



HAL
open science

Préparation des jeunes bovins à la période d'engraissement : résultats d'une analyse intégrative à partir d'un essai réalisé en France

Lucie-Marie Dutheil

► **To cite this version:**

Lucie-Marie Dutheil. Préparation des jeunes bovins à la période d'engraissement : résultats d'une analyse intégrative à partir d'un essai réalisé en France. Médecine vétérinaire et santé animale. 2021. dumas-04096098

HAL Id: dumas-04096098

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04096098v1>

Submitted on 12 May 2023

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

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

PREPARATION DES JEUNES BOVINS A LA PERIODE D'ENGRAISSEMENT : RESULTATS D'UNE ANALYSE INTEGRATIVE A PARTIR D'UN ESSAI REALISE EN FRANCE

THESE
pour obtenir le titre de
DOCTEUR VETERINAIRE

DIPLOME D'ETAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

DUTHEIL Lucie-marie

Directeur de thèse : M. Gilles FOUCRAS

JURY

PRESIDENT :
M. Renaud MAILLARD

Professeur à l'Université Paul-Sabatier de TOULOUSE

ASSESEURS :
M. Gilles FOUCRAS
M. Gilles MEYER

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

Directeur : Professeur Pierre SANS

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie – Thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et Industrie des aliments d'Origine animale*
- Mme **CHASTANT-MAILLARD Sylvie**, *Pathologie de la Reproduction*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, Statistiques, Modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie Pathologique*
- M. **ENJALBERT Francis**, *Alimentation*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la Reproduction, Endocrinologie*
- Mme **HAGEN-PICARD, Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SCHELCHER François**, *Pathologie médicale du Bétail et des Animaux de Basse-cour*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie Médicale Animale et Comparée*

PROFESSEURS 1^{ère} CLASSE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et Industrie des aliments*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, Anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie Vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootecnie*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et Maladies Parasitaires*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie Pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et Thérapeutique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des Ruminants*

PROFESSEURS 2^{ème} CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des Equidés et des Carnivores*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, Imagerie médicale*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **RABOISSON Didier**, *Médecine de population et Économie de la santé animale*

PROFESSEURS CERTIFIÉS DE L'ENSEIGNEMENT AGRICOLE

- Mme **MICHAUD Françoise**, *Professeur d'Anglais*
- M. **SEVERAC Benoît**, *Professeur d'Anglais*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la Reproduction*
Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et Industrie des Denrées alimentaires d'Origine animale*
Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et Toxicologie*
M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et Mathématiques*
M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*
M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et Infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES CLASSE NORMALE

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
Mme **BRET Lydie**, *Physique et Chimie biologiques et médicales*
Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie-Imagerie médicale*
M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie- Bactériologie-Pathologie infectieuse*
Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et Industrie des aliments*
M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et Industrie des aliments*
M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*
Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie – Analgésie*
M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des Equidés*
Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie Chirurgicale*
Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire – Maladies animales règlementées*
Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

CHARGES D'ENSEIGNEMENT CONTRACTUELS

- Mme **CHARTIER Camille**, *Nouveaux animaux de compagnie*
M. **FERCHIOU Ahmed**, *Economie, production animale*
Mme **MANTELLI Morgane**, *Médecine interne*
Mme **MAURIN Claire**, *Nouveaux animaux de compagnie*
Mme **TOUSSAINT Marion**, *Pathologie des équidés*

ENSEIGNANTS DE PREMIERE ANNEE COMMUNE AUX ETUDES VETERINAIRES

- M. **AUFFRET Jérémy**, *Physique-Chimie*
Mme **GAUCHARD Cécile**, *Biologie-écologie-santé*

ASSISTANTS D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE CONTRACTUELS

- M. **BESSIERE Pierre**, *Microbiologie infectiologie*
Mme **BLONDEL Margaux**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
M. **COMBARROS-GARCIA Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*
M. **GAIDE Nicolas**, *Histologie, Anatomie Pathologique*
M. **LESUEUR Jérémy**, *Gestion de la santé des ruminants – Médecine collective de précision*
M. **TOUITOU Florian**, *Alimentation animale*

Remerciements

A mon président de thèse,

Monsieur le Professeur Renaud MAILLARD,

Professeur en Pathologie des ruminants à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse,

Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse,

Pour son soutien et sa gentillesse,

Hommages respectueux.

A mon jury de thèse,

Monsieur le Professeur Gilles FOUCRAS,

Professeur en Pathologie des ruminants à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse,

Qui m'a fait confiance pour me confier ce sujet et m'a guidée dans l'élaboration de ce travail,

Pour sa patience, sa pédagogie et son aide lors de la réalisation de ce travail et la rédaction de ce manuscrit,

En témoignage de ma plus profonde gratitude.

Sincères remerciements.

Monsieur le Professeur Gilles MEYER,

Professeur en Pathologie des ruminants à l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse,

Qui a très aimablement accepté de faire partie de mon jury de thèse,

Qu'il soit assuré de ma grande reconnaissance,

Sincères remerciements.

Table des matières	
Remerciements	1
Table des figures	5
Table des tableaux	15
Abréviations	17
1. Introduction	21
1.1 Organisation de l'élevage allaitant et de l'engraissement des bovins en France.....	21
1.1.1 Contexte	21
1.1.2 Caractéristiques des ateliers d'engraissement en France	58
1.2 Les troubles sanitaires des jeunes bovins à l'engrais	72
1.3 Le pré-conditionnement des bovins avant l'entrée en atelier d'engraissement.....	110
2. Etude expérimentale	131
3. Discussion	181
3.1 Limites de l'étude	182
3.2.1. Facteurs de variabilité de l'origine des animaux et des conduites d'élevage chez le naisseur.....	182
3.2.2. Méthodologie	186
4. Conclusion.....	195
5. Annexes	197
6. Références	213

Table des figures

Figure 1 : Evolution relative des bovins et exploitations en France de 1970 à 2000 – Source : graph agri 2004

Figure 2 : Evolution du nombre de vaches allaitantes par élevage spécialisé de bovins entre 2000 et 2010 – Source : agreste -recensement agricole 2010 - traitement institut de l'élevage

Figure 3 : Répartition de la production de viande bovine en France en 2009 – Source France Agreste 2010

Figure 4 : Evolution en indice de quelques critères constitutifs de la rentabilité – Source : réseaux élevage (141 élevages allaitants spécialisés en champ constants)

Figure 5 : Nombre de naissance de veaux en France en 2008/2009 – Source BNDI

Figure 6 : Répartition géographique des ateliers allaitants en France en 2006 – Source BNDI

Figure 7 : Répartition géographique des vaches allaitantes en France en 2000 – Source agreste – recensement agricoles 1988 et 200, traitement et cartographie : Institut de l'Elevage

Figure 8 : Répartition géographique des vaches allaitantes en France en 2009 – Source : SSP (statistiques agricoles annuelles)

Figure 9 : Répartition et quantité de brouillard de 4 à 14 mois exportés en vif entre juillet 2016 et juin 2017 selon le département d'élevage – Source GEB Institut de l'élevage

Figure 10 : Facteurs influençant l'agriculture dans les différentes régions de France – Source Pointereau 2014

Figure 11 : Répartition des aides de la PAC entre le bassin charolais et le reste de la France en 2011 - Source ASP

Figure 12 : Répartition des aides de la PAC entre le premier et deuxième pilier en 2011 sur le bassin charolais – Source ASP

Figure 13 : Effets des aides de la PAC sur l'évolution de l'agriculture en France – Source Pointereau 2014

Figure 14 : Analyse de l'effet « théorique » des aides PAC selon la zone à haute valeur naturelle - Source Pointereau 2014

Figure 15 : Photographie d'une charolaise et description de ses qualités physiques – Source : Herd-book Charolais

Figure 16 : Carte de la répartition de la race charolaise en nombre de têtes en France – Source : Herd-book charolais 2020

Figure 17 : Evolution du poids en fonction de l'âge des veaux charollais – Source Herd-book Charolais 2020

Figure 18 : Evolution du GMQ en fonction de l'âge des veaux charollais – Source Herd-book Charolais 2020

Figure 19 : Graphique des performances de la race charolaise évaluée annuellement par des index Abjbf des pères (m) et des mères (f) – Source Boulesteix 2020

Figure 20 : Rendement-type d'une vache allaitante de race charolaise de 400kg classée U3 – Source Herd-book Charolais 2020

Figure 21 : Photographie d'une stabulation type aire paillée avec couloir central d'alimentation – Source : Roiné 2020

Figure 22 : Photographie d'une stabulation type aire paillée avec couloir latéral d'alimentation – Source : Morisset 2020

Figure 23 : Schéma de l'évolution de la consommation de lait et de fourrage d'un veau au sevrage – Source : l'alimentation du veau – « les bonnes pratiques d'élevage des veaux » - Groupement Intérêt Economique (GIE) Elevage de Bretagne 2008

Figure 24 : Évaluation de la part de lait et d'herbe dans la ration ingérée par un veau allaitant avant sevrage – Source : Institut de l'élevage – Inra 2014

Figure 25 : Graphiques de l'âge de sevrage des veaux en fonction de leur race – Source : BDNI 2011

Figure 26 : Estimation de la destination des veaux nés en 2018 – Source : données SPIE/BDNI et Normabev 2020

Figure 27 : Schéma du devenir des veaux issus du cheptel naisseur allaitant – Source : Marty 2015

Figure 28 : Tableau du nombre d'exportation de brouillards en milliers de têtes – Source : Chiffres clés bovin 2019 - Agreste

Figure 29 : Type de viande produite en France en 2019 – Source : estimation GEB-Institut de l'élevage, % de tonnage de gros bovins

Figure 30 : Schéma de présentation des acteurs de la filière de production de viande bovine en France, de l'éleveur au consommateur – Source : Interbev 2014

Figure 31 : Quantification et répartition des exploitations de production de bovins en France Source : Interbev 2017

Figure 32 : Organisation de la filière d'élevage bovin en France – Source : L'Atlas de l'élevage herbivore en France, Interbev

Figure 33 : Carte de la répartition géographique des exploitations agricoles selon le système d'élevage – Source : Agreste

Figure 34 : Schéma de présentation de la répartition des coûts en fonction des types d'ateliers – Source : EFFIBOV

Figure 35 : Carte des principaux bassins producteurs de brouillards en France -Source : BDNI 2011 – Traitement institut de l'élevage

Figure 36 : Répartition géographique des bovins mâles de race allaitante de 8 à 14 mois France -Source : BDNI, Agrimer 2010

Figure 37 : Répartition géographique des bovins mâles de race allaitante de 14 à 20 mois en France – Source BDNI, Agrimer 2010

Figure 38 : photographie d'un bâtiment d'engraissement de jeune bovin de race charolaise – Source : Mounaix 2020

Figure 39 : Tableau de présentation de la ration utilisée par l'observatoire NEOBIF – Source : NEOBIF

Figure 40 : Tableau des consommations de la ration en fonction des séries – Source : NEOBIF

Figure 41 : Evolution des consommations journalières par rapport à la durée d'engraissement en fonction des séries étudiées – Source : NEOBIF

Figure 42 : Tableau des résultats zootechniques en fonction des rations distribuées – Source : NEOBIF

Figure 43 : Evolution du poids (en kg) par rapport a la durée d'engraissement en fonction des séries étudiées – Source : NEOBIF

Figure 44 : Tableau des résultats à l'abattage en fonction des rations distribuées – Source : NEOBIF

Figure 45 : Tableau des caractéristiques principales es élevages français (type de production, taille des élevages, paramètres épidémiologiques des MRB) – Source : Barnouin 2009

Figure 46 : Graphique de l'incidence des maladies respiratoires au niveau de l'élevage (nombre de cas pour 100 veaux) – Source : Angel 2009

Figure 47 : définition des situations sanitaires d'exploitation simulées en termes de mortalité et de morbidité pour troubles respiratoires – Source : Bareille 2008

Figure 48 : effet des troubles de santé sur le GMQ de la mise en lots à l'abattage, la durée d'engraissement, le poids vif à l'abattage, sur le poids et la conformation de la carcasse chez 810 jeunes bovins à performances connues – Source : Bareille 2008

Figure 49 : Composantes du budget partiel utilisé pour estimer l'impact économique de situations sanitaires dégradées – Source : Bareille 2008

Figure 50 : valeurs moyennes des données économiques et techniques retenues dans les calculs – Source : Bareille 2008

Figure 51 : Effets sanitaires, zootechniques et économiques simulés de situations sanitaires dégradées pour une exploitation-type exprimés en déviation par rapport à la situation d'incidence faible – Source : Bareille 2008

Figure 52 : Niveau d'analyse élevage, facteurs liés au risque de MRB (modèle logistique) – Source : Bouet 1999

Figure 53 : Graphique radar représentant le nombre mensuel d'épidémies positives pour les agents pathogènes viraux (A) et bactériens (B) – Source : Pardon 2020

Figure 54 : Distribution temporelle des MRB en France entre Novembre 2000 et Octobre 2001 – Source : Barnouin 2009

Figure 55 : Répartition annuelle des cas de MRB entre Septembre 1999 et Mars 2000 – Source : Assie 2004

Figure 56 : Moyenne des températures quotidiennes, de la vitesse du vent, de la pression atmosphérique, ensoleillement et des précipitations – Source : Assie 2004

Figure 57 : Niveau d'analyse bâtiment, facteurs liés au risque de maladies respiratoires (modèle logistique) – Source : Bouet 1999

Figure 58 : Taux d'incidence de cas par rapport au nombre de veau-jour à risque (cas pour 1000) et nombre de veaux à risque à un âge donné – Assié 2004

Figure 59 : Evolution de la concentration plasmatique de Se ($\mu\text{mol/L}$) pendant l'engraissement (jours) ($t = \text{jour } 140j$) – Source : Cozzi 2012

Figure 60 : Caractéristiques épidémiologiques, cliniques et lésionnelles des agents de MRB – Source : Francoz 2014

Figure 61 : Evolution de la température réticulo-ruminale mesurée chez un broutard au cours des 40 premiers jours après l'entrée en atelier d'engraissement – Source : Timsit 2011

Figure 62 : Prévalence quotidienne (%) du traitement de la maladie respiratoire bovine (BRD) chez 112 broutards équipés de bolus de mesure de la température du réticulo-rumen – Source : Timsit 2011

Figure 63 : Prévalence des trois signes cliniques observés lors de troubles respiratoires ($n=174$) – Source : Lecruste 2010

Figure 64 : Schéma de l'interaction PAMP-PRR lors d'une infection par un micro-organisme – Source : H. Daniels

Figure 65 : Schéma du mécanisme de stimulation antigénique et production d'anticorps – Source : H. Daniels

Figure 66 : Schéma du mécanisme d'activation des lymphocytes – Source : H. Daniels

Figure 67 : Evolution du titre en anticorps sériques en fonction du temps après infection – Source : H. Daniels

Figure 68 : photo d'une échographie pulmonaire chez un bovin avec une pleurésie ; image en queues de comète - Source : Noirez 2017

Figure 69 : photo d'une échographie de poumon chez un bovin avec des abcès pulmonaires

Figure 70 : photo d'une échographie de poumon bovin avec un épanchement pulmonaire

Figure 71 : Concentrations de l'haptoglobine et de la SAA dans les différentes populations animales échantillonnées dans plusieurs fermes – Source : Angen 2009

Figure 72 : points clés des facteurs zootechniques à prendre en compte pour réduire le risque de BPIE dans les élevages naisseurs, les centres de tri et les élevages engraisseurs – Source : Mounaix 2020

Figure 73 : Schéma des interactions entre les différents facteurs (humains, sanitaires, zootechniques, immunitaires) intervenant dans l'apparition des troubles respiratoires (Version simplifiée)

Figure 73 bis : Schéma des interactions entre les différents facteurs (humains, sanitaires, zootechniques, immunitaires) intervenant dans l'apparition des troubles respiratoires (Version complète)

Figure 74 : Réduction des revenus annuels en fonction de l'écart à l'incidence de BPIE nulle – Source : Assie 2001

Figure 75 : Schémas des différents protocoles vaccinaux (V1, V2, V3) – Source : Chassan 2020

Figure 76 : Ecart de GMQ moyens entre animaux d'un même élevage engraisseur selon le protocole vaccinal (données brutes non corrigées) avec V1-V2=différence entre les lots V1 et V2 et V2-V3=différence entre les lots V2 et V3 – Source : Mounaix 2018

Figure 77 : Schéma de présentation de l'étude de comparaison des veaux issus de vaches vaccinées ou tout venant – Source : Mounaix 2019

Figure 78 : Pourcentage d'animaux vus malades (signes externes : toux, écoulements) par des étudiants vétérinaires au troisième jour après l'arrivée en atelier d'engraissement – Source : Mounaix 2019

Figure 79 : Distribution des GMQ observés en fonction des protocoles vaccinaux (données brutes, non corrigées des effets engraisseurs, lots et poids d'entrée) – Source : Mounaix 2018

Figure 80 : Proportion de la totalité des trajets et des trajets à longue distance (de plus de 300 km, foncé) passant par chaque centre de tri (numérotés de 1 à 13), pour les données historiques (hachures horizontales) et les données optimisées (hachures obliques) – Source : Morel-Journal 2020

Figure 81 : Présentation des différents acteurs du projet WelHBeef – Source : auteurs

Figure 82 : Schéma de présentation des animaux recrutés dans l'étude, leur origine (élevages naisseurs) et leur destination (élevages engraisseurs) – Source : Auteurs

Figure 83 : Répartition des animaux entre les lots (vaccinés ou non) chez l'engraisisseur – Source : Auteurs

Figure 84 : Protocole du projet WelHBeef, examens et prélèvements réalisés – Source : Auteurs

Figure 85 : Nature des données recueillies (sanitaire, immunitaire, zootechnique, comportementale) – Source : Auteurs

Figure 86 : Frise des évènements et dates clefs du suivi – Source : auteurs

Figure 87 : Calendrier des dates des examens cliniques – Source : auteurs

Figure 88 : Frise d'observation des évènements comportementaux et dates – Source : auteurs

Figure 89 : Calendrier des dates de prises de poids – Source : Auteurs

Figure 90 : Schéma de l'appareil pulmonaire bovin – Source : Auteurs

Figure 91 : Calendrier des dates de prises de sang pour le dosage des anticorps et des oligo-éléments – Source : Auteurs

Figure 92 : Description du test ELISA pour le sérodiagnostic de BRSV, BPIV3, Mycoplasma bovis, Mannheimia haemolytica et Adénovirus 3 – Source : BioX Diagnosis

Figure 93 : Représentation graphique des scores cliniques à P1 et P15 en fonction des lots (témoins/préparé) - Source : Auteurs

Figure 94 : Représentation graphique des scores cliniques à J1, J4, J15 en fonction des lots (témoins/préparé) - Source : Auteurs

Figure 95 : Représentation graphique des scores lésionnels en fonction des lots (témoin/préparé) - Source : Auteurs

Figure 96 : Représentation graphique des poids au cours du temps en fonction des lots (témoin/préparé) - Source : Auteurs

Figure 97 : Représentation graphique du GMQ moyen en fonction des lots (témoin/préparé) - Source : Auteurs

Figure 98 : Représentation graphique des GMO au cours du temps en fonction des lots (témoin/préparé) - Source : Auteurs

Figure 99 : Représentation graphique du poids carcasse en fonction des lots (témoin/préparé) - Source : Auteurs

Figure 100 : Graphique des animaux en fonction de leur conformation (lot préparé/témoin) - Source : Auteurs

Figure 101 : Représentation graphique de valeurs d'haptoglobine au cours du temps en fonction des lots (témoin/préparé) - Source : Auteurs

Figure 102 : Statut en oligo- éléments à l'entrée en engraissement – Source : Auteurs

Figure 103 : Activité de la GSHpx à l'entrée en engraissement – Source : Auteurs

Figure 104 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps à l'entrée en préparation (P0) – Source : Auteurs

Figure 105 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps à l'entrée en engraissement (J0) – Source : Auteurs

Figure 106 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps en engraissement (J180) - Source : Auteurs

Figure 107 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps entre l'entrée en engraissement et l'abattage - Source : Auteurs

Figure 108 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis de M. Bovis entre l'entrée en engraissement et l'abattage - Source : Auteurs

Figure 109 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis de l'Adénovirus bovin entre l'entrée en engraissement et l'abattage - Source : Auteurs

Figure 110 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis du BRSV en fonction des ateliers d'engraissement - Source : Auteurs

Figure 111 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis de BPI3 en fonction des ateliers d'engraissement - Source : Auteurs

Figure 112 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis de M. Haemo en fonction des ateliers d'engraissement - Source : Auteurs

Figure 113 : Représentation graphique de la production de cytokines (réponse innée) à J0 et J30 en fonction des lots (témoins/préparés) - Source : Auteurs

Figure 114 : Représentation graphique de la production de cytokines (réponse adaptative) à J0 J30 et J60 en fonction