'est pas significatif sur ces variables. L'intervalle première insémination – insémination fécondante n'est pas différent entre races et entre systèmes.

**Tableau 18 : Intervalle Vêlage –Vêlage (IVV), intervalle Vêlage – première insémination (IVI-1), intervalle Vêlage – insémination fécondante (IVIfec) et intervalle première insémination – insémination fécondante (II-1Ifec) en fonction de la race et du système**

	Nb d'ind.	Montbéliarde		Holstein		P-value <sup>1</sup>			
		SH	SPCE	SH	SPCE	ETR	R	S	R*S
<b>IVV</b>	534	371 <sup>ab</sup>	371 <sup>ab</sup>	381 <sup>c</sup>	378 <sup>ac</sup>	31,4	**	0,67	0,64
<b>IVI-1</b>	765	66 <sup>a</sup>	66 <sup>a</sup>	78 <sup>b</sup>	75 <sup>b</sup>	20,7	***	0,46	0,35
<b>IVIfec</b>	591	82 <sup>a</sup>	85 <sup>a</sup>	98 <sup>b</sup>	98 <sup>b</sup>	32,3	***	0,61	0,63
<b>II-1Ifec</b>	591	17 <sup>a</sup>	18 <sup>ab</sup>	20 <sup>ab</sup>	23 <sup>b</sup>	27,1	0,09	0,37	0,72

<sup>1</sup>p-value du modèle l'analyse de variance réalisée pour évaluer la significativité de l'influence des facteurs explicatives \*\*\*\* :  $p < 0,0001$  ; \*\*\* :  $p < 0,001$  ; \*\* :  $p < 0,01$  ; \* :  $p < 0,05$ . ETR : écart type résiduel ; R : Race, S : Système, R\*S : Race\*Système.

<sup>a-d</sup> au sein d'une même ligne, les valeurs n'ayant pas de lettres en commun sont statistiquement différentes ( $p < 0,05$  par comparaison de Tukey).

L'intervalle vêlage – insémination possible varie de 53 à 60 jours selon la race et le système (Tableau 19). La première insémination a lieu en moyenne dans les 18 premiers jours suivants et l'insémination fécondante dans les 38 jours. Aucune différence significative entre système n'est observée pour ces variables. En revanche, chez les vaches Mo ces intervalles sont plus courts que chez les Ho (Tableau 19). La différence de la durée de saison de reproduction est significative entre les deux systèmes, elle est plus longue dans le SPCE (107 jours) que dans le SH (88 jours) pour les lactations étudiées.

**Tableau 19 : Intervalle vêlage - insémination possible (IVIpss), durée de la période de reproduction (Drepro), intervalle insémination possible - première insémination (IpossI-1) et intervalle insémination possible - insémination fécondante (IpossIfec) en fonction de la race et du système**

	Effectif	Montbéliarde		Holstein		P-value <sup>1</sup>			
		SH	SPCE	SH	SPCE	ETR	R	S	R*S
<b>IVIpss</b>	777	53 <sup>a</sup>	55 <sup>a</sup>	60 <sup>b</sup>	58 <sup>b</sup>	13,4	***	0,63	0,10
<b>Drepro</b>	777	85 <sup>a</sup>	107 <sup>b</sup>	90 <sup>a</sup>	108 <sup>b</sup>	28,7	0,12	***	0,47
<b>IpossI-1</b>	765	13 <sup>a</sup>	13 <sup>a</sup>	17 <sup>b</sup>	18 <sup>b</sup>	14,2	***	0,85	0,54
<b>IpossIfec</b>	591	29 <sup>a</sup>	30 <sup>a</sup>	35 <sup>ab</sup>	38 <sup>b</sup>	23,2	**	0,35	0,68

<sup>1</sup>p-value du modèle l'analyse de variance réalisée pour évaluer la significativité de l'influence des facteurs explicatives \*\*\*\* :  $p < 0,0001$  ; \*\*\* :  $p < 0,001$  ; \*\* :  $p < 0,01$  ; \* :  $p < 0,05$ . ETR : écart type résiduel ; R : Race, S : système, R\*S : Race\*Système.

<sup>a-d</sup> au sein d'une même ligne, les valeurs n'ayant pas de lettres en commun sont statistiquement différentes ( $p < 0,05$  par comparaison de Tukey).

### III - 1- 4- (3) Taux d'insémination et de gestation par saison de reproduction

En moyenne, le taux d'insémination dans les 21 premiers jours de la saison de reproduction est de 48 %, dans les 42 premiers jours, il atteint 72 % dans les systèmes étudiés (Tableau 20). Le taux de gestation dans les 21 premiers jours du système est de 22% en moyenne. Il n'y a pas d'effet significatif de la race et du système sur ces variables. Cependant, chez les vaches Ho, le taux d'insémination dans les 21 premiers jours du système est plus important dans le SH que dans le SPCE (+ 15%,  $p < 0,05$ ) ce qui n'est pas observé chez les vaches Mo.

Le système n'a pas d'effet significatif sur le taux de gestation dans les 42 premiers jours de la saison de reproduction (Tableau 20). Les vaches Mo présentent un taux de gestation dans les 42 premiers jours (42%) supérieur à celui des vaches Ho (33% ;  $p < 0,05$ ). Toutefois, une fois encore chez le Ho seulement, la différence entre le SH et le SPCE est significative, et le taux de gestation dans les 42 jours premiers jours de la saison est plus important dans le SPCE que dans le SH (+6%,  $p < 0,05$ ). Ainsi pour les vaches Ho, malgré un taux d'insémination dans les 21 jours de la saison de reproduction supérieur dans le SH, les taux de réussite à l'insémination médiocres dans ce système entraînent un taux de gestation à 42 jours moindre que dans le SPCE.

**Tableau 20 : Taux d'insémination et de gestation dans les 21 et 42 premiers jours de la saison de reproduction du système en fonction de la race et du système**

	Montbéliarde		Holstein		Total	P-value <sup>1</sup>		
	SH	SPCE	SH	SPCE		R	S	R*S
Nombre d'Animaux inséminés au cours de la saison de reproduction	171	257	134	215	777			
Taux d'insémination dans les 21 premiers jours	50% <sup>ab</sup>	48% <sup>ab</sup>	56% <sup>a</sup>	41% <sup>b</sup>	48%			
Odds Ratio	1(ref)	1	0,80	1,46		0,37	0,97	!
Taux d'insémination dans les 42 premiers jours	74% <sup>a</sup>	73% <sup>a</sup>	75% <sup>a</sup>	66% <sup>a</sup>	72%			
Odds Ratio	1,41	1,57	1,48	1(ref)		0,87	0,66	0,15
Taux de gestation dans les 21 jours	22% <sup>ab</sup>	26% <sup>a</sup>	18% <sup>ab</sup>	19% <sup>b</sup>	22%			
Odds Ratio	1,24	1,64	0,95	1(ref)		0,36	0,25	0,55
Taux de gestation dans les 42 jours	40% <sup>ab</sup>	44% <sup>a</sup>	30% <sup>b</sup>	36% <sup>a</sup>	39%			
Odds Ratio	1,20	1,58	0,72	1(ref)		*	0,18	0,89

<sup>1</sup>p-value du modèle l'analyse de variance réalisée pour évaluer la significativité de l'influence des facteurs explicatives \*\*\*\* :  $p < 0,0001$  ; \*\*\* :  $p < 0,001$  ; \*\* :  $p < 0,01$  ; \* :  $p < 0,05$  ; !  $p < 0,1$ .

R : Race, S : Système, R\*S : <sup>1</sup>interaction Race\*Système, la p-value présentée compare MoSH et HoSPCE pour le détail, se référer aux lettres.

<sup>a-d</sup> au sein d'une même ligne, les valeurs n'ayant pas de lettres en commun sont statistiquement différentes. La méthode de comparaison est basée sur le test de Tukey réalisé sur l'échelle log Odds Ratio. La significativité de différence est basée sur  $p$ -value  $< 0,05$ .

Intéressons-nous au point de vue de la vache et non du système (Tableau 21). Le taux d'insémination dans les 21 premiers jours après la date possible d'insémination attribuée à la vache laitière est de 75 % en moyenne au sein de la population d'étude, dans les 42 premiers jours il est de 92%. L'effet du système est non significatif pour ce paramètre. En revanche, les vaches Mo sont plus nombreuses à être inséminées rapidement que les vaches Ho (Tableau 21).

Les taux de gestation sont en moyenne de 36% et 53 % dans les 21 et 42 premiers jours suivant la date individuelle d'insémination possible. Là encore, l'effet du système est non significatif sur ces variables. Cependant, les vaches Mo présentent de meilleurs taux de gestation à 21 (+12% ;  $p < 0,01$ ) et à 42 jours (+ 17% ;  $p < 0,001$ ) que les vaches Ho. Bien que non significatif, il ressort une nouvelle fois que les vaches Ho du SH sont les animaux présentant les moins bonnes performances.

**Tableau 21 : Taux d'insémination et de gestation dans les 21 et 42 premiers jours de la saison de reproduction individuelle en fonction de la race et du système**

	Montbéliarde		Holstein		Total	P-value <sup>1</sup>		
	SH	SPCE	SH	SPCE		R	S	R*S
Nombre d'animaux inséminés au cours de la saison de reproduction	171	257	134	215	777			
Taux d'insémination dans les 21 jours indiv (%)	79% <sup>a</sup>	82% <sup>a</sup>	70%	68% <sup>c</sup>	75%			
Odds Ratio	1,88	2,16	1,12	1 (ref)		!	0,58	0,47
Taux d'insémination dans les 42 jours indiv (%)	95% <sup>a</sup>	96% <sup>a</sup>	87% <sup>c</sup>	89% <sup>bc</sup>	92%			
Odds Ratio	2,56	2,71	0,77	1 (ref)		**	0,90	0,72
Taux de gestation dans les 21 jours physio (%)	40% <sup>a</sup>	43% <sup>a</sup>	25% <sup>c</sup>	33% <sup>bc</sup>	36%			
Odds Ratio	1,39	1,60	0,71	1 (ref)		**	0,50	0,52
Taux de gestation dans les 42 jours physio (%)	59% <sup>a</sup>	62% <sup>a</sup>	35% <sup>c</sup>	48% <sup>bc</sup>	53%			
Odds Ratio	1,59	1,83	0,58	1 (ref)		***	0,50	0,19

<sup>1</sup>p-value du modèle l'analyse de variance réalisée pour évaluer la significativité de l'influence des facteurs explicatives \*\*\*\* :  $p < 0,0001$  ; \*\*\* :  $p < 0,001$  ; \*\* :  $p < 0,01$  ; \* :  $p < 0,05$  ; !  $p < 0,1$ .

R : Race, S : Système, R\*S : <sup>1</sup>interaction Race\*Système, la p-value présentée compare MoSH et HoSPCE pour le détail, se référer aux lettres.

<sup>a-d</sup> au sein d'une même ligne, les valeurs n'ayant pas de lettres en commun sont statistiquement différentes. La méthode de comparaison est basée sur le test de Tukey réalisé sur l'échelle log Odds Ratio. La significativité de différence est basée sur p-value  $< 0,05$ .

### III - 1 - 5 -Performances de santé

#### III - 1- 5- (1) Incidence cumulée des évènements sanitaires

Sur 44 semaines de lactation, les évènements sanitaires les plus nombreux au sein des deux systèmes sont les boiteries avec 57 cas pour 100 vaches en moyenne (Tableau 22). Les animaux du SH sont plus touchés que ceux du SPCE (43% des lactations liées à une boiterie contre 18% dans le SPCE,  $p < 0,0001$ , Tableau 23). Les vaches Mo ont tendance à présenter plus de boiteries que celles de race Ho (37% contre 25%,  $p = 0,12$ ).

La deuxième entité la plus représentée correspond aux troubles génitaux touchant surtout les Ho (31 cas pour 100 vaches) plus que les Mo (15 cas pour 100 vaches) et plutôt les animaux du SH.

Ensuite, les mammites cliniques sont plus nombreuses dans le SPCE (19% de lactations touchées) que dans le SH (10% de lactations touchées,  $p < 0,05$ ). Les animaux du SPCE présentent également plus de signes respiratoires et digestifs plus importants, la très faible présence de ces signes dans le SH n'a pas permis de réaliser de tests de régression logistique selon les modèles utilisés. Il ne semble pas y avoir de différences entre races pour ces trois derniers types de troubles sanitaires.

**Tableau 22 : Evènements sanitaires rencontrés sur 308 jours de lactation : Nombre de cas pour 100 vaches.**

308 jours	Montbéliarde		Holstein		Total
	SH	SPCE	SH	SPCE	
Nombre d'individus	207	328	165	270	970
Troubles totaux	125	131	<b>150</b>	134	134
<b>Boiteries</b>	<b>81</b>	43	<b>65</b>	19	48
<b>Troubles génitaux</b>	<b>20</b>	12	<b>47</b>	<b>21</b>	22
<b>Mammites cliniques</b>	13	<b>21</b>	13	<b>28</b>	20
<b>Troubles respiratoire</b>	1,0	<b>27</b>	2,0	<b>29</b>	18
Digestifs	1,0	<b>21</b>	2,4	<b>20</b>	13,5
Péritonites	3,4	3,0	5	<b>6</b>	4,6
Inflammation locale	2,0	0,9	<b>11,5</b>	3,7	3,7
Hypocalcémie	2,0	2,1	4,2	<b>6,3</b>	3,6

**Tableau 23 : Taux de vaches présentant au moins une boiterie, une mammite ou un trouble de l'appareil génital sur 44 semaines de lactations en fonction de la race et du système.**

	Montbéliarde		Holstein		Total	P-value <sup>1</sup>		
	SH	SPCE	SH	SPCE		R	S	R*S
Nombre d'animaux	207	328	165	270	970			
Taux d'animaux présentant au moins une boiterie	49% <sup>a</sup>	30% <sup>b</sup>	40% <sup>a</sup>	15% <sup>c</sup>	32%			
Odds Ratio	5,5	2,21	3,93	1(ref)		0,12	***	0,49
Taux d'animaux présentant au moins une mammite	10% <sup>a</sup>	16% <sup>ab</sup>	10% <sup>a</sup>	23% <sup>bc</sup>	16%			
Odds Ratio	0,35	0,60	0,39	1(ref)		0,76	*	0,33
Taux d'animaux présentant au moins un trouble de l'appareil génital	14% <sup>ab</sup>	10% <sup>a</sup>	30% <sup>c</sup>	18% <sup>b</sup>	17%			
Odds Ratio	0,72	0,52	1,94	1(ref)		***	0,23	0,34

<sup>1</sup>Légende se référer au Tableau 21

Ces évènements sanitaires sont répartis différemment selon le stade de lactation des animaux. Ainsi les troubles génitaux sont majoritairement retrouvés dans les 44 premiers jours de lactation (Tableau 24). Il ressort également que les vaches Ho du SH sont les animaux les plus touchés avec 37 cas pour 100 vaches contre 17 cas pour les Mo du même système et les Ho du SPCE. Chez les vaches Mo à 44 jours de lactation, les boiteries sont les deuxièmes troubles les plus observés au sein des deux systèmes (12 cas pour 100 vaches).

De plus, à 44 jours de lactation, les évènements tels que mammites cliniques, troubles respiratoires et digestifs sont déjà surreprésentés dans le SPCE. Les vaches Ho présentent également plus d'hypocalcémies (5 cas pour 100 vaches) que les vaches Mo (2 cas pour 100 vaches).

**Tableau 24 : Evènements sanitaires rencontrés sur les 44 premiers jours de lactation : Nombre de cas pour 100 vaches.**

44 jours	Montbéliarde		Holstein		Total
	SH	SPCE	SH	SPCE	
Nombre d'individus	207	328	165	270	970
Troubles totaux	<b>43</b>	38	<b>69</b>	<b>47</b>	47
<b>Boiteries</b>	<b>14</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	2	9
<b>Troubles génitaux</b>	<b>17</b>	10	<b>37</b>	<b>17</b>	18
<b>Mammites cliniques</b>	3	<b>7</b>	5	<b>8</b>	6
Troubles respiratoires	1,0	3	0,6	4	3
Troubles digestifs	0	<b>4</b>	0,6	<b>7</b>	3
Péritonites	2	0,3	0,6	1,1	0,9
Inflammations locales	1,0	0	0	0,4	0,3
<b>Hypocalcémie</b>	2	2	<b>4</b>	<b>6</b>	3,5

A l'inverse, entre 45 et 110 jours de lactation, les troubles majoritaires sont les boiteries. A ce stade de lactation, elles sont surreprésentées dans le SH (Tableau 25), avec 21 cas pour 100 vaches chez les vaches Mo et 15 cas pour 100 vaches chez les vaches Ho. Il est à noter qu'à ce stade de lactation, les mammites ne sont pas les évènements les plus observés, au contraire des troubles respiratoires et digestifs présents presque uniquement dans le SPCE. De plus, sur cette période, les troubles génitaux sont un souci principalement pour les vaches Ho du SH.

**Tableau 25 : Evènements sanitaires rencontrés entre 45 et 110 jours de lactation : Nombre de cas pour 100 vaches.**

45/110 jours	Montbéliarde		Holstein		Total
	SH	SPCE	SH	SPCE	
Nombre d'individus	207	328	165	270	970
Troubles totaux	31	<b>43</b>	32	<b>42</b>	38
<b>Boiteries</b>	<b>21</b>	5	<b>15</b>	2,6	9,5
Troubles génitaux	3	1,2	<b>8,5</b>	3	3
<b>Mammites cliniques</b>	4	<b>5,5</b>	2,4	<b>8</b>	5
<b>Troubles respiratoires</b>	0	<b>13</b>	0	<b>14</b>	8
<b>Troubles digestifs</b>	0	<b>14</b>	1,2	<b>10</b>	8
Péritonites	1,0	2,1	1,2	2,2	2
Inflammation locale	1,0	0,6	2,4	1,1	1

### III - 1- 5- (2) Approche de l'état sanitaire des mamelles via les concentrations en cellules somatiques du lait individuelles

La comparaison des scores moyens hebdomadaires en cellules somatiques met en évidence un effet du système et de la race (Tableau 26). Ils sont plus élevés en moyenne au sein du SPCE à 7 semaines de lactation (p<0.001). A 7 semaines, le SCS moyen est supérieur chez les Ho (p <0,01) et la tendance est la même à 44 semaines (p = 0,09).

**Tableau 26 : Moyennes ajustées des scores en cellules somatiques du lait à 7 et 44 semaines de lactation.**

	Montbéliarde		Holstein		P-value <sup>1</sup>			
	SH	SPCE	SH	SPCE	ETR	R	S	R*S
SCSm7s	2,31 <sup>a</sup>	2,79 <sup>bc</sup>	2,57 <sup>ab</sup>	2,98 <sup>c</sup>	1,42	*	***	0,72
SCSm44s	2,72 <sup>a</sup>	3,15 <sup>b</sup>	2,92 <sup>a</sup>	3,22 <sup>b</sup>	1,22	!	**	0,42

<sup>1</sup>p-value du modèle d'analyse de variance réalisé pour évaluer la significativité de l'influence des facteurs explicatifs \*\*\*\* : p < 0,0001 ; \*\*\* : p < 0,001 ; \*\* : p < 0,01 ; \* : p < 0,05 ; ! : p < 0,1.

SCSm7s : score en cellules somatiques du lait moyenne à 7 semaines de lactation ; SCSm44s : score en cellules somatiques du lait moyenne à 44 semaines de lactation ; ETR : écart type résiduel ; R : race, S : système, R\*S : race\*système. <sup>a-d</sup> au sein d'une même ligne, les valeurs n'ayant pas de lettres en commun sont statistiquement différentes (p < 0,05 par comparaison de Tukey).

L'incidence des mammites subcliniques sur 44 semaines de lactation est en moyenne de 8 nouveaux cas pour 100 contrôles cellulaires (Tableau 27). Elle n'est pas différente entre race et entre système. En revanche, la prévalence sur 44 semaines de lactation, en moyenne de 36 % est supérieure dans le SPCE (+ 11 % chez les vaches Ho et + 14 % chez les vaches Mo).

**Tableau 27 : Prévalence et incidence des mammites subcliniques sur 44 semaines de lactation.**

	Montbéliarde		Holstein		Total
	SH	SPCE	SH	SPCE	
Incidence des mammites subcliniques sur 44 semaines de lactation (nombre de nouveaux cas sur 100 contrôles cellulaires)	8,1	8,4	7,5	8,4	8,2
Prévalence des mammites subcliniques sur 44 semaines de lactation	29 %	40 %	27 %	41 %	36 %

### III - 1 - 6 -Analyse de la longévité et de la carrière

#### III - 1- 6- (1) Devenir des animaux suite à leurs deux premières lactations

Au sein des systèmes étudiés, le taux de réforme en première et deuxième lactation est en moyenne de 25%, ainsi 61 à 64 % des animaux réalisent une deuxième puis une troisième lactation sans lactation prolongée. L'effet de la race et du système ne sont pas significatifs pour le passage en deuxième lactation ou le risque de réforme après une première et une deuxième lactation (Tableau 28). Toutefois les Mo ont plus de chance de faire une troisième en lactation suite à une deuxième lactation que les Ho (Tableau 28, p<0.05). Les statistiques n'ont pas été réalisées sur le risque de réaliser une lactation prolongée faute d'effectif suffisant. Néanmoins, il ressort que si les vaches Mo présentent des taux de réforme en deuxième lactation non significativement différents de celui des vaches Ho cela est lié à l'importante part des lactations prolongées chez ces dernières (Tableau 28). La tendance est la même pour les vaches en première lactation (Tableau 28).

**Tableau 28 : Devenir des vaches laitières de première ou deuxième lactation : pourcentage d'animaux réalisant une nouvelle lactation ou continuant la lactation par une lactation prolongée ou réformés.**

	Montbéliarde		Holstein		Total	P-value <sup>1</sup>		
	SH	SPCE	SH	SPCE		R	S	R*S
<b>Première lactation</b>								
Nb d'ind <sup>2</sup>	74	125	65	116	380			
Lactation prolongée	13 %	0,8 %	18 %	12 %	10 %			
2ème lactation	62 <sup>a</sup> %	70 <sup>a</sup> %	61 <sup>a</sup> %	62 <sup>a</sup> %	64 %	0,28	0,94	0,48
Réforme	24 <sup>a</sup> %	30 <sup>a</sup> %	20 <sup>a</sup> %	26 <sup>a</sup> %	26 %	0,42	0,54	0,90
<b>Deuxième lactation</b>								
Nb d'ind <sup>1</sup>	43	80	36	68	227			
Lactation prolongée	5 %	5 %	33 %	18 %	13 %			
3ème lactation	70 <sup>a</sup> %	66 <sup>a</sup> %	44 <sup>a</sup> %	59 <sup>a</sup> %	61%	0,69	*	0,20
Réforme	26 <sup>a</sup> %	29 <sup>a</sup> %	22 <sup>a</sup> %	23 <sup>a</sup> %	25 %	0,71	0,73	0,89

<sup>1</sup>p-value du modèle de régression logistique réalisé pour évaluer la significativité de l'influence des facteurs explicatifs \*\*\*\* : p < 0,0001 ; \*\*\* : p < 0,001 ; \*\* : p < 0,01 ; \* : p < 0,05.

<sup>2</sup>Nombre d'individus, R : Race, S : Système, R\*S : <sup>1</sup>interaction Race\*Système, la p-value présentée compare MoSH et HoSPCE pour le détail, se référer aux lettres.

<sup>a-d</sup> au sein d'une même ligne, les valeurs n'ayant pas de lettres en commun sont statistiquement différentes. La méthode de comparaison est basée sur le test de Tukey, réalisé sur l'échelle log Odds Ratio. La significativité de différence est basée sur p-value < 0,05.

En moyenne, 23 % des animaux de l'expérimentation réalisent au moins une lactation prolongée au cours de leur vie productive. Le nombre de vaches Ho est significativement plus important que celui des vaches Mo (Tableau 29). Le SH favorise également ce recours (Tableau 29) bien que l'analyse intra-race ne montre qu'une tendance (+10 % pour les Mo ; + 8 % chez les Ho Tableau 27; p > 0.05).

**Tableau 29 : Pourcentage d'animaux réalisant au moins une lactation prolongée au cours de leur vie productive en fonction de la race et du système**

	Montbéliarde		Holstein		Total	P-value <sup>2</sup>		
	SH	SPCE	SH	SPCE		R	S	R*S
Nb d'ind. <sup>2</sup>	61	105	56	95	317			
Vaches réalisant au moins une LP dans leur carrière	18% <sup>ab</sup>	7,6% <sup>a</sup>	41% <sup>c</sup>	33% <sup>bc</sup>	23%	*	**	0,31

<sup>1</sup>p-value du modèle d'analyse de variance réalisé pour évaluer la significativité de l'influence des facteurs explicatifs \*\*\*\* : p < 0,0001 ; \*\*\* : p < 0,001 ; \*\* : p < 0,01 ; \* : p < 0,05. <sup>2</sup>Nombre d'individus.

R : race ; S : Système ; LP : Lactation prolongée Race\*Système, la p-value présentée compare MoSH et HoSPCE pour le détail, se référer aux lettres.

<sup>a-d</sup> au sein d'une même ligne, les valeurs n'ayant pas de lettres en commun sont statistiquement différentes. La méthode de comparaison est basée sur le test de Tukey, réalisé sur l'échelle log Odds Ratio. La significativité de différence est basée sur p-value < 0,05.

Malgré une forte proportion d'animaux réalisant une lactation prolongée afin de leur éviter la réforme, la reproduction est la première cause de réforme après une première lactation au sein des deux systèmes (Tableau 30).

**Tableau 30 : Cause de réforme suite à la première lactation**

	Montbéliarde		Holstein		Total
	SH	SPCE	SH	SPCE	
Nb d'ind <sup>1</sup> réformés	19	36	13	30	98
Reproduction	39 %	40 %	77 %	37 %	44%
Production insuffisante	22 %	19 %	0 %	7 %	17%
Santé	5 %	16 %	15 %	27 %	13%
Cause liée au système	5 %	13 %	0 %	7 %	8%
Autre	27 %	11 %	8 %	23 %	17%

<sup>1</sup>Nombre d'individus

### III - 1- 6- (2) Durée et performance de vie productive

Au sein des systèmes étudiés, la durée de vie productive moyenne des vaches Ho est de 982 jours et celle des vaches Mo de 1043 jours, elles produisent 15615 et 15490 kg de lait et 1154 et 1173 kg de MU respectivement. La race et le système d'appartenance n'ont pas d'effet significatif sur la durée de vie productive, ni sur la production de lait et de matière utile totale au cours de la vie productive des vaches laitières de l'étude (Tableau 31). En revanche, la réalisation d'au moins une lactation prolongée au cours de la carrière de l'animal augmente sa durée de vie productive (+ 439 jours), la production laitière (+6658 kg) et la production de MU (+544 kg) totale au cours de la carrière ( $p < 0,001$ , Tableau 31).

Les vaches laitières de l'étude produisent entre 14,6 et 17 kg de lait par jour de vie productive et entre 1,10 et 1,25 kg de MU. La production laitière et de MU par jour de vie sont influencées significativement par la race et le système. Les vaches Ho du SPCE produisent plus de lait et de MU par jour de vie productive que les autres catégories (Tableau 31). L'interaction race\*système est significative pour ces variables, les vaches Mo présentent des productions similaires dans les deux systèmes alors que la différence est significative entre système pour les Ho (+1,25 kg de lait par jour ; +120g de MU par jour ;  $p < 0,05$ ).

**Tableau 31 : Moyennes ajustées des durées de vie productives et de la production laitière selon la race, le système et la réalisation d'une lactation prolongée au cours de la carrière de l'animal.**

	Montbéliarde		Holstein		LP		P-value <sup>1</sup>				
	SH	SPCE	SH	SPCE	avecLP	sansLP	ETR	R	S	LP	R*S
Nb d'ind. <sup>2</sup>	61	105	56	95	75	244					
Durée de vie productive (en jours)	1029 <sup>a</sup>	1058 <sup>a</sup>	976 <sup>a</sup>	988 <sup>a</sup>	1232 <sup>e</sup>	793 <sup>f</sup>	612	0,42	0,77	***	0,90
PLcarrière (Kg)	15 081 <sup>a</sup>	15 899 <sup>a</sup>	14 672 <sup>a</sup>	16 557 <sup>a</sup>	18 881 <sup>e</sup>	12 223 <sup>f</sup>	9 499	0,91	0,22	***	0,63
MUcarrière (Kg)	1135 <sup>a</sup>	1211 <sup>a</sup>	1087 <sup>a</sup>	1222 <sup>a</sup>	1435 <sup>e</sup>	891 <sup>f</sup>	699	0,82	0,20	***	0,71
PL_jourdevie (Kg/jour)	14,6 <sup>a</sup>	14,6 <sup>a</sup>	15,5 <sup>a</sup>	17,0 <sup>b</sup>	15,2 <sup>e</sup>	15,7 <sup>e</sup>	2,72	***	**	0,22	*
MU_jourdevie (Kg/jour)	1,10 <sup>a</sup>	1,11 <sup>a</sup>	1,13 <sup>a</sup>	1,25 <sup>b</sup>	1,16 <sup>e</sup>	1,14 <sup>e</sup>	0,20	***	**	0,52	*

<sup>1</sup>p-value du modèle d'analyse de variance réalisée pour évaluer la significativité de l'influence des facteurs explicatifs \*\*\*\* : p<0,0001 ; \*\*\* : p<0,001 ; \*\* : p<0,01 ; \* : p<0,05

<sup>2</sup>Nombre d'individus

LP : présence d'au moins une lactation prolongée au cours de la vie de l'animal ; ETR : écart type résiduel ; R : Race ; S : Système ; R\*S : interaction race\*système ; MUcarrière : Production totale de matière utile sur la carrière ; PLcarrière : Production laitière totale sur la carrière ; PL\_jourdevie : Production laitière par jour de vie productive ; MU\_jourdevie : Production de matière utile par jour de vie productive.

<sup>a-f</sup>permet de distinguer les différences significatives de moyennes entre race et entre systèmes (p<0,05 par comparaison de Tukey)

## III-2) Intégration des données de santé à l'analyse des profils de compromis entre fonctions biologiques

### III - 2 - 1 - Mise en évidence des profils de compromis entre fonctions biologiques

#### III - 2- 1- (1) Résultat de l'ACP

Les 4 premières dimensions de l'ACP expliquent 50 % de la variabilité (ANNEXE 8) Le premier axe de l'ACP explique 14,2% de la variabilité des données, il rassemble les individus présentant un intervalle insémination possible – insémination fécondante long et un nombre important d'insémination. Le deuxième axe, participant à 14%, sépare les individus dont les variations de NEC en début et fin de lactation sont importantes de ceux dont la NEC stagne. Le troisième, avec 11,4% d'explication isole les individus dont l'intervalle IpossI-1 est long de ceux subissant beaucoup d'inséminations. Le 4<sup>ème</sup> axe moins discriminant (10%), différencie les animaux avec la meilleure production de MU de ceux qui présentent le plus de troubles sanitaires au cours des 44 premiers jours de lactation. Les variables sanitaires ne participent pas aux 4 premiers axes.

#### III - 2- 1- (2) Résultat de la classification

La CAH réalisée suite à l'ACP permet de distinguer 4 classes d'animaux. Chacune de ces classes correspond à des animaux exprimant le même profil de compromis entre fonctions biologiques.

**Tableau 32 : Moyenne des variables classifiantes au sein des profils réalisés par typologie des lactations incluant les données sanitaires.**

	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4	Total général
Nombre d'individus	294	256	125	216	891
Mu_tot	225*	-	-	253*	237
IVpicMU	-	-	2,13*	2,82*	2,66
persist_Mu	-0,31*	-0,38*	-0,42*	-0,28*	-0,34
NEC_V_min	0,23*	0,40*	0,36	0,27*	0,30
VNEC_min_fin	1,06*	1,24*	-	1,10*	1,13
stagn_NEC	1,92*	0,72*	-	1,69*	1,44
IpossI-1	12*	11*	48*	12*	17
IpossIfec	24*	34*	128*	122*	65
NbI	1,34*	1,59*	1,73*	3,35*	1,95
San44j	-	0,28*	0,79*	-	0,45
San45_110j	-	-	-	-	0,33

\* signifie que la moyenne du profil est significativement différente de la moyenne générale.

- signifie que la moyenne du profil n'est pas significativement différente de la moyenne générale, les valeurs n'ont pas été reportées pour plus de lisibilité. La significativité des différences avec la moyenne générale est testée grâce au package FactoMineR de R par un test de comparaison de moyenne Student.

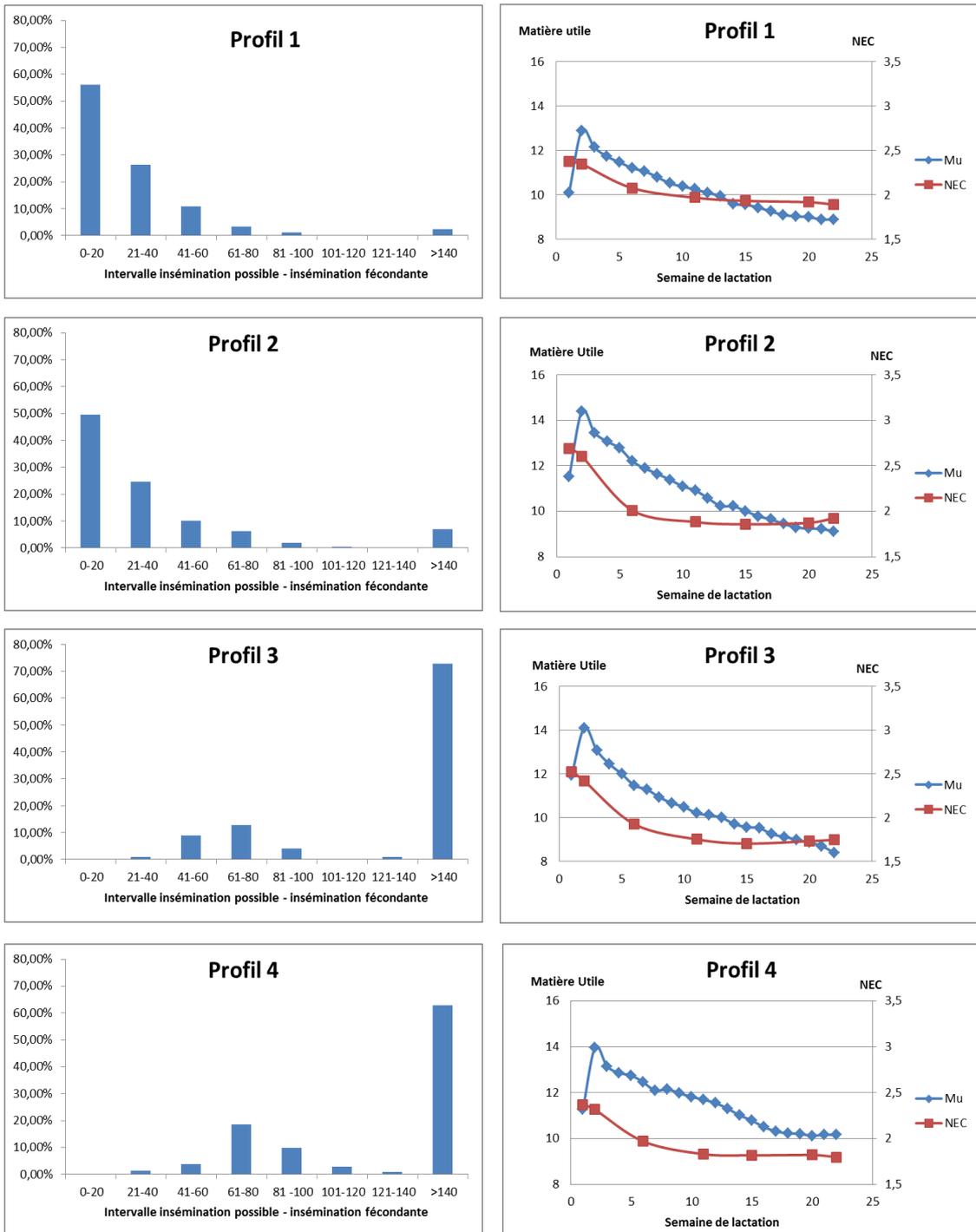
Mu\_tot : matière utile totale produite sur 150 jours de lactation ; IVpicMU : intervalle vêlage – pic de matière utile ; persist\_Mu : taux de persistance de la matière utile après le pic (Mu à 150jours - Mu au pic)/ Mu au pic ; NEC\_V\_min : taux de variation de la NEC entre le vêlage et la NEC minimale ; NEC\_min\_fin : rapport entre la NEC à 150 jours et la NEC minimale ; stagn\_NEC : nombre de fois où la NEC est égale d'un mois à l'autre ; IpossI-1 : intervalle insémination possible – première insémination ; IpossIfec : intervalle insémination possible – insémination fécondante ; NbI : nombre d'inséminations réalisées sur l'ensemble de la saison de reproduction ; San44 : somme des troubles sanitaires survenant dans les 44 premiers jours de lactation d'une vache laitière ; San45\_110j : somme des troubles sanitaires survenant entre 45 et 100 de lactation.

Le profil 1 rassemble 294 lactations. La production de MU y est la plus faible (Tableau 32) ce qui s'explique par un pic de lactation faible malgré une persistance de la production moyenne (Figure 8). En revanche, les performances de reproduction sont les meilleures avec un intervalle IpossI-1 court, l'intervalle IpossIfec le plus court et le plus faible nombre d'insémination. La NEC y est plutôt stagnante, la perte de NEC est la plus faible en début de lactation. Le nombre moyen de troubles de santé n'est pas significativement différent de la moyenne.

Le profil 2 est composé de 256 lactations. La production de MU est moyenne mais la persistance est plus faible que dans le profil n°1 (Tableau 32). La NEC des animaux de ce groupe est la plus variable, avec une perte importante en début de lactation (Figure 6) mais également une bonne reprise d'état avant 150 jours. Les performances de reproduction y sont bonnes avec un intervalle IpossIfec court et un nombre d'inséminations faible. Ce profil rassemble les lactations présentant le moins de troubles sanitaires.

Le profil 3 regroupe 125 animaux. La production de MU y est moyenne et la persistance de production est la plus mauvaise des 4 profils (Tableau 32). Le pic de production est également le plus précoce. La perte de NEC en début de lactation est importante. Les performances de reproduction sont mauvaises. L'intervalle IpossI-1 est le plus long (+ 31j ;  $p < 0,05$ ), tout comme l'intervalle IpossIfec (+ 63j ;  $p < 0,05$ ) (Figure 6). Ce groupe comporte les animaux non inséminés et non fécondés dans les 150 premiers jours de lactation et l'attribution des valeurs seuils augment la moyenne du groupe. Le faible nombre d'insémination va également dans ce sens. Ce groupe est celui où les lactations subissent le plus d'évènements sanitaires.

Le profil 4 avec 216 animaux est le groupe où la production de MU est la plus élevée (+ 16 kg,  $p < 0,05$ ). Le pic de lactation y est le plus tardif et la persistance la meilleure (Tableau 32). Les variations de NEC sont plus faibles que la moyenne (Figure 6), la perte de NEC et la reprise d'état à 150 jours post-partum sont faibles. Les performances de reproduction y sont médiocres avec un intervalle IpossIfec long (+ 57j ;  $p < 0,05$ ) malgré des inséminations commencées rapidement et un nombre important d'inséminations par rapport à la moyenne (+ 1,38 ;  $p < 0,05$ ). Le nombre de troubles de santé exprimés au cours de ces lactations n'est pas significativement différent de la moyenne.

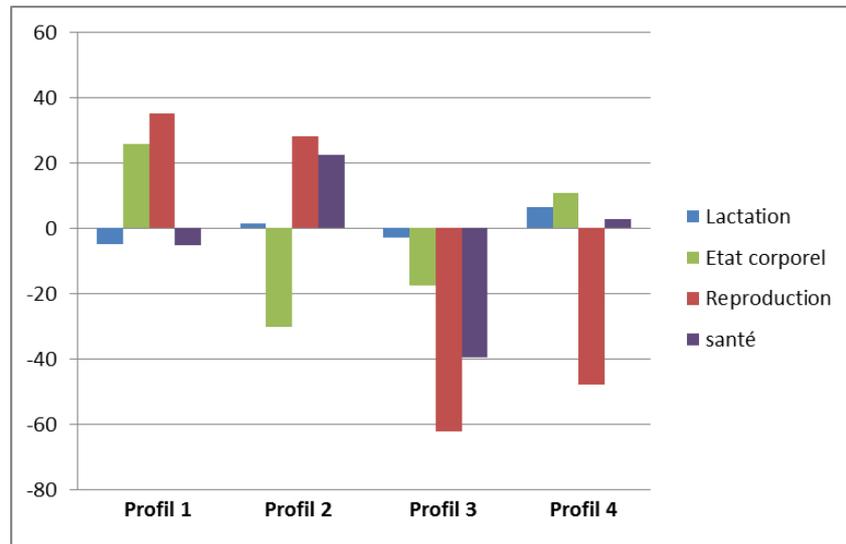


**Figure 6 : Représentation de la répartition des animaux selon l'intervalle vêlage - insémination fécondante (à gauche) et des courbes de matière utile et de NEC au sein des 4 profils réalisés dans le cadre de l'incorporation des résultats de santé.**

### III - 2- 1- (3) Bilan des compromis entre fonctions biologiques mis en évidence suite à l'incorporation des données de santé

Pour regrouper et comparer de manière simplifiée les 4 profils, les caractéristiques de chacun ont été schématisées sur un même axe (Figure 7). La MU totale produite sur 150 jours est utilisée pour représenter la fonction de lactation, la variation de NEC en début de lactation pour la fonction de maintien de l'état corporel, le taux de gestation pour la reproduction et le nombre moyens d'évènements sanitaires sur la période 0 – 110 jours pour la santé. Les résultats sont présentés en pourcentage de variation par rapport à la moyenne générale faisant office de 0 à l'ordonnée.

Au bilan, le profil 1 rassemble des lactations au cours desquelles le maintien de l'état corporel et la reproduction sont favorisés au détriment de la production laitière et de la santé. Le profil 2 correspond à des lactations avec de bonnes performances de reproduction et de santé, une production laitière maintenue et ce, au détriment du maintien de l'état corporel. Le profil 3 regroupe des lactations où les animaux sont en difficultés sur tous les points. Ce profil contient des animaux non inséminés mais aussi ayant vêlés tard, ainsi que les animaux ayant présentés le plus de troubles sanitaires. Le profil 4 correspond aux meilleures lactations en termes de production laitière, le maintien de l'état corporel et sanitaire est bon au détriment de la reproduction.



**Figure 7 : Bilan des profils de compromis obtenus suite à l'incorporation des données de santé**

La MU totale produite sur 150 jours est utilisée pour représenter la fonction de lactation, la variation de NEC en début de lactation pour la fonction de maintien de l'état corporel, le taux de gestation pour la reproduction et le nombre moyens d'évènements sanitaires sur la période 0 – 110 jours. Les résultats sont présentés en pourcentage de variation par rapport à la moyenne générale faisant office de 0 à l'ordonnée.

### III - 2 - 2 -Caractéristiques des animaux exprimant les différents profils de compromis entre fonctions biologiques

#### III - 2- 2- (1) Répartition en fonction de la race et du système.

Par rapport à la population d'étude (Tableau 33) :

- Le profil 1 comprend plus de Mo et d'animaux du SPCE. Les Ho du SH y sont sous représentées.
- La race et le système d'appartenance des animaux du profil 2 sont répartis dans les mêmes proportions que dans la population d'étude.
- Le profil 3 rassemble plus de Ho du SH. Les Mo du SPCE y sont sous représentées.

- Le profil 4 est composé de plus de Ho mais il n'y a pas de différence de système par rapport à la population générale.

### III - 2- 2- (2) Répartition en fonction du rang de lactation

Par rapport à la population d'étude (Tableau 33) :

- Le profil 1 est composé de plus de primipares et de vaches de deuxième lactation.
- La parité des animaux dans le profil 2 est la même que dans la population globale d'étude.
- Le profil 3 rassemble plus de primipares et moins de vache de deuxième lactation.
- Le profil 4 rassemble les lactations de parité 3 ou plus au détriment des primipares.

**Tableau 33 : Résultats des tests de Khi deux pour les variables illustratives des profils de compromis entre fonctions biologiques**

	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4	Total	P – value <sup>2</sup>
<b>Nb d'individus</b>	294	256	125	216	891	
<b>Race</b>						
Mo	<b>65%</b>	54%	<b>36%</b>	49%	54%	*****
Ho	<b>35%</b>	46%	<b>64%</b>	51%	46%	
<b>Système</b>						
SH	<b>34%</b>	37%	<b>53%</b>	41%	39%	**
SPCE	65%	63%	<b>47%</b>	60%	61%	
<b>Race*Système</b>						
Mo - SH	23%	22%	21%	20%	22%	*****
Mo - SPCE	<b>42%</b>	32%	<b>15%</b>	29%	32%	
Ho - SH	<b>11%</b>	15%	<b>32%</b>	20%	17%	
Ho - SPCE	<b>24%</b>	31%	32%	31%	29%	
<b>Rang</b>						
primipare	39%	39%	<b>46%</b>	<b>25%</b>	36%	***
2 <sup>ème</sup> lactation	<b>29%</b>	23%	<b>20%</b>	28%	25%	
3 <sup>ème</sup> lactation et plus	33%	38%	35%	<b>49%</b>	38%	
<b>Difficultés de vêlage</b>						
Avec <sup>1</sup>	<b>26%</b>	31%	38%	37%	32%	*
<b>Issue de la saison de reproduction</b>						
Gestante	98%	93%	<b>29%</b>	<b>39%</b>	71%	****
Non fécondée	2%	7%	<b>58%</b>	<b>60%</b>	25%	****
Non inséminée	0%	0%	12%	0%	1,6%	****
<b>Décision de LP</b>						
Avec LP	1%	2%	28%	<b>21%</b>	10%	****
<b>Mois de vêlage</b>						
<b>SH</b>	Janvier	8%	7%	<b>9%</b>	6%	**
	Février	12%	12%	<b>17%</b>	<b>16%</b>	
	Mars	9%	10%	13%	13%	
	Avril et +	5%	9%	<b>14%</b>	6%	
<b>SPCE</b>	Août	<b>18%</b>	<b>16%</b>	8%	10%	**
	Septembre	22%	22%	20%	20%	
	Octobre	13%	<b>16%</b>	10%	11%	
	Novembre et +	12%	9%	9%	<b>20%</b>	

<sup>1</sup>Toute aide au vêlage même légère est considérée comme une difficulté au vêlage.

<sup>2</sup>p-value du test de Khi deux appliqué pour évaluer la significativité des différences entre profils \*\*\*\*\* :

p<0,0001 ; \*\*\* : p<0,001 ; \*\* : p<0,01 ; \* : p<0,05

LP : lactation prolongée

### III - 2- 2- (3) Répartition en fonction des performances de reproduction

Le profil 1 est celui où les lactations sont liées à de bonnes performances de reproduction (Tableau 33), avec un taux de gestation de 98%. Les animaux vêlant tôt dans le SPCE y sont surreprésentés (18% contre 14% dans la population globale). Les difficultés de mise bas sont moins rencontrées au début de ces lactations (26% des lactations commencent par un vêlage avec assistance contre 32% en moyenne). Le profil 2 présente des performances moindres mais bonnes (91% de gestation) avec un taux d'aide au vêlage plus important qui se rapproche de la moyenne. Le profil 3 comprend les lactations non accompagnées d'inséminations et le plus de lactations débutant par un vêlage difficile. Les vêlages tardifs du SH sont surreprésentés dans ce profil. Le profil 4 est également composé d'animaux vêlant tard dans le SPCE (20% contre 12% dans la population globale) et avec des difficultés au vêlage (37% contre 32% en moyenne). Les lactations des profils 3 et 4 sont celles parmi lesquelles les lactations prolongées sont les plus nombreuses.

### III - 2- 2- (4) Caractéristique de production laitière et état corporel au vêlage

Le profil n°4 rassemble les animaux produisant le plus de lait et de MU sur 44s (5846 kg de lait contre 5403 kg en moyenne et 432 kg de Mu contre 395 kg en moyenne, Tableau 34), cela se retrouve aussi sur les performances ramenées au poids vifs. Le profil n° 1 est celui qui produit le moins de lait et de matière utile sur 44 semaines. La production dans les autres profils est moyenne sur 44s.

Le meilleur taux butyreux est retrouvé au cours des lactations du profil n°4. Les taux protéiques sont en moyenne les mêmes au sein des profils 1, 2 et 4 mais les lactations du profil n°3 présentent un TP moyen plus bas que la moyenne avec le plus faible TP minimal atteint, il est de 26,8 g/litres alors que ces animaux produisent néanmoins plus de MU au 100 kg de poids vifs (60,2 kg) que les lactations du profil n°1 qui présente un meilleur TP moyen (32,8 g/l).

La NEC au vêlage est la plus haute dans les profils 1 et 2 qui sont ceux présentant une perte de NEC en début de lactation la plus forte. Le poids vif moyens sur 44 semaines de lactation est le plus faible dans le profil 3.

**Tableau 34 : Résultats de l'analyse des variables illustratives quantitatives des profils de compromis entre fonctions biologiques.**

	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4	ETR	p-value <sup>1</sup>
<b>Nb d'individus</b>	294	256	125	216		
PLt44s (kg)	5122 <sup>a</sup>	5393 <sup>b</sup>	5327 <sup>b</sup>	5846 <sup>c</sup>	990	***
TPm44s (g/l)	32,8 <sup>a</sup>	32,4 <sup>a</sup>	31,7 <sup>b</sup>	32,5 <sup>a</sup>	3,25	***
TBm44s (g/l)	41,8 <sup>a</sup>	42,0 <sup>ab</sup>	41,4 <sup>a</sup>	42,5 <sup>b</sup>	2,12	*
Mut44s (kg)	374 <sup>a</sup>	394 <sup>b</sup>	383 <sup>ab</sup>	432 <sup>c</sup>	71	***
TPmin (g/l)	28,3 <sup>a</sup>	27,9 <sup>b</sup>	26,8 <sup>c</sup>	27,9 <sup>ab</sup>	2,2	***
<b>Production laitière/ poids vif</b>						***
PLt44sPV (kg/kg)	7,88 <sup>a</sup>	8,16 <sup>b</sup>	8,38 <sup>b</sup>	8,76 <sup>c</sup>	1,4	***
Mut44sPV (kg/100kg)	57,6 <sup>a</sup>	59,6 <sup>b</sup>	60,2 <sup>b</sup>	64,6 <sup>c</sup>	10,0	***
<b>Note d'état corporel au vêlage</b>						
NECvel	2.38 <sup>a</sup>	2.70 <sup>b</sup>	2.57 <sup>c</sup>	2.37 <sup>a</sup>	0.58	***
PVm44s (kg)	651 <sup>a</sup>	662 <sup>b</sup>	634 <sup>c</sup>	669 <sup>b</sup>	58.5	***

<sup>1</sup>p-value du modèle d'analyse de variance réalisée pour évaluer la significativité entre profil ; \*\*\*\* : p<0,0001 ; \*\*\* : p<0,001 ; \*\* : p<0,01 ; \* : p<0,05.

PLt44s : production laitière totale sur 44 semaines ; Mut44s : matière utile totale produite sur 44 semaines de lactation ; TBm44s : taux butyreux moyen sur 44 semaines de lactation ; TPm44s : taux protéique moyen sur 44 semaines de lactation ; TPmin : Taux protéique minimal atteint sur 44 semaines de lactation. ETR : écart type résiduel ; <sup>a-d</sup> permet de distinguer les différences significatives de moyennes entre race et entre systèmes (p<0,05 par comparaison de Tukey)

### III - 2- 2- (5) Caractéristiques sanitaires des profils

Pour les périodes d'études choisies, de 0 à 44 jours post-partum et de 45 à 110 jours post-partum, seuls les résultats concernant les boiteries et les troubles de l'appareil génital ont pu être analysés statistiquement faute d'évènements en nombre suffisant pour les autres évènements sanitaires. La somme des évènements sanitaires de 0 à 110 jours post-partum a été également calculée et testée pour plusieurs pathologies (mammites, troubles de l'appareil respiratoire, troubles de l'appareil digestif).

Il ressort que les lactations au cours desquelles il y a au moins un trouble de l'appareil génital dans les 44 premiers jours, comme sur la période 0 – 110j post partum, sont surreprésentées dans le profil 3 mais également dans le profil 4 (Tableau 35), les deux profils présentant de médiocres performances de reproduction par la suite. Les boiteries sont surreprésentées à partir de 45 jours dans le profil 3 mais également dans le profil 4. Ainsi bien que le nombre de troubles sanitaires du profil 4 soient proches de la moyenne, il y a quand même une tendance à présenter des troubles de santé plus que la moyenne pour les lactations constituant ce profil.

Cette étude des caractéristiques permet également de mettre en évidence que bien que la moyenne des évènements sanitaires touchant les animaux du profil 1 a tendance à être supérieure à celle de la population générale (Figure 7), le nombre d'animaux présentant des troubles a plutôt tendance à être plus faible dans ce groupe.

**Tableau 35 : Résultats des tests de khi deux<sup>1</sup> pour les variables illustratives de santé des profils de compromis entre fonctions biologiques.**

		Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4	Total	P – value <sup>2</sup>
<b>Nb d'individus</b>		294	256	125	216	891	
<b>% d'animaux présentant au moins un évènement sanitaire</b>	<b>0 – 44j Post - Partum</b>						
	Boiteries	6%	7%	10%	6%	7%	0.34
	<b><u>Troubles génitaux</u></b>	<b><u>12%</u></b>	<b><u>8%</u></b>	<b><u>26%</u></b>	<b><u>18%</u></b>	14%	****
	<b>Entre 45 et 110 j</b>						
	<b><u>Boiteries</u></b>	<b><u>5%</u></b>	7%	<b><u>11%</u></b>	10%	8%	0.11
	<b>0-110j Post - Partum</b>						
	Mammites cliniques	7%	9%	9%	11%	9%	0.4
Troubles respiratoires	12%	10%	12%	10%	11%	0.9	
Troubles digestifs	8%	7%	10%	6%	11%	0.52	
<b><u>Troubles génitaux</u></b>	<b><u>13%</u></b>	<b><u>8%</u></b>	<b><u>30%</u></b>	<b><u>22%</u></b>	16%	****	
<b><u>Boiteries</u></b>	<b><u>11%</u></b>	14%	<b><u>20%</u></b>	14%	14%	0.10	

<sup>1</sup>pour l'analyse statistique les données ont été modifiées en variable binaire : présence ou absence de pathologies au cours de la lactation. <sup>2</sup>p-value du test de Khi deux appliqué pour évaluer la significativité des différences entre profils \*\*\*\* : p<0,0001 ; \*\*\* : p<0,001 ; \*\* : p<0,01 ; \* : p<0,05

### III - 2- 2- (6) Répétition des profils au cours de la carrière de la vache laitière

Le type de profil de compromis exprimé par une vache laitière ne semble pas le même d'une lactation à l'autre (Tableau 36). Suite à une lactation exprimant le profil 1, 25 % des lactations suivantes sont également du profil 1 ce qui est supérieur à la moyenne (18%). Les lactations du profil 2 sont suivies seulement à 20 % de lactations du profil 2, ce qui est supérieur à la moyenne (+ 4%). Les lactations du profil 3 sont suivies seulement à 6% de lactations du profil 3, ce qui est égal à la moyenne. Les lactations du profil 4 sont suivies à 13% de lactation du profil 4 (-4 % par rapport à la moyenne). Bien que la p-value soit significative, les écarts sont relativement faibles.

Toutefois il ressort que les lactations du profil 3 et 4 sont particulièrement suivies de réforme (+ 28 et + 25 % par rapport à la moyenne). De plus, une lactation de profil 3 ou 4 peut être suivie d'une lactation du profil 1 ou 2 (Tableau 36). Il n'a pas été possible faute d'effectifs suffisants de réaliser un test de chi deux sur la répartition des lactations n+2 en fonction de la lactation n. Toutefois, là encore peu d'écarts par rapport à la moyenne existent (Tableau 37).

Suite à des lactations prolongées, les lactations du profil 4 sont surreprésentées (+5% par rapport à la moyenne, Tableau 36), alors que les lactations du profil 1 et 2 sont sous représentées (-15% et - 6% par rapport à la moyenne). Le taux de réforme est également supérieur suite à une lactation prolongée.

**Tableau 36 : Répartition des lactations n+1 au sein des profils en fonction du profil de la lactation n et selon que la lactation n soit une lactation prolongée ou non.**

		Profil de lactation n					Type de la lactation n				
		Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4	Total	p-value <sup>1</sup>	LC	LP	Total	p-value <sup>1</sup>
		290	251	123	213	877		713	75	788	
<b>Profil de la lactation n+1</b>	<b>Profil 1</b>	25 %	26 %	6 %	7 %	18%		21%	5%	20%	
	<b>Profil 2</b>	22 %	20 %	9 %	8 %	16%		18%	12%	18%	
	<b>Profil 3</b>	7 %	8 %	6 %	5 %	7%	****	7%	9%	7%	**
	<b>Profil 4</b>	20 %	21 %	9 %	13 %	17%		18%	24%	19%	
	<b>Réforme</b>	26 %	25 %	70 %	67 %	42%		35%	49%	36%	

<sup>1</sup>p-value du test de Khi deux appliqué pour évaluer la significativité des différences entre profils \*\*\*\* : p<0,0001 ; \*\*\* : p<0,001 ; \*\* : p<0,01 ; \* : p<0,05. LC : lactation non prolongée, « lactation classique » ; LP : lactation prolongée.

**Tableau 37 : Répartition des lactations n+2 au sein des profils en fonction du profil de la lactation n.**

		Profil de la lactation n				
		Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4	Total
		251	226	108	203	788
<b>Profil de la lactation n+2</b>	<b>Profil 1</b>	17 %	11 %	3 %	4 %	10%
	<b>Profil 2</b>	16 %	12 %	5 %	5 %	11%
	<b>Profil 3</b>	5 %	6%	1 %	2 %	4%
	<b>Profil 4</b>	13 %	16%	3 %	7 %	11%
	<b>Réforme</b>	49 %	54 %	89 %	82 %	64%

## DISCUSSION

### I - Synthèse des principaux résultats

#### I-1) Quelle capacité des Montbéliarde et des Holstein à s'adapter aux systèmes contraints de Mirecourt ?

##### I - 1 - 1 -Des différences d'adaptation mises en évidence sur les performances de lactation, reproduction et condition corporelle.

Les systèmes étudiés sont tous deux des systèmes où l'apport énergétique de l'alimentation est bas. Ainsi, d'une manière générale et comme attendu, la production laitière et de matière utile y est plutôt faible. La production laitière du SH est en moyenne de 4850 kg et celle du SPCE de 5115 kg. Les vaches Ho produisent plus de lait et de matière utile que les vaches Mo dans le SH comme dans le SPCE malgré des TP et TB moyens supérieurs chez les vaches Mo. La différence de production laitière entre les deux systèmes repose sur la réactivité de la production des vaches Ho. En effet, chez les vaches Mo, les différences de production entre systèmes sont faibles. A l'inverse, l'apport de céréales dans la ration des vaches du SPCE est mieux valorisé par les vaches Ho qui expriment une augmentation de production laitière de 472 kg en moyenne.

En lien avec le niveau faible d'apport énergétique permis par les fourrages des systèmes étudiés, les deux races présentent des NEC particulièrement faibles. Déjà au vêlage, elles sont seulement en moyenne de 2,57 dans le SH et 2,41 dans le SPCE. Les animaux perdent beaucoup d'état, entre 0,67 et 1,2 point de NEC et la NEC minimale atteinte est particulièrement basse, 1,43 en moyenne pour les vaches Mo et 1,71 pour les vaches Ho. Ainsi, les deux races subissent un déficit énergétique en début de lactation prononcé, et ce, de manière légèrement plus importante dans le SH. Ceci est particulièrement marqué pour les vaches Ho (NEC minimale moyenne de 1,35 et TP minimal de 26,3 g/L).

Etonnamment, les performances de reproduction se maintiennent à des niveaux corrects. Avec un taux de gestation de 83% à la fin de la saison de reproduction, les vaches Mo présentent des performances similaires d'un système à l'autre. Les performances de reproduction des vaches Ho sont en revanche plus mitigées. Le taux de gestation à la fin de la saison de reproduction est seulement de 67%, les intervalles étudiés sont également plus longs (+ 9 jours pour l'intervalle vêlage-vêlage, et +15jours pour l'intervalle vêlage – insémination fécondante). Les performances des Ho sont particulièrement dégradées dans le SH. Ainsi le taux de gestation n'est que de 54 % du fait d'un taux de réussite à l'insémination plus faible dans le SH que dans le SPCE (taux cumulé sur les deux premières inséminations de 42% contre 61%).

##### I - 1 - 2 -Différences de survenue d'état sanitaire entre races et entre systèmes

Au sein des deux systèmes étudiés, les événements sanitaires majoritaires sont les boiteries (48 cas pour 100 vaches), suivis par les troubles génitaux (22 cas pour 100 vaches), par les mammites cliniques (20 cas pour 100 vaches) et les troubles respiratoires (18 cas pour 100 vaches). Ces différents troubles sont répartis différemment selon les systèmes. Ainsi, les boiteries et les troubles génitaux sont particulièrement observés dans le SH, les mammites cliniques surviennent dans les deux systèmes alors que les troubles respiratoires, les troubles digestifs et les mammites subcliniques sont plus fréquents dans le SPCE. Ces différences entre systèmes sont probablement en partie dues à la différence de conduite des animaux, avec par exemple un trajet au champ plus long jusqu'au pâturage favorisant les causes traumatiques de boiterie dans le SH.

Les différences principales entre races sont liées à deux types d'évènements sanitaires : les boiteries et les troubles de l'appareil génital. Ainsi, au sein des deux systèmes, les vaches Mo sont plus sensibles aux problèmes locomoteurs que les vaches Ho, + 16 % dans le SH et + 24 % dans le SPCE.

Ces résultats sont plutôt surprenants pour les vaches Mo qui en tant que vaches jugées plus rustiques étaient supposées avoir des aplombs de meilleure qualité. A l'inverse, les vaches Ho présentent plus de troubles de l'appareil génital, + 27 % dans le SH et + 9% dans le SPCE.

### **I - 1 - 3 -La longévité particulièrement liée aux lactations prolongées**

Le taux de réforme en première et deuxième lactation n'est pas différent entre races ni entre systèmes. Toutefois, cela est permis par un recours important aux lactations prolongées pour les vaches Ho et en système SH. Ainsi 41% des vaches Ho du SH réalisent au moins une lactation prolongée dans leur carrière. Malgré ce recours utilisé en cas d'échec de la reproduction, la reproduction reste la première cause de réforme en première lactation. La deuxième cause de réforme chez les vaches Mo est une production laitière insuffisante ce qui est un peu fréquent chez les vaches Ho.

Ainsi, malgré des performances de reproduction handicapantes pour les vaches Ho, la durée de vie productive n'est pas différente entre races et entre systèmes. Seule la présence d'au moins une lactation prolongée au cours de la carrière de l'animal influence sa longévité. Les vaches autorisées à réaliser au moins une lactation prolongée ont une durée de vie productive de 439 jours plus longue que les autres. Ce recours permet également d'augmenter la production de lait et de matière utile par carrière qui ne sont pas liées non plus à la race et au système

En revanche, la réalisation d'au moins une lactation prolongée dans la carrière de l'animal n'influence pas sa productivité par jour de vie. Ainsi, seule la supériorité de production laitière des vaches Ho font de ces vaches les animaux qui produisent le plus de lait et de matière utile par jour de vie productive, et ce d'autant plus dans le SPCE.

### **I-2) Apport de la santé dans la caractérisation des compromis entre fonctions biologiques**

Souvent exclues des analyses statistiques en expérimentation (Ollion, 2015), nous avons montré que la prise en compte des données sanitaires dans l'analyse des compromis entre fonctions biologiques a permis de mettre en évidence 4 profils différents. La variable correspondant au nombre d'évènement sanitaires au cours des 44 premiers jours de lactation permet de mettre en évidence deux profils particuliers vis-à-vis de la santé (Tableau 28). L'un où les animaux présentent peu de troubles sanitaires (profil 2) et l'un où les troubles sanitaires par animal sont particulièrement nombreux (profil 3). Les troubles observés entre 0 et 44 jours post partum sont principalement des troubles liés à l'appareil génital (Tableau 22). Les lactations constituant le profil n°3 sont particulièrement touchées par ce type d'évènements. Ce profil est caractérisé par une surreprésentation des difficultés au vêlage. Cette particularité impact vraisemblablement les performances de reproduction des vaches, le taux de gestation y est ainsi le plus faible (27%).

Un autre profil de compromis entre fonctions biologiques est particulièrement composé de lactations débutant par des difficultés au vêlage ou des troubles génitaux et de mauvaises performances de reproduction, c'est le profil 4. Cependant, à l'inverse du profil 3, les lactations du profil n°4 sont celles où la production laitière est la plus importante. Ainsi malgré des troubles sanitaires de même nature, les lactations du profil 3 et 4 expriment des profils de compromis différents. Cela confirme la pertinence d'intégrer la santé pour dégager des profils différents.

### **I-3) Répétition de l'expression d'un même profil de compromis entre fonctions biologiques au cours de la carrière d'une vache laitière**

Il ressort que d'une lactation à l'autre, le profil de compromis entre fonctions biologiques exprimé par une vache laitière est différent. Les profils 3 et 4 favorisent la réforme de l'animal ou sa mise en lactation prolongée. La présence d'une lactation prolongée semble favoriser l'expression des profils 3 et 4 au détriment des profils 1 et 2 à la lactation suivante.

## **II - Effet de la race et des systèmes sur les performances des animaux**

L'expérimentation « quelle vache pour quel système » menée sur le domaine INRA du Pin au Haras est proche de celle dont les données de l'étude ci-présente proviennent (Lemercier et al. 2013). Les deux systèmes herbagers testés au Pin au Haras présentent des apports nutritifs plus contrastés, Haut et Bas (Delaby & Fiorelli 2014), qu'à Mirecourt où les systèmes pourraient en comparaison être qualifiés de plutôt bas (SPCE) à bas (SH). Des différences majeures y sont observées entre les vaches de race Normande et de race Holstein et entre systèmes.

Les vaches du système Haut expriment une production laitière plus importante et perdent moins d'état (Bedere et al. 2015) alors que la production laitière du système Bas est faible et l'amaigrissement est plus marqué. Ainsi, la différence de production des vaches Ho est de 2 131 kg entre les deux systèmes et de 1 132 kg chez les Normande (Bedere et al. 2015). La NEC minimale est supérieure de 0,5 point de NEC dans le système Haut. Les différences observées dans notre étude entre le SH et le SPCE vont dans le même sens chez les vaches Ho qui, en situation de ressources limitantes produisent moins de lait. Toutefois, l'amplitude observée est moins importante entre le SH et le SPCE que le système Haut et le système Bas du Pin au Haras, du fait de la moindre différence entre les systèmes. Il est probable que cette faible différence à Mirecourt, ne permet pas de mettre en évidence de réelle différence d'adaptation des vaches Mo entre systèmes comme chez les Normande du Pin au Haras. Toutefois, les données du Pin au Haras mettent également en évidence la réactivité plus importante des vaches Ho à une augmentation de l'apport nutritif de l'alimentation (Delaby et Fiorelli, 2014) ce qui ressort également dans notre étude

De nombreux résultats relatifs à la reproduction des vaches laitières sont également tirés de l'expérimentation du Pin au Haras. Bedere et al. (2016) ont mis en évidence que l'aptitude des vaches Normande à se reproduire est meilleure que celle des vaches Ho. Cette capacité est liée à un retour de cyclicité post partum plus rapide, un intervalle insémination possible – première insémination plus court et moins d'anomalies de cyclicité. De plus, les vaches Normande présentent un taux de vêlage supérieur (70%) à celui des Holstein (52%) au sein des deux systèmes, expliqués à la fois par un meilleur taux de réussite aux inséminations et moins de mortalités embryonnaires précoces et tardives. Bedere et al. (2015) ont également montré que les causes d'infertilité en race Ho ont différé selon le système, plutôt liées à des non fécondations ou mortalités embryonnaires précoces dans le système Bas, et à des mortalités embryonnaires tardives dans le système Haut. De façon surprenante, l'expression des chaleurs des vaches Ho était meilleure dans le système Bas. Les données de l'expérimentation de Mirecourt ne permettent pas d'obtenir des résultats aussi précis car des dosages de la progestérone n'ont pas été réalisés. Cependant les résultats de notre étude vont dans le même sens, les performances de reproduction des vaches Mo sont meilleures que celles des vaches Ho. On peut même se demander si, comme au Pin au Haras, l'expression des chaleurs n'est pas meilleure dans le SH aux vues d'un taux d'insémination dans les 21 premiers jours de la saison de reproduction meilleure que dans le SPCE (Tableau 19) alors que l'intervalle vêlage – insémination possible n'est pas différent.

Ainsi, plusieurs résultats des deux expérimentations amènent aux mêmes conclusions : la race est un facteur important d'adaptation aux systèmes herbagers bas intrants, par son effet sur la production laitière, le maintien de l'état corporel et les performances de reproduction. Le principal frein à l'adaptation des vaches de race Ho dans ces systèmes est la fonction de reproduction.

Néanmoins, il convient de garder à l'esprit, que les systèmes de Mirecourt ne diffèrent pas que par la stratégie alimentaire choisie. Les vaches sont aussi soumises à d'autres contraintes zootechniques différentes. Ainsi, la saison de production laitière et donc de reproduction sont différentes, l'une automnale et l'autre printanière, impliquant des conséquences différentes de la mise au pâturage sur la reproduction. De même, les conditions de logement ne sont pas les mêmes, les animaux sont logés sur aire paillée dans le SPCE en hiver et sur logettes dans le SH par exemple.

### **III - Des liaisons classiquement retrouvées entre fonctions biologiques**

Ces différences de performances entre races et entre systèmes sont également à analyser à la faveur des différents liens existant entre les fonctions biologiques de l'animal. Ainsi, les vaches Ho hautes productrices sont connues pour maintenir leur production laitière au détriment de la reproduction (Barbat et al. 2005). Le lien entre la NEC au vêlage puis ses variations avec la production laitière a également été mis en évidence fréquemment (Roche et al. 2007). Les résultats de notre étude montrent bien que les vaches Ho produisant le plus de lait sont celles perdant le plus d'état corporel. La production laitière plus importante chez les vaches Ho de notre étude est également liée aux mauvaises performances de reproduction de ces animaux. De nombreux points expliquent ce lien. Une forte production laitière a ainsi été reliée à la présence de kystes ovariens (Fleischer et al. 2001), ou des mortalités embryonnaires tardives (Cutullic et al. 2012) par exemple. Cet effet est en partie consécutif à la perte d'état corporel (Chanvallon et al. 2011). En effet, plusieurs auteurs ont mis en évidence l'impact de la perte d'état corporel et du bilan énergétique négatif sur la reprise de cyclicité (Ponsart et al. 2006) ou la fertilité chez les vaches laitières (Espinasse et al. 1998; Disenhaus et al. 2005). Ainsi, Roche et al. (2009) estiment qu'une NEC au vêlage inférieure à 3-3,25 est associée à la fois à une réduction de production laitière et de reproduction.

Le niveau de production laitière des vaches est également lié à leur santé. Ainsi il a été mis en évidence que la production laitière avait un impact sur l'apparition de boiterie au cours de la lactation et sur la survenue de rétentions placentaires et de mammites au cours de lactations ultérieures (Fleischer et al. 2001). La survenue de troubles sanitaires impacte aussi fortement les performances laitières (Fourichon et al. 2001) et reproductives ultérieures. Dans une méta-analyse, réalisée en 1999, Fourichon et al. (2000) ont mis en évidence l'effet de plusieurs troubles sanitaires sur les performances de reproduction, ainsi la survenue de problèmes locomoteurs ou de métrites résulte par exemple en l'allongement de l'intervalle vêlage insémination fécondante. Un lien entre la santé et la NEC est également observé. Il est par exemple admis qu'une NEC au vêlage supérieure à 3,5 est un facteur de risque des troubles métaboliques (Roche et al. 2009).

Les boiteries, les troubles de l'appareil génital ou les mammites observées dans le SH et le SPCE, ne sont certainement pas sans lien avec les autres performances. Ce lien ressort notamment dans l'analyse des profils de compromis entre fonctions biologiques. Ainsi le profil 3, où la fréquence des événements sanitaires par lactation est le plus important, rassemble des lactations où à la fois les performances de reproduction, de lactation et de maintien de l'état corporel sont les plus dégradées (Figure 7). Fourichon et al (2000) précisent également que l'impact des boiteries sur la reproduction est très variable selon les lésions observées et le stade d'occurrence. Ce type de constat ressort également dans notre étude. Ainsi, on peut supposer que si la variable liée aux événements sanitaires survenant entre 0 et 44 jours post partum est plus discriminante que celle liée aux événements survenant entre 45 et 110j de lactation, cela est dû au fait que les événements survenant en début de lactation sont particulièrement impactants. Ces événements étant principalement des troubles de l'appareil génital, ils sont bien évidemment impactants pour la reproduction mais pas seulement. La surreprésentation des lactations commençant par des difficultés au vêlage dans le profil n°3 et n°4 où les performances de reproduction sont dégradées sont également en accord avec ce qui est retrouvé dans la bibliographie (Chanvallon et al. 2011).

## **IV - Des profils de compromis entre fonctions biologiques liés aux capacités individuelles des vaches laitières**

Les 4 profils de compromis entre fonctions biologiques mis en évidence dans l'étude ci-présente sont très différents. À la vue des conclusions et des questionnements précédents, il aurait pu être envisageable que les vaches laitières se répartiraient au sein des profils dégagés en fonction de leur race ou de leur système d'appartenance. Néanmoins, les travaux précédents (Ollion et al. 2016, Cloet 2015) ont déjà montré que les critères de race, de rang et même de type génétique ne permettent pas à eux seuls de prévoir le profil de compromis entre fonctions biologiques. Même avec la prise en compte des données sanitaires dans la méthode, les conclusions de notre étude sur ce point sont les mêmes et il est possible d'ajouter que les critères tels que la survenue d'événements sanitaires n'explique pas pleinement la répartition des animaux selon les profils.

Ainsi la robustesse des vaches laitières définie comme la capacité à exprimer le profil de compromis le plus adéquat à la situation semble bien être une capacité individuelle de la vache. Elle repose sur des mécanismes d'allocation des nutriments complexes bien au-delà de liens entre fonctions deux à deux pouvant être expliqués par sa génétique ou son alimentation. Ces mécanismes reposent sur des interactions entre les fonctions de lactation, reproduction et maintien de l'état corporel certes, mais la capacité des animaux à maintenir un état sanitaire optimal ne doit pas être oubliée. Les autres fonctions biologiques ne peuvent pas être indépendantes de la capacité de résistance physique aux causes traumatiques ou de résistance immunitaire aux causes biologiques par exemple.

La recherche des mécanismes et déterminants de ces mécanismes complexes ne doit donc pas négliger les aspects sanitaires que chaque vache peut également gérer de manière différente même au sein d'une même race.

## **V - Validité des résultats obtenus sur l'installation expérimentale de Mirecourt**

### **V-1) Validité externe**

En tant qu'installation expérimentale, l'unité INRA de Mirecourt tente d'apporter des pistes de réflexion utilisables directement sur le terrain. Ainsi la construction des systèmes suit un raisonnement proche de celui qu'un éleveur pourrait avoir. De cette manière, les expérimentateurs de l'unité se sont fixé un objectif de comme « maintenir des systèmes productifs » (Trommschläger et al. 2007). Ainsi les règles de conduite sont amenées à évoluer au cours du temps et face aux contraintes pour atteindre ces objectifs. La méthode d'ajustement de l'expérimentation pas à pas en est un exemple (Fiorelli et al. 2010). La force de cette expérimentation réside donc dans son caractère pratique et appliqué. Un éleveur face à des difficultés peut se tourner vers ce genre d'expérimentation pour y puiser des pistes de réflexion adaptables à son système. Deux exemples d'adaptation zootechniques majeurs ressortent alors de l'expérimentation de Mirecourt. Le premier est la possibilité de modifier la période de reproduction face à de mauvaises performances de reproduction, comme ce fût cas pour les vaches Ho du SH en 2007 (Gouttenoire et al. 2010) et le deuxième est la possibilité de mettre certaines vaches en lactation prolongée face à un échec au cours de la première campagne reproduction ce qui permet de maintenir les animaux dans ces systèmes à vêlages groupés.

Les résultats de la ferme expérimentale de Mirecourt sont obtenus dans les conditions pédoclimatiques du plateau lorrain avec une pluviométrie particulière. Les expérimentateurs insistent bien sur l'importance de prendre en compte les potentialités du milieu avant celles des animaux (Coquil et al. 2009). De plus, il faut garder à l'esprit que les systèmes mis en évidence suivent le cahier des charges de l'AB. Ainsi les résultats présents servent de point de repère et d'expérience pour concevoir et conduire un système d'exploitation mais il est facile d'imaginer que la même expérimentation menée sur un autre site apporterait des résultats bruts différents.

## **V-2) Difficultés d'analyse des performances de santé et la fonction de survie**

### **V - 2 - 1 -La survie, une fonction complexe à décrire.**

Les variables sanitaires utilisées dans notre étude avaient pour objectif principal d'affiner la caractérisation de la fonction de survie. Cet objectif n'est que partiellement rempli. En effet, la fonction de survie est ici représentée à la fois par les variables liées à la NEC et les variables sanitaires. Or dans certains profils comme le profil 2 (Figure 7) ces deux types de variables varient en sens contraire, alors que les performances de santé sont bonnes, les vaches laitières de ce profil perdent beaucoup d'état corporel, l'inverse est observé dans une moindre mesure dans le profil 1. Ainsi, pour ces profils, il n'est pas possible de conclure clairement que l'animal favorise pleinement sa survie au détriment des autres fonctions ou l'inverse.

De plus, les considérations précédentes sont renforcées par la difficulté d'obtention de données fiables sur les critères choisis pour la représenter. La santé comme l'état des réserves corporelles des vaches laitières sont des paramètres difficiles à appréhender et quantifier.

### **V - 2 - 2 - Validation des données de santé.**

L'analyse des états sanitaires n'est pas l'objectif principal dans ce type d'expérimentation-système et l'utilisation de ces données se heurte à quelques imprécisions.

Bien que les expérimentateurs notent avec précision leurs observations, le plus souvent les événements sanitaires ne sont enregistrés que s'ils sont liés à la mise en place d'un traitement. A l'inverse, quelques traitements administrés de manière plus préventive que curative sont répertoriés.

Les systèmes analysés sont conduits en AB. Ainsi, la plupart des traitements utilisés sont administrés et préparés par les techniciens d'expérimentation à base d'huiles essentielles ou d'homéopathie. Les traitements sont standardisés et toute la difficulté est d'apprécier la sévérité de la maladie sur la base du traitement utilisé. Le vétérinaire est appelé en dernier recours. La description de certains événements est alors difficilement interprétable pour la comparaison avec d'autres études avec des termes tels que « Mauvais état général maigre » ou « soins après vêlage » par exemple (Tableau 7).

Néanmoins malgré le manque de glossaire et de standardisation de décision de mise en place de certains types de traitement, l'impact des troubles de santé ressort dans l'étude des profils de compromis entre fonctions biologiques ce qui renforce l'idée de les mesurer avec rigueur.

### **V - 2 - 3 -Evaluation de la NEC, un indicateur peu précis.**

L'estimation de l'état des réserves corporelles de l'animal est un indicateur intéressant pour décrire la survie. Il est usuellement et largement utilisé en tant que reflet du bilan énergétique de l'animal (Fischer et al. 2014). La mesure de la note d'état corporel est actuellement le principal outil de mesure et de comparaison des réserves énergétiques et adipeuses des vaches laitières facilement applicable en expérimentation animale.

Néanmoins, cela reste un outil à utiliser avec prudence dans les études comme celle-ci. En effet, la mesure est basée sur une appréciation subjective de l'état corporel des animaux par l'observation. La répétabilité des mesures d'un opérateur à l'autre peut être limitée. Plusieurs échelles existent selon les pays, en France, l'échelle de Bazin et Augéard (1984) allant de 0 à 5 est usuellement utilisée. L'Irlande utilise une échelle allant de 1 à 5 et la Nouvelle -Zélande de 1 à 10 (Roche et al. 2004). Toutes ces échelles ne sont pas linéairement correspondantes (Roche et al. 2004). Ce type de biais est à prendre en considération dans les comparaisons entre études. De plus, cette méthode est peu sensible, elle permet seulement d'apprécier des changements majeurs chez les animaux et ne permettent pas de détecter les changements mineurs. Actuellement d'autres techniques sont développées pour standardiser cette mesure, comme celle proposée par Fischer et al. (2014) basée sur une mesure de l'image en 3D du bassin et du dos de la vache laitière. Cette méthode serait 2,8 fois plus reproductible que l'observation par un opérateur.

## **VI - Perspectives**

### **VI-1) Perspectives d'application terrain**

#### **VI - 1 - 1 -Adéquation race- système**

Notre étude montre une nouvelle fois, que les vaches de race Ho en systèmes contraints présentent des difficultés de reproduction pouvant nuire à leur maintien dans les systèmes où les vêlages doivent être groupés. Néanmoins, cette race peut être intéressante pour d'autres performances. En effet, dans le SPCE, où les apports énergétiques de la ration sont légèrement supérieurs au SH, elles se reproduisent mieux et présentent une réactivité de production supérieure aux vaches Mo qui peut être très intéressante pour l'éleveur. De plus, bien que les vaches Mo semblent plus adaptées au SH, ces dernières normalement plus rustiques, semblent particulièrement exposées aux boiteries très handicapantes quand la nourriture doit être pâturée au champ. Ces conclusions vont dans le même sens que les études précédentes. Ainsi il semble que la question de l'adéquation race – système est à penser à la faveur de chaque type de systèmes

A défaut de choisir la race idéale, ce sont aussi les conduites d'élevage qui peuvent être adaptées. Ainsi, Bedere (2016) propose par exemple de monitorer la reproduction via la NEC, et d'adapter le nombre de traites en cas de réserves corporelles insuffisantes avec par exemple le passage en monotraite à partir d'une NEC insuffisance pour ne pas dégrader les performances de reproduction.

De plus, au-delà de la race, Ollion (2015) souligne que la mise en évidence du caractère individuel des profils de compromis entre fonctions biologiques doit suggérer une sélection à l'échelle individuelle des vaches laitières selon leur capacité d'adaptation au système mis en place par les éleveurs. Elle précise aussi qu'un type de vache unique n'est peut-être pas à rechercher pour la durabilité des systèmes laitiers mais, qu'à l'inverse, un ensemble de vaches laitières aux capacités variées devrait améliorer la résistance du système à des aléas.

#### **VI - 1 - 2 -Opportunité des lactations prolongées**

Face aux difficultés de reproduction des vaches, les expérimentateurs ont eu recours aux lactations prolongées au sein de l'expérimentation système de Mirecourt. Les lactations prolongées sont principalement des lactations où les profils 3 et 4 de compromis entre fonctions biologiques (caractérisés par de mauvaises performances de reproduction) sont exprimés. Cette solution ne permet toutefois pas d'éviter la réforme à tous les animaux puisque 49 % des lactations prolongées aboutissent tout de même à une réforme. Cependant, cette méthode donne une seconde chance aux animaux non gestants et semble alors leur permettre d'atteindre une durée de vie productive égale voire supérieure à celle des animaux n'ayant pas cette possibilité. Les performances de production au cours de la vie productive de ces animaux ne sont pas dégradées. Cette observation est probablement en lien avec le fait que les animaux ayant droit à une seconde chance sont des animaux dont le niveau de production laitière est particulièrement intéressant.

Ainsi, le recours aux lactations prolongées selon la méthode appliquée sur l'installation expérimentale de Mirecourt semble une bonne opportunité d'ajustement lorsque la situation le nécessite.

### **VI-2) Perspectives d'approfondissement immédiates**

#### **VI - 2 - 1 - Améliorer l'approche de la santé et de la fonction de survie**

Dans le but d'améliorer l'approche de la fonction de survie, il semble possible dans un premier temps d'améliorer l'approche de la santé dans ce type d'expérimentation. En effet, Krieger et al. (2017) précisent qu'il est possible d'obtenir simplement des variables significatives au regard des maladies de production à partir des données disponibles en exploitation agricole, sans procédures complexes ou coûteuses. Ainsi ils utilisent les comptages cellulaires élevés (supérieur à 100 000 cellules) pour détecter les mammites subcliniques, le rapport TB/TP pour les risques de cétozes ou la

détection de taux faible de TB pour les risques d'acidose. Ce genre de variables pourrait être utilisé dans une analyse des compromis entre fonctions biologiques.

L'approche de la santé dans notre étude aurait peut-être pu être améliorée en ayant recours à un autre décompte des troubles sanitaires. En effet, bien que le profil 1 ressorte comme le deuxième profil présentant le plus de troubles par lactation, celui-ci passe en troisième position au regard du nombre de lactation présentant au moins un évènement sanitaire. Ainsi les résultats auraient peut-être été plus flagrants si les variables de santé avaient été qualitatives de type : survenue d'au moins un évènement sanitaire au cours de la lactation plutôt que quantitatives.

L'amélioration de l'approche de la santé doit également passer par une homogénéisation des définitions sanitaires et du déclenchement de la prise en charge thérapeutique au sein des sites expérimentaux. La standardisation des définitions a déjà commencée, elle est portée par le projet « charte sanitaire » (Martignon 2014) et devrait encore favoriser à l'avenir la fiabilité des résultats obtenus. En revanche, le choix de la mise en place d'un traitement et de son choix semble plus difficile à uniformiser. Les techniciens d'expérimentation sont amenés à prendre des décisions parfois sans concertation avec l'ensemble des expérimentateurs (troubles sanitaires le weekend ou autre). En AB, cela est renforcé par l'autonomie des sites quant aux méthodes alternatives utilisées.

Un glossaire précis et uniformisé devrait être commun au sein de l'INRA, il pourrait être permis par une formation uniforme des techniciens d'expérimentation sur les questions de santé. Toutefois et surtout en agriculture biologique, il est évident que cette uniformisation est difficile à mettre en place.

#### **VI - 2 - 2 - Etudier les compromis à l'échelle de la carrière : quels sont les facteurs d'influence de la trajectoire adaptative ?**

Les lactations qui se suivent ne semblent pas toutes répéter le même type de profil de compromis. Une autre perspective intéressante de cette méthode de caractérisation des compromis entre fonctions biologiques serait de comprendre les déterminants de l'enchaînement des différents profils de compromis au cours d'une carrière. Les troubles de santé en jeu permettent-ils d'expliquer les différences de profils observées d'une lactation à l'autre ? Si non, quels autres facteurs le permettent ? Selon la notion développée par Sadoul (2014), un animal réagit selon son histoire de vie et des situations auxquelles il a déjà fait face. Ainsi on pourrait envisager qu'une vache ayant présenté des troubles sanitaires ou d'autres expériences au cours de ces premières lactations, réagit différemment des autres vaches au cours de ses lactations ultérieures.

#### **VI - 2 - 3 - Prendre en considération l'effet campagne inhérent aux systèmes étudiés**

Dans la plupart des modèles statistiques testés, l'effet de la campagne est significatif (ANNEXE 6). On peut considérer que cet effet ne doit être pris en compte que pour ajuster les modèles. Néanmoins, dans le cadre de la philosophie d'évolution « pas à pas » des systèmes (Coquil et al. 2011) et de l'ajustement des règles de conduite face aux aléas liés aux milieux (Coquil et al. 2011), la vocation de l'expérimentation système de Mirecourt est toutefois de prendre en considération cet effet.

#### **VI - 2 - 4 - Evaluer l'impact du mois de vêlage sur les performances des animaux**

Dans les systèmes herbagers très contraints en alimentation, toute variation de cette dernière peut avoir un effet important sur la courbe de lactation. Ainsi, les courbes de lactation en système SH ont parfois montré une allure inhabituelle avec un pic de lactation très tardif correspondant à la mise à l'herbe (ANNEXE 7). La forme des courbes de lactation est alors très dépendante du mois de vêlage. D'autres auteurs ont déjà signalé ce trait (Auriol 1955; Sepchat et al. 2015; Madani et al. 2007). Des observations du même ordre sont faites sur l'expérimentation du Pin au Haras, où les changements de parcelles à la mise à l'herbe sont associés à un rebond de la courbe de lactation.

Ici, la première mise à l'herbe survient pour certaines vaches au cours de la période de reproduction et pour ces vaches déjà en lactation, il est envisageable qu'un impact sur la reproduction existe. Cela a déjà fait l'objet de réflexions dans le SH en 2007 quand les vaches Ho présentaient des performances de reproduction particulièrement dégradées (Gouttenoire et al. 2010), mais les données à ce moment étaient encore peu nombreuses. L'approfondissement de cette réflexion à la faveur des données collectées jusqu'en 2016 et donc plus nombreuses devrait être envisagé.

### **VI-3) Perspectives scientifiques à plus long terme : Connaitre et exploiter les différences entre vaches**

La méthode d'analyse des profils de compromis entre fonctions biologiques a été conçue avec l'objectif d'être applicable en exploitation (Ollion, 2015) et la réflexion sur laquelle elle se base pourrait être un outil pour les éleveurs pour connaître et sélectionner leurs animaux. A l'heure actuelle cette méthode n'a jamais été utilisée en élevage autre qu'expérimental et une première perspective serait de l'éprouver en situation terrain.

Les compromis entre fonctions biologiques exprimés par les vaches laitières sont variés et non pleinement expliqués par des critères tels que la race de l'animal. Ainsi, à la vue de ces conclusions, les éleveurs possèdent de nouvelles cartes pour piloter leur troupeau : à défaut de choisir une race, il faut choisir un type de vaches exprimant le compromis entre fonctions biologiques le plus adapté à son système. Cependant à l'échelle du troupeau, pour Ollion et al. (2015), l'objectif n'est peut-être pas de trouver la vache idéale pour le système mais le groupe de vaches idéales. Les auteurs insistent sur l'importance de la diversité des animaux pour favoriser la robustesse du troupeau en comptant sur la complémentarité entre individus pour faire face aux aléas.

Cependant, cette possibilité d'exploitation des capacités adaptatives des vaches laitières n'est pas encore possible aux vues du peu de connaissances que l'on en a et c'est justement le développement des connaissances de la diversité des capacités adaptatives de ces animaux et de leurs déterminants qui est une priorité à l'heure actuelle. L'enjeu est ainsi de parvenir à une évaluation à grande échelle de la robustesse qui permettrait d'approcher cette diversité et sa complexité.

Aux vues de ces objectifs, plusieurs auteurs défendent aujourd'hui, le développement du phénotypage pour des projets de recherche plus systémiques (Phocas et al. 2014; Blanc et al. 2013; Brochard et al. 2013). Les nouvelles technologies à haut débit permettent actuellement d'avoir accès rapidement et à moindre coût à un grand nombre de données à diverses échelles (animales, des fonctions biologiques, ou moléculaires) et en lien avec de nombreuses performances (production, reproduction ou survie). Le développement de bases de données importantes et d'outils informatiques efficaces pour les traiter, permettrait alors d'en extraire des phénotypes complexes et analysables. Cela offrirait un support d'étude intéressant pour la recherche des déterminants de la robustesse (Phocas et al. 2014) et de sa diversité d'expression. Associé à l'apport de la génomique, la sélection d'animaux plus robustes pourrait être améliorée (Tixier-boichard et al. 2015).

Cependant, face à la diversité des milieux et des systèmes d'élevage existants, Ollion (2015), souligne que la sélection génétique future des vaches laitières devrait permettre une diversité de type de sélection afin de permettre à chaque éleveur de trouver la meilleure adéquation système – animal et système – troupeau. Ces considérations sont particulièrement défendues en AB, où la volonté de préservation de la biodiversité est très présente notamment en espèce bovine. Ainsi la sélection uniforme d'animaux très spécialisés est antinomique à ce mode d'agriculture (Amand et Langlois, 2004).



## Conclusion

Afin de répondre aux enjeux de l'élevage des animaux en systèmes herbagers visant l'autonomie alimentaire, notre étude s'est appuyée sur les données recueillies au cours de l'expérimentation-système menée pendant onze ans au domaine INRA de Mirecourt. Deux systèmes y ont été testés indépendamment, un système 100 % herbager et un système polyculture élevage au sein desquels deux races de vaches, Holstein et Montbéliarde, y ont été comparées.

Dans un premier temps, la comparaison des performances de production laitière, reproduction, condition corporelle, santé et longévité de ces animaux a révélé des différences entre ces deux races et ces deux systèmes. Les vaches de race Holstein ont présenté un meilleur niveau de production laitière et une plus grande réactivité à l'apport de céréales permis dans le système polyculture élevage que les vaches de race Montbéliarde. Toutefois, leurs performances de reproduction ont été particulièrement dégradées dans le système herbager et leur perte d'état corporel a été plus marquée que celle des Montbéliardes. Au plan sanitaire, l'occurrence de troubles génitaux en post-partum a été plus fréquente chez les vaches de race Holstein et dans le système herbager alors que les troubles locomoteurs également majoritaires dans ce système touchaient préférentiellement les vaches de race Montbéliarde. Les performances de longévité des vaches de race Holstein ont été maintenues au niveau de celles des Montbéliardes dans les deux systèmes, en partie grâce au recours à des lactations prolongées. Ainsi chacune des deux races présente ses avantages et le choix de l'une ou de l'autre doit être fait au regard des particularités du système choisi.

Dans un second temps, la santé a été incorporée pour la première fois à une méthode d'analyse des compromis entre fonctions biologiques récemment mise au point par Ollion (2015). Quatre profils de compromis ont pu être mis en évidence et le fort impact de la santé sur deux d'entre eux souligne l'importance de la prise en compte des données sanitaires dans les futures études sur la robustesse des vaches laitières. De plus, l'application de cette méthode au jeu de données de notre étude à une fois de plus montré que le profil de compromis entre fonctions biologiques exprimés par les vaches laitières n'est pas seulement lié à sa race, son rang ou les contraintes alimentaires qu'elle subit.

Des perspectives nouvelles de sélection des vaches laitières voient le jour. Elle devra permettre de sélectionner des animaux plus adaptés à leur système d'élevage, moins spécialisés mais davantage pluri-compétents et résistants aux aléas. Néanmoins, cet objectif doit passer par davantage de recherches sur les capacités adaptatives des vaches laitières. L'essor de nouvelles techniques d'analyse devrait permettre dans le futur un phénotypage plus large de la robustesse. La diversité des capacités adaptatives des animaux pourrait être mise en lumière permettant ainsi d'approcher les caractéristiques animales qui y sont les plus liées.



## BIBLIOGRAPHIE

- Auriol, P. (1955) Influence du mois de vêlage sur la production laitière des vaches pie rouge de l'est, dans le jura. I.- Premières observations, *Annales de zootechnie, INRA/EDP Sciences*, 4(3), 189 200.
- Amand, L. & Langlois, N. (2004) Agriculture Biologique. Les grands principes de production et l'environnement professionnel. Educagri éditions, Dijon, 114.
- Barbat, A., Druet, T., Bonaiti, B., Guillaume, F., Colleau, J.-J., & Boichard, D. (2005) Bilan phénotypique de la fertilité à l'insémination artificielle dans les trois principales races laitières françaises. *Rencontre Recherches Ruminants*, 12, 137 140.
- Bazin, S., Augéard, P. (1984) Institut technique de l'Élevage Bovin pour le Réseau national d'Expérimentation et des Démonstrations en Élevage bovin.
- Bedere, N., Disenhaus, C., Ducrocq, V., Leurent-Colette, S., & Delaby, L. (2016) Ability of dairy cows to be inseminated according to breed and genetic merit for production traits under contrasting pasture-based feeding systems. *Animal The Animal Consortium*, 1 10.
- Bedere, N., Delaby, L., Ducrocq, V., Leurent-Colette, S., Disenhaus, C. (2016) Toward improved postpartum cyclicity of primiparous dairy cows: Effects of genetic merit for production traits under contrasting feeding systems. *Journal of Dairy Science*, 99(2), 1 11.
- Bedere, N., Delaby, L., Leurent-Colette, S., & Disenhaus, C. (2015) Les vaches capables de limiter leur production laitière et leur amaigrissement lors d'une restriction alimentaire sont celles qui se reproduisent le mieux. *22. Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants*, (1), 199 202.
- Bedere, N. (2015) Aptitudes des vaches laitières à se reproduire en systèmes pâturants contrastés : quelle vache pour quel système ? *Thèse Agrocampus ouest sous le label de l'Université Bretagne Loire pour obtenir le grade de docteur d'agrocampus ouest spécialité Biologie et Agronomie*, 191
- Beguin, E., Clarys, L., Gain, G., Fourdin, S., Mischler, P., & Servans, C. (2016) Quelles options possibles pour des systèmes d'élevage bovins normands plus robustes ? *Rencontre Recherches Ruminants*, 239 242.
- Blanc, F., Bocquier, F., Agabriel, J., Hour, P. D. & Chilliard, Y. (2004) Amélioration de l'autonomie alimentaire des élevages de ruminants : conséquences sur les fonctions de production et la longévité des femelles , 1(1), 155 162.
- Blanc, F., Ollion, E., Puillet, L., Delaby, L., Ingrand, S., Tichit, M. & Friggens, N. C. (2013) Evaluation quantitative de la robustesse des animaux et du troupeau : quels principes retenir ? *20ième Rencontres Recherche Ruminants*, (7), 265 272.
- Blanco-Penedo, I. & Emmanuelsen, U. (2012) Effects on turning to 100% organic feed on metabolic status of swedish organic dairy cows. *Livestock Science*, 143(2-3), 242 248.
- Bodin, L. Bolet, G., Garcia, M., Garreau, H., Larzul, C. & David, I. (2010) Robustesse et canalisation: Vision de généticiens. *INRA Productions Animales*, 23(1), 1122.
- Bonaiti, B., Moureaux, S. & Mattalia, S. (2005) Bilan et paramètres génétiques des mammites cliniques collectées. *Rencontres Recherches Ruminants*, 12, 271 274.

- Booth, C.J. Warnick, L. D., Grohn, Y. T., Maizon, D. O., Guard, C. L., & Janssen, D. (2004) Effect of lameness on culling in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 87(12), 4115-4122.
- Brocard, V., Delaby, L., Seuret, J., & Philipps, T. (2008) Les systèmes fourragers du nord-ouest de l'Europe : de l'herbe pâturée pour produire du lait. *Fourrages*, 196, 425-446.
- Brochard, M. Boichard, D., Ducroq, V. & Fritz, S. (2013) La sélection pour des vaches et une production laitière plus durables : acquis de la génétique et opportunités offertes par la sélection génomique. *INRA Productions Animales*, 26(2), 145-156.
- Brunschwig, P., Veron, J., Perrot, Ch., Faverdin, Ph., Delaby, L. & Seegers, H. (2001) Etude technique et économique de systèmes laitiers herbagers en Pays de la Loire. *Rencontres Recherches Ruminants*, 1, 237-244.
- Bryant, J.R., López-Villalobos, N., Pryce, J. E., Holmes, C. W., & Johnson, D. L. (2006) Reaction norms used to quantify the responses of New Zealand dairy cattle of mixed breeds to nutritional environment. *New Zealand Journal Of Agricultural Research*, 49(4), 371-381.
- Butler, S.T. (2014) Nutritional management to optimize fertility of dairy cows in pasture-based systems. *Animal*, 8(1), 15-26.
- Cabaret, J. & Nicourt, C. (2011) La maladie animale entre visions ontologique et fonctionnelle : jachère des croyances ou culture de l'interdisciplinarité en élevage biologique. In *Colloque SFER/RMT DévAB/Laboratoire Cultures et sociétés en Europe*. 5-10.
- Cabaret, J. & Nicourt, C. (2009) Les problèmes sanitaires en élevage biologique réalités, conceptions et pratiques. *INRA Productions Animales*, 22(3), 235-244.
- Chanvallon, A. et coll., (2011) UMT Maîtrise de la Santé des troupeaux bovins, « DetEstrus Laitier : Méthode de diagnostic et de conseil pour améliorer la détection des chaleurs dans les troupeaux bovins laitiers », 50.
- Cloet, E., Blanc, F., Ollion, E., Delaby, L. (2015). La robustesse des vaches laitières : une approche basée sur les compromis entre fonctions biologiques et perspectives de valorisation dans les schémas de sélection génétique, *Mémoire de fin d'études ingénieur, ISA Lille et VetAgro Sup - INRA*, 61.
- Coquil, X. Fiorelli, J. L., Blouet, A., Trommenschlager, J., Bazard, C & Mignolet, C. (2011) Conception de systèmes de polyculture élevage laitiers en agriculture biologique : Synthèse de la démarche pas à pas centrée sur le dispositif expérimental INRA ASTER- Mirecourt. *Rencontres Recherche Ruminants*, (1), 57-60.
- Coquil, X., Blouet, A., Fiorelli, J. L., Bazard, C. & Trommenschlager, J.M. (2009) Conception de systèmes laitiers en agriculture biologique : une entrée agronomique. *INRA Productions Animales*, 22(3), 221-234.
- Cutullic, E., Delaby, L., Gallard, Y., Disenhaus, C. (2011) Dairy cows' reproductive response to feeding level differs according to the reproductive stage and the breed. *Animal*, 5(5), 731-740.
- Delaby, L. & Fiorelli, J.-L., (2014) Elevages laitiers à bas intrants : entre traditions et innovations. *INRA Productions Animales*, 27(2), 123-134.
- Delaby, L. & Peyraud, J.L. (2009) Valoriser les fourrages de l'exploitation pour produire du lait. *Fourrages*, 198, 191-210.

- Delagarde, R. & Peyraud, J.L. (2013) Gérer les variations des apports alimentaires des vaches laitières au pâturage. *INRA Productions Animales*, 26(3), 263 276.
- Dillon, P., Buckley, F., O'Connor, P., Hegarty, D., & Rath, M. (2003) A comparison of different dairy cow breeds on a seasonal grass-based system of milk production. 1. Milk production, live weight, body condition score and DM intake. *Livestock Production Science*, 83, 21 33.
- Dillon, P., Crosse, F., Stakelum, G., & Flynn, F. (1995) The effect of calving date and stocking rate on the performance of spring-calving dairy cows Grass. *Forage science*, 50, 286 299.
- Disenhaus, C., Grimard, B., Trou, G., & Delaby, L. (2005) De la vache au système : s'adapter aux différents objectifs de reproduction en élevage laitier ? *Rencontre Recherches Ruminants*, 125 136.
- Dumont, B., Fortun-Lamothe, L., Jouven, M., Thomas, M. & Tichit, M. (2013) Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. *Animal*, 7(6), 1028 1043.
- Duval, J.E., Bareille, N., Fourichon, C., Madouasse, A. & Vaarst, M. (2017) How can veterinarians be interesting partners for organic dairy farmers : French farmers' point of views. *Preventive Veterinary Medicine*, 146(January), 16 26.
- Duval, J.E., Bareille, N., Fourichon, C., Madouasse, A. & Vaarst, M. (2016) Perceptions of French private veterinary practitioners on their role in organic dairy farms and opportunities to improve their advisory services for organic dairy farmers. *Preventive Veterinary Medicine*, 133, 10 21.
- Espinasse, R., Disenhaus, C. & Philipot, J.M. (1998) Délai de mise à la reproduction, niveau de production et fertilité chez la vache laitière. *Rencontres Recherches Ruminants*, 5, 79 82.
- Fiorelli, J.L., Coquil, X., Trommschlager, J.M., Bazard, C. & Blouet, A. (2010) Des prairies permanentes, unique ressource d'un système laitier biologique en Lorraine. *Rencontres Recherches Ruminants*, 17, 45 48.
- Fischer, A., Luginbühl, T., Delattre, L., Delouard, J.M. & Faverdin, P. (2014) Analysing the 3D-surface of a dairy cow's back to improve assessment of body condition. *Rencontres Recherches Ruminants*, 4, 23 26.
- Fleischer, P., Metzner, M., Beyerbach, M., Hoedemaker, M., & Klee, W. (2001) The Relationship Between Milk Yield and the Incidence of Some Diseases in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, 84, 2025 2035.
- Fourichon C., Seegers H., Bareille N., & Beaudeau F. (2001) Estimation des pertes et de l'impact économiques consécutifs aux principaux troubles de santé en élevage bovin laitier. *Rencontres Recherches Ruminants*, 8, 137 143
- Fourichon, C., Seegers, H. & Malher, X. (2000) Effect of disease on reproduction in the dairy cow : a meta-analysis. *Theriogenology*, 53(0), 1729 1759.
- Friggens, N.C. & Newbold, J.R. (2007) Towards a biological basis for predicting nutrient partitioning : The dairy cow as an example. *Animal*, 1(September), 87 97.

- Friggens, N.C., Sauvant, D. & Martin, O., (2010) Vers des définitions opérationnelles de la robustesse s'appuyant sur des faits biologiques. L'exemple de la nutrition. *INRA Productions Animales*, 23(1), 1 10.
- Garmo, R.T., Waage, S., Sviland, S., Henriksen, B., Østerås, O. & Reksen, O. (2010) Reproductive performance, udder health, and antibiotic resistance in mastitis bacteria isolated from Norwegian Red cows in conventional and organic farming. *Acta veterinaria Scandinavica*, 52(February 2010), 11.
- GIEC (2013) : Résumé à l'intention des décideurs, Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques, Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (sous la direction de T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, y. xia, V. bex et P.M. Midgley),. Cambridge University Press, Cambridge et New york, 11.
- Gouttenoire, L., Fiorelli, J. L., Trommenschlager, J.M., Coquil, X. & Cournut, S. (2010) Understanding the reproductive performance of a dairy cattle herd by using both analytical and systemic approaches : a case study based on a system experiment. *Animal*, 4(6), 827 841.
- Heins, B.J. & Hansen, L.B. (2012) Short communication: Fertility, somatic cell score, and production of Normande x Holstein, Montbéliarde x Holstein, and Scandinavian Red x Holstein crossbreds versus pure Holsteins during their first 5 lactations. *Journal of Dairy Science*, 95(2), 918 924.
- Heins, B.J., Hansen, L.B. & De Vries, A. (2012) Survival , lifetime production , and profitability of Normande x Holstein, Montbéliarde x Holstein, and Scandinavian Red x Holstein crossbreds versus pure Holsteins. *Journal of Dairy Science*, 95(2), 1011 1021.
- Hovi, M., Sundrum, A. & Thamsborg, S., (2003) Animal health and welfare in organic livestock production in Europe : current state and future challenges. *Livestock Production Science*, 80, 41 53.
- Idele (2016) Résultats du contrôle laitier - espèce bovine. *Institut de l'élevage*, 112.
- IFOAM. Les principes de l'Agriculture Biologique, préambule [en ligne], Disponible sur [http://www.ifoam.bio/sites/default/files/poa\\_french\\_web.pdf](http://www.ifoam.bio/sites/default/files/poa_french_web.pdf), consulté le 25.08.2017.
- Kijlstra, A. & Eijck, I.A.J.M. (2006) Animal health in organic livestock production systems : a review. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*, 54(1), 77 94.
- Krieger, M., Sjöström, K., Blanco-Penedo, I., Madouasse, A., Duval, J. E., Bareille, N., Fourichon, C., Sundrum, A. & Emanuelson, U. (2017) Prevalence of production disease related indicators in organic dairy herds in four European countries. *Livestock Science*, 198, 104 108.
- Lemercier A., Delaby L., Ronsin L., Colette S. & Gallard Y., (2013) Quelles vaches laitières pour quels systèmes ? Performances de production laitière et d'état corporel des vaches de différents potentiels de synthèse de lait, induits par la race, la parité, l'index génétique, ou le stade de lactation face à la variation du niveau des apports nutritifs - Synthèse de 6 années d'expérimentation. ESA d'Angers et INRA de Rennes. 6.
- Le Pensec, L. (2000) L'agriculture biologique et l'INRA, Vers un programme de recherche. 25.

- Madani, T., Mouffok, C. & Yakhleff, H. (2007) Effet de la saison de vêlage et de la parité sur la variabilité de la forme de la courbe de lactation chez la vache laitière en conditions semi-aride. *Rencontres Recherches Ruminants*, 14, 427.
- Martignon, M. (2014) Le projet “ charte sanitaire ”: Une politique sanitaire explicite pour les élevages expérimentaux de l’Inra. *INRA Productions Animales*, 27(1), pp.69–71.
- Mccarthy, B., Pierce, K. M., Delaby, L., Brennan, A., & Horan, B. (2013) The effect of stocking rate and calving date on milk production of Holstei x Friesian dairy cows. *Livestock Science*, 153, 123 134.
- Miller, R.H., Kuhn, M. T., Norman, H. D. & Wright, J. R. (2008) Death losses for lactating cows in herds enrolled in dairy herd improvement test plans. *Journal of Dairy Science*, 91(9), 3710 3715.
- Müller, U. & Sauerwein, H. (2010) A comparison of somatic cell count between organic and conventional dairy cow herds in West Germany stressing dry period related changes. *Livestock Science*, 127, 30 37.
- Ollion, E., Ingrand, S., Delaby, L., Trommenschlager, J. M., Colette-Leurent, S. & Blanc, F. (2016) Assessing the diversity of trade-offs between life functions in early lactation dairy cows. *Livestock Science*, 183, 98 107.
- Ollion, E., (2015) Evaluation de la robustesse des vaches laitières : entre aptitudes biologiques des animaux et stratégies de conduite des éleveurs. *Thèse, Université Blaise Pascal – Clermont Ferrand II*, 253
- Peyraud, J., Le Gall, A. & Delaby, L. (2009) Quels systèmes fourragers et quels types de vaches laitières demain ? *Fourrages*, 197, 47 70.
- Pflimlin, A. & Faverdin, P. (2014) Les nouveaux enjeux du couple vache - prairie à la lumière de l’ agroécologie. *Fourrages*, 217, 23 35.
- Phocas, F., Bobe, J., Bodin, L., Charley, B., Dourmad, J. Y., Friggens, N. C., Hocquette, J. F., Le Bail, P. Y., Le Bihan-Duval, E., Mormède, P., Quéré, P. & Schelcher, F. (2014) Des animaux plus robustes: Un enjeu majeur pour le développement durable des productions animales nécessitant l’essor du phénotypage fin et à haut débit. *Inra Productions Animales*, 27(3), 181 194.
- Ponsart, C., Freret, S., Charbonnier, G., Giroud, O., Dubois, P. & Humblot, P. (2006) Description des signes de chaleurs et modalités de détection entre le vêlage et la première insémination chez la vache laitière. *Rencontre Recherches Ruminants*, 273 276.
- Raison, C., Chambaut, H., Le Gall, A. & Pflimlin, A. (2008) Impact of the forage system on the quality of the water. Lessons from the Green Dairy project Impact du système fourrager sur la qualité de l’eau. Enseignements issus du projet Green Dairy. *Fourrages*, 193, pp.3–18.
- Règlement (CE) N° 834/2007 DU CONSEIL du 28 juin 2007 relatif à la production biologique et à l’étiquetage des produits biologiques et abrogeant le règlement (CEE) n° 2092/91.
- Roche, J.R., Friggens, N. C., Kay, J. K., Fisher, M. W., Stafford, K. J., & Berry, D. P. (2009) Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *Journal of Dairy Science*, 92, 5769 5801.

- Roche, J.R., Dillon, P. G., Stockdale, C. R., Baumgard, L. H., Vanbaale, M. J. (2004) Body Condition Scoring Systems. *Journal of Dairy Science*, 87(9), pp.3076–3079.
- Rupp, R. Boichard, D., Bertrand, C., Bazin, S. (2000) Bilan national des numérations cellulaires dans le lait des différentes races bovines laitières Françaises. *INRA Productions Animales*, 13(4), 257 267.
- Sadoul, B. (2014) Etude de la plasticité des réponses adaptatives par une approche de modélisation multicritère chez la truite arc en ciel, Sciences du Vivant [q-bio]. Agrocampus Ouest, 173.
- Sauvant, D. & Martin, O. (2010) Robustessen rusticité, flexibilité, plasticité... les nouveaux critères de qualité des animaux et des systèmes d'élevage : définitions systémique et biologique des différents concepts. *INRA Productions Animales*, 23(1), 5 10.
- Savini, I. & Penvern, S. (2016) Les projets de recherche sur l'Agriculture biologique en cours à l'INRA ,1 6.
- Sepchat, B., D'hour, P. & Agabriel, J. (2015) Production laitière des vaches allaitantes : Caractérisation et étude des principaux facteurs de variation. *Rencontres Recherches Ruminants*, 2, 329 332.
- Shafie, F. A. & Rennie, D. (2012) Consumer Perceptions towards Organic Food. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 49, 360 367.
- Star, L., Ellen, E. D., Uitdehaag, K. & Brom, F. W. A. 2008. A plea to implement robustness into a breeding goal: Poultry as an example. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 21(2), 109 125.
- Thomet, P., Steiger Burgos, M., Petermann, R., Hofstetter, P., Muenger, A. & Kunz, P. (2006) Quel type de vache laitière pour produire du lait au pâturage ? *Rencontres Recherches Ruminants*, 13, 369 372.
- Tixier-boichard, M., Verrier, E., Rognon, X., & Zerjal, T. (2015) Farm animal genetic and genomic resources from an agroecological perspective, *Frontiers in Genetics*, 6(153), 1 3.
- Trommschlager, J.M., Gaujour, E., Fontana, E., Harmand, M., Foissy, D., Huguet, J. & Bazard, C. (2007) Gérer et organiser les données agricoles et de recherche d' un site expérimental. *Cahier des Techniques de l'Inra*, (Milieux naturels, Méthodes et Outils, Compléments), 5 27.
- Vance, E. R., Ferris, C. P., Elliott, C. T., Hartley, H. M., & Kilpatrick, D. J. (2013) Comparison of the performance of Holstein-Friesian and Jersey×Holstein-Friesian crossbred dairy cows within three contrasting grassland-based systems of milk production. *Livestock Science*, 151(1), 66 79.
- You, G. & Monniot, C. (2013) Forces et faiblesses du modèle laitier irlandais. *Rencontres Recherches Ruminants*, 20, 353 356.

---

## ANNEXES

---

### **ANNEXE 1 : Élément du glossaire des expérimentateurs pris en compte pour chaque cause de réforme en fin de première lactation**

<b>Cause de réforme</b>	<b>Élément du glossaire de l'expérimentation pris en compte</b>
Reproduction	Abattage reproduction Vente reproduction
Santé	Abattage maladie Abattage mammites Mort maladie Abattage ennui vêlage
Niveau de production	Abattage niveau de production
Cause expérimentale	Abattage expérimentation Vente expérimentation
Autre	Abattage renouvellement Mort cause inconnue Abattage accident Vente commerce Mort accident

**ANNEXE 2: Présentation des modèles utilisés pour les variables décrivant les performances de lactation, d'évolution de l'état corporel, de reproduction et de longévité et carrière**

Variable	Modèle Statistique	Variable explicative testée						
		race	système	rang	Campagne	Dlac	Race*système	LP
PLt44s	A	X	X	X	X	X	X	
PLmax	A	X	X	X	X		X	
MGt44s	A	X	X	X	X	X		
MPt44s	A	X	X	X	X	X	X	
Mut44s	A	X	X	X	X	X	X	
Lat44s	A	X	X	X	X	X	X	
TBm44s	A	X	X	X	X	X	X	
TPm44s	A	X	X	X	X	X	X	
TPmin	A	X	X	X	X		X	
PLt44s/kgPV	A	X	X	X	X	X	X	
Mut44s/kgPV	A	X	X	X	X	X	X	
PVm44s	A	X	X	X	X		X	
PVvel	A	X	X	X	X		X	
NECvel	A	X	X	X	X		X	
Necmini	A	X	X	X	X		X	
PerteNEC	A	X	X	X	X	X	X	
GainNEC	A	X	X	X	X	X	X	
IVV	A	X	X	X	X		X	
IVl1	A	X	X	X	X		X	
IVlfec	A	X	X	X	X		X	
IIIlfec	A	X	X	X	X		X	
IVlposs	A	X	X	X	X		X	
IIpossI1	A	X	X	X	X		X	
IIposslfec	A	X	X	X	X		X	
Vèle	B	X	X	X	X		X	
GES	B	X	X	X	X		X	
RI-1	B	X	X	X	X		X	
RI-2	B	X	X	X	X		X	
RI-1ou2	B	X	X	X	X		X	
I-21j	B	X	X	X	X		X	
I-42j	B	X	X	X	X		X	
G21j	B	X	X	X	X		X	
G42j	B	X	X	X	X		x	
I-21jindiv	B	X	X	X	X		X	
I-42jindiv	B	X	X	X	X		X	
G21jindiv	B	X	X	X	X		X	
G42jindiv	B	X	X	X	X		X	
Boiteries44s	B	X	X	X	X		X	
Mammites44s	B	X	X	X	X		X	
TGenitiaux44s	B	X	X	X	X		X	
SCSm7s	A	X	X	X	X		X	
SCSm44s	A	X	X	X	X		X	
Dvie	C	X	X				X	X
MUcarrière	C	X	X				X	X
PLcarrière	C	X	X				X	X
PL_jourdevie	C	X	X				X	X
MU_jourdevie	C	X	X				X	X
Lac2	D	X	X				X	
Ref1	D	X	X				X	
Lac3	D	X	X				X	
Ref2	D	X	X				X	
LPvie	D	X	X				X	

Se référer au Matériel et Méthodes pour le nom des variables.

**ANNEXE 3 : Variables classifiantes utilisées par OLLION et al (2016) dans la méthode de caractérisation des compromis entre fonction biologique.**

Fonction biologique représentée	Variable	Calcul
Lactation	Production laitière moyenne sur 0 - 90 jours post partum	Moyenne des productions laitières hebdomadaires
	Production laitière journalière moyenne de la 13 <sup>ème</sup> semaine	
	Pic de lactation	En jours
Maintien de l'état corporel	Nec vêlage	
	Nombre de mois où la NEC baisse	Nombre de fois où $NEC_m < NEC_{m+1}$
	Nombre de mois où la NEC est en stagnation	Nombre de fois où $NEC_m = NEC_{m+1}$
	Différence relative entre la Nec au vêlage et la NEC en 13 <sup>ème</sup> semaine	$[(NEC_{13s} - NEC_v) / NEC_v] * 100$
Reproduction	Intervalle insémination possible – première insémination	En jours
	Intervalle insémination possible – insémination fécondante	En jours
	Nombre d'inséminations	

**ANNEXE 4 : Variables classifiantes utilisées par CLOET (2015) dans la méthode de caractérisation des compromis entre fonctions biologiques.**

Fonction biologique représentée	Variable	Calcul
Lactation	Production totale de matière utile sur 0 – 150 jours post partum	Hebdomadaire*7
	Intervalle vêlage - pic de matière utile	En jours
	Persistance de la production de matière utile	$(M_{fin} - M_{max}) / M_{max}$
Maintien de l'état corporel	NEC au vêlage	
	Taux de variation maximal de la NEC entre le vêlage et la NEC minimale	$(Nec_{min} - Nec_{vel}) / Nec_{vel}$
	Nombre de mois où la NEC est en stagnation	Nombre de fois où $NEC_m = NEC_{m+1}$
	Variation de la NEC en fin de période	$Nec_{fin} / Nec_{min}$
Reproduction	Intervalle insémination possible – première insémination	En jours
	Intervalle insémination possible – insémination fécondante	En jours
	Nombre d'inséminations	
	Intervalle entre le vêlage et la première ovulation après vêlage	En jours

**ANNEXE 5 : Variables explicatives conservées et leurs effets dans les modèles d'analyse des performances de lactation, reproduction, NEC et santé des vaches laitières de l'installation expérimentale de Mirecourt.**

Variable	Modèle Statistique	Variable explicative conservée dans les modèles						LP
		Race	Système	Rang	Campagne	Dlac	Race*système	
PLt44s	A	***	***	***	***	***	***	***
PLmax	A	***	***	**	***		**	**
MGt44s	A	***	***	***	***	***	**	**
MPt44s	A	***	***	***	***	***	***	***
Mut44s	A	***	***	***	***	***	**	**
Lat44s	A	***	***	***	***	***	***	***
TBm44s	A	***	*	0,9	**	*	0,05	
TPm44s	A	***	*	**	***	*	0,58	
TPmin	A	***	***	*	***		1,0	
PLt44sPV	A	***	**	**	***	***	**	**
Mut44sPV	A	***	***	***	***	***	*	*
PVm44s	A	***	***	***	**		0,27	
PVvel	A	***	***	***	***		0,27	
NECvel	A	0,41	***	***	***		0,43	
Necmini	A	***	***	*	***		**	**
PerteNEC	A	***	***	***	***		0,49	
GainNEC	A	**	**	***	**	***	0,72	
IVV	A	**	0,67	/	/		0,64	
IVII	A	***	0,46	***	/		0,35	
IVIfec	A	***	0,61	/	*		0,63	
IIIfec	A	0,09	0,37	/	*		0,72	
IVIposs	A	***	0,63	***	***		0,10	
Drepro	A	0,12	***	***	***		0,47	
IpossI1	A	***	0,85	/	/		0,54	
IpossIfec	A	**	0,35	/	***		0,68	
SCSm7s	A	0,02	***	***			0,72	
SCSm44s	A	0,09	***	***			0,42	
Dvie	C	0,42	0,77				0,90	***
MUcarrière	C	0,91	0,22				0,63	***
PLcarrière	C	0,82	0,20				0,71	***
PL_jourdevie	C	***	**				*	0,22
MU_jourdevie	C	***	**				*	0,52

Significativité des effets dans les modèles testés. \*\*\*\* : p<0,0001 ; \*\*\* : p<0,001 ; \*\* : p<0,01 ; \* : p<0,05 ; / : retiré du modèle car non significatif.

**ANNEXE 6 : Effets des variables explicatives sur les performances de reproduction et de santé estimés par les modèles de régression logistique choisis dans l'étude.**

**A - Effet des variables explicatives sur le taux de gestation dans les 42 premiers jours de la saison de reproduction et les taux d'insémination et de gestation dans les 21 et 42 premiers jours suivant l'insémination possible, estimés par le modèle de régression logistique B.**

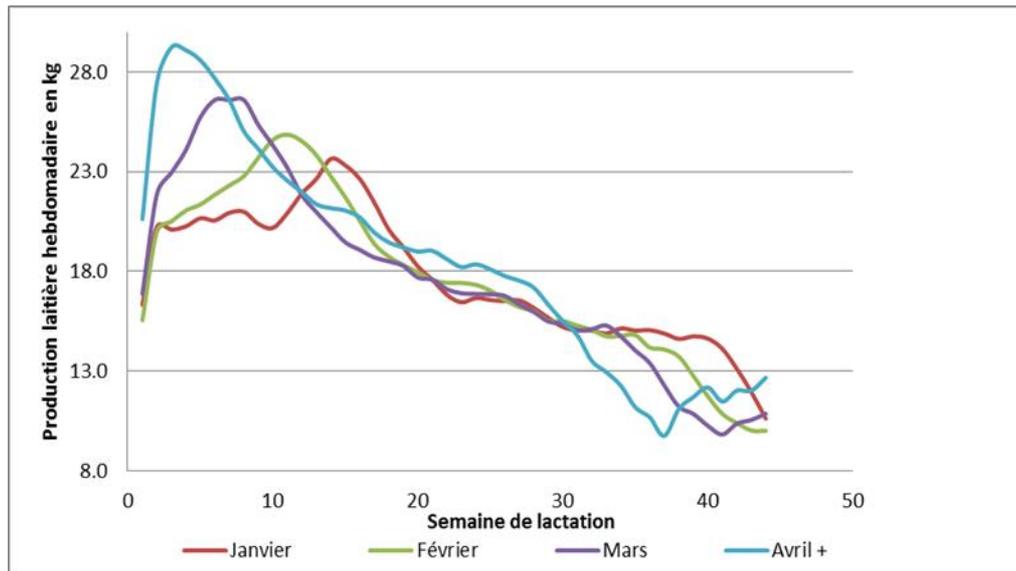
		G42j			IA21jindiv			IA42jindiv			G21jindiv			G42jindiv		
		Odds ratio	Intervalle de confiance	p-value	Odds ratio	Intervalle de confiance	p-value	Odds ratio	Intervalle de confiance	p-value	Odds ratio	Intervalle de confiance	p-value	Odds ratio	Intervalle de confiance	p-value
<b>Système</b>	SH	REF	REF													
	SPCE	1.32	0.9 2.0	0.18	1.15	0.7 1.9	0.58	1.06	0.4 2.6	0.90	1.15	0.8 1.7	0.50	1.15	0.7 1.7	0.49
<b>Race</b>	Mo	REF	REF													
	Ho	0.61	0.4 1.0	*	0.596	0.35 1.0	.	0.30	0.2 0.7	**	0.51	0.3 0.8	**	0.36	0.2 0.6	***
<b>Rang</b>	1	REF	REF													
	2	0.66	0.4 1.0	*	1.54	1.0 2.4	.	1.23	0.6 2.6	0.56	0.83	0.6 1.2	0.33	0.74	0.5 1.1	0.12
	3+	0.43	0.3 0.6	***	1.09	0.7 1.6	0.66	0.91	0.5 1.7	0.78	0.77	0.5 1.1	0.14	0.69	0.5 1.0	*
<b>Campagne</b>	2005	REF	REF													
	2006	0.62	0.3 1.3	0.22	0.81	0.4 1.7	0.57	0.54	0.2 1.6	0.26	0.57	0.3 1.1	0.12	0.59	0.3 1.1	0.11
	2007	1.10	0.5 2.3	0.79	1.54	0.7 3.5	0.29	2.44	0.6 16.8	0.28	1.10	0.6 2.2	0.77	1.51	0.8 3.0	0.23
	2008	1.77	0.9 3.5	.	1.17	0.5 2.4	0.66	3.29	0.7 22.7	0.15	0.97	0.5 1.9	0.93	1.19	0.6 2.2	0.58
	2009	1.86	0.9 3.7	.	1.30	0.6 2.7	0.48	1.24	0.4 4.3	0.73	1.20	0.6 2.3	0.58	1.29	0.7 2.4	0.42
	2010	2.86	1.5 5.7	**	1.31	0.6 2.8	0.48	1.47	0.4 5.9	0.55	1.66	0.9 3.2	0.12	2.26	1.2 4.4	*
	2011	3.77	1.9 7.4	***	1.14	0.6 2.3	0.73	1.26	0.4 4.5	0.70	1.53	0.8 2.9	0.19	2.17	1.1 4.2	*
	2012	2.96	1.5 5.8	**	1.46	0.7 3.1	0.32	1.34	0.4 4.8	0.63	1.41	0.7 2.7	0.29	1.84	1.0 3.5	.
	2013	3.03	1.5 6.1	**	0.80	0.4 1.6	0.55	0.71	0.2 1.4	0.54	0.94	0.5 1.8	0.85	1.55	0.8 3.0	0.19
2014-15	1.75	0.9 3.4	.	0.92	0.5 1.8	0.81	0.52	0.4 4.0	0.19	0.65	0.3 1.2	0.19	0.75	0.4 1.4	0.36	
<b>Race* Système</b>	MoSH	REF	REF													
	HoSPCE	1.04	0.5 2.0	0.89	0.78	0.4 1.5	0.47	1.23	0.7 2.3	0.72	1.23	0.7 2.3	0.52	1.50	0.8 2.8	0.19

**B - Effet des variables explicatives sur le taux de gestation, de vêlage, de réussite aux inséminations et les taux d'insémination et de gestation dans les 21 et 42 premiers jours de la saison de reproduction, estimés par le modèle de régression logistique B.**

		Réussite à l'I-1			Réussite à l'I-2			Réussite à l'I-1 ou 2			Gestation		
		Odds ratio	Intervalle de confiance	p-value	Odds ratio	Intervalle de confiance	p-value	Odds ratio	Intervalle de confiance	p-value	Odds ratio	Intervalle de confiance	p-value
<b>Système</b>	SH	REF	REF		REF	REF		REF	REF		REF	REF	
	SPCE	1.23	[0.8 1.8]	0.31	1.31	0.7 2.3	0.35	1.35	0.8 2.0	0.16	1.75	1.0 3.0	*
<b>Race</b>	Mo	REF	REF		REF	REF		REF	REF		REF	REF	
	Ho	0.58	0.3 1.0]	*	0.33	0.1 0.7	**	0.38	0.2 0.6	***	0.29	0.2 0.4	***
<b>Rang</b>	1	REF	REF		REF	REF		REF	REF		REF	REF	
	2	0.73	0.5 1.1]	0.11	0.82	0.5 1.4	0.49	0.68	0.5 1.0	.	0.73	0.5 1.1	0.18
	3+	0.69	0.5 1.0]	*	0.84	0.5 1.4	0.49	0.72	0.5 1.0	.	0.62	0.4 0.9	*
<b>Campagne</b>	2005	REF	REF		REF	REF		REF	REF		REF	REF	
	2006	0.65	0.3 1.3	0.22	1.03	0.4 2.5	0.94	0.75	0.4 1.4	0.39	0.59	0.3 1.2	0.17
	2007	1.03	0.5 2.0	0.94	1.92	0.7 5.0	0.18	1.25	0.6 2.5	0.52	0.78	0.3 1.7	0.54
	2008	0.79	0.4 1.5	0.48	1.90	0.8 4.5	0.14	1.23	0.6 2.3	0.52	0.90	0.4 1.9	0.78
	2009	1.15	0.6 2.2	0.67	1.41	0.5 3.6	0.47	1.19	0.6 2.3	0.59	0.88	0.4 1.8	0.73
	2010	2.07	1.1 4.0	*	2.07	0.8 5.5	0.14	2.39	1.2 4.9	*	1.72	0.7 4.1	0.21
	2011	1.89	1.0 3.6	*	2.10	0.8 5.4	0.12	2.21	1.1 4.4	*	2.75	1.1 7.2	*
	2012	1.41	0.7 2.7	0.29	1.29	0.5 3.3	0.59	1.34	0.7 2.6	0.38	0.88	0.4 1.9	0.74
	2013	1.21	0.6 2.3	0.56	1.82	0.7 4.6	0.20	1.59	0.8 3.2	0.19	1.17	0.5 2.6	0.69
2014-15	0.77	0.4 1.4	0.42	1.04	0.4 2.5	0.92	0.82	0.4 1.5	0.52	0.51	0.2 1.0	.	
<b>Race*</b>	MoSH	REF	REF		REF	REF		REF	REF		REF	REF	
	HoSPCE	1.12	0.6 2.1	0.71	2.33	1.0 5.9	.	1.59	0.8 3.0	0.14	1.55	0.8 3.1	0.22

		vèle			I-21j			I-42j			G21j		
		Odds ratio	Intervalle de confiance	p-value	Odds ratio	Intervalle de confiance	p-value	Odds ratio	Intervalle de confiance	p-value	Odds ratio	Intervalle de confiance	p-value
<b>Système</b>	SH	REF	REF										
	SPCE	1.70	1.0 2.8	*	0.99	0.7 1.5	0.97	1.11	0.7 1.7	0.66	1.32	0.8 2.1	0.25
<b>Race</b>	Mo	REF	REF										
	Ho	0.31	0.2 0.5	***	1.24	0.8 2.0	0.37	1.045	0.6 1.8	0.87	0.76	0.4 1.4	0.36
<b>Rang</b>	1	REF	REF										
	2	0.69	0.4 1.1	.	0.78	0.5 1.1	0.20	0.61	0.4 0.9	*	0.65	0.4 1.0	.
	3+	0.68	0.4 1.0	.	0.57	0.4 0.8	**	0.45	0.3 0.7	***	0.54	0.4 0.8	**
<b>Campagne</b>	2005	REF	REF										
	2006	0.51	0.2 1.0	.	0.73	0.4 1.4	0.35	0.88	0.5 1.7	0.70	0.53	0.2 1.4	0.23
	2007	1.04	0.5 2.3	0.91	0.74	0.4 1.5	0.38	1.08	0.5 2.1	0.81	1.26	0.5 3.0	0.61
	2008	0.98	0.5 2.0	0.96	1.44	0.8 2.7	0.25	2.24	1.1 4.5	*	1.54	0.7 3.5	0.30
	2009	1.05	0.5 2.2	0.90	1.00	0.5 1.9	0.99	1.84	0.9 3.6	.	1.40	0.6 3.2	0.43
	2010	1.64	0.7 3.7	0.22	1.77	0.9 3.4	.	2.05	1.0 4.1	*	2.87	1.3 6.4	**
	2011	1.99	0.9 4.5	.	2.85	1.5 5.4	**	4.48	2.1 9.9	***	3.68	1.7 8.0	***
	2012	1.05	0.5 2.2	0.90	2.11	1.1 4.0	*	2.83	1.4 5.8	**	2.34	1.1 5.2	*
	2013	1.32	0.6 2.9	0.48	1.84	1.0 3.5	.	3.63	1.7 8.0	***	1.60	0.7 3.7	0.27
2014-15	0.64	0.3 1.3	0.20	2.05	1.1 3.8	*	2.43	1.3 4.7	**	1.34	0.6 3.0	0.47	
<b>Race*</b>	MoSH	REF	REF										
	HoSPCE	1.19	0.6 2.4	0.62	0.558	0.3 1.0	.	0.610	0.3 1.2	0.15	0.80	0.4 1.7	0.55

**ANNEXE 7 : Courbes de lactations des moyennes brutes hebdomadaires en fonction du mois de vêlage dans le SH**

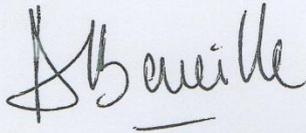


**ANNEXE 8 : Résultats de l'ACP réalisée dans la méthode de caractérisation des profils de compromis intégrant les données sanitaires.**  
res\$eig

##	eigenvalue	percentage of variance	cumulative percentage of variance
## comp 1	1.5637770	14.216154	14.21615
## comp 2	1.5387675	13.988796	28.20495
## comp 3	1.2557574	11.415977	39.62093
## comp 4	1.1002952	10.002684	49.62361
## comp 5	1.0728523	9.753202	59.37681
## comp 6	0.9915176	9.013797	68.39061
## comp 7	0.9094594	8.267813	76.65842
## comp 8	0.8661032	7.873666	84.53209
## comp 9	0.7815234	7.104758	91.63685
## comp 10	0.6342086	5.765533	97.40238
## comp 11	0.2857383	2.597621	100.00000

Vu: L'enseignant Rapporteur

De l'Ecole Nationale Vétérinaire,  
Agroalimentaire et de l'Alimentation Nantes  
Atlantique Oniris

  
N. BAREILLE

Vu: La Directrice Générale

De l'Ecole Nationale Vétérinaire,  
Agroalimentaire et de l'Alimentation  
Nantes Atlantique Oniris  
D. BUZONI-GATEL

P/D

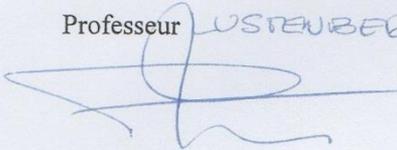


Nantes, le 12.09.2017.

Vu:

Le Président de la Thèse

Professeur JUSTEUBERGER



Vu:

Le Doyen de la Faculté de  
Médecine de Nantes

Professeur Pascale JOLLIET

Vu et permis d'imprimer

NOM : ROBIN

Prénom : Maxien

## **Performances et santé des vaches laitières en agriculture biologique : Bilan de l'expérimentation – système de Mirecourt**

### **RESUME**

Cette étude avait deux objectifs, d'une part comparer les performances de vaches de race Holstein et Montbéliarde dans un système 100% herbager et dans un système polyculture élevage et d'autre part évaluer l'intérêt des données de santé pour caractériser la robustesse des animaux. Sur 44 semaines de lactation, les vaches Holstein ont produit plus de lait (+ 531 kg) et de matière utile (+ 46 kg) que les Montbéliardes et ont présenté une meilleure réactivité de la production laitière en système moins contraint (+ 472 kg) que les Montbéliardes (+ 54 kg). Elles ont également montré une meilleure production par kg de poids vif (+ 1,04 kg /kg). En revanche, leurs performances de reproduction ont été dégradées surtout dans le système herbager (- 25% de taux de gestation) et elles ont perdu plus d'état corporel en début de lactation. Les vaches de race Holstein ont présenté plus de troubles génitaux en début de lactation, mais les Montbéliardes ont été plus sujettes aux boiteries, le système herbager a favorisé ces troubles sanitaires. La longévité des deux races n'a pas été différente compte tenu du recours aux lactations prolongées fréquent pour les vaches Holstein. La production par jour de vie productive a été meilleure chez les vaches Holstein du système polyculture élevage.

La prise en compte des données sanitaires en début de lactation avec les autres performances animales a permis de dégager 4 profils de compromis entre ces performances. Selon les profils, la survenue de troubles sanitaires a impacté différemment les autres performances mais était particulièrement liée aux mauvaises performances de reproduction. Notre étude renforce également l'idée dégagée dans les études antérieures : le type de profil de compromis entre fonctions biologiques exprimé par une vache laitière ne peut être déduit de sa race, son rang de lactation ou des contraintes alimentaires qu'elle subit.

### **SUMMARY**

This study had two objectives, on the one hand to compare the performance of Holstein and Montbéliarde dairy cows in a 100% grazing system and in a mixed crop dairy system and on the other hand to evaluate the relevance of using health data to improve animal robustness characterization. Over 44 weeks of lactation, Holstein dairy cows produced more milk (+ 531 kg) and fat and proteins (+ 46 kg) than Montbéliarde dairy cows. They showed a better milk yield improvement in less restricted system (+ 472 kg) than Montbéliarde. They also presented a better milk yield per body weight (+1.04 kg / kg of body weight). However, they had poor reproduction performance mainly in the grazing system (- 25 % of gestation rate) and they loosed more body weight condition. In early lactation, Holstein dairy cows had more genital disorders, but Montbéliarde cows faced more lameness. On the whole, grazing system promoted more health disorders. Longevity between the two breed was not different because of the choice to keep more frequently Holstein cows in extended lactation. Milk yield per day of productive life was better for the Holstein dairy cows in the mixed crop dairy system.

The use of health data together with other animal performances in early lactation let us to identify 4 types of trade-offs between these performances. According to these types, health disorders onset impacted differently the other animal performances, but was particularly linked with poor reproduction performance. Our study strengthens ideas developed in previous studies: types of trade-offs between life function expressed by dairy cows cannot be predicted by their breed, their parity or their feeding constrains.

**MOTS CLES :** vache laitière, agriculture biologique, pâturage, performance zootechnique, santé

### **JURY**

Monsieur Patrick LUSTENGERBER, Professeur à la faculté de médecine de Nantes  
Madame Nathalie BAREILLE, Professeur à ONIRIS  
Monsieur Aurélien MADOUASSE, Maître de conférences à ONIRIS

### **ADRESSE DE L'AUTEUR :**

Marion ROBIN  
Lieu-dit : Bomel  
22600 Saint Maudan

### **Nom de l'imprimeur :**

Corep Nantes Petite Hollande  
3 place de la petite Hollande  
44000 Nantes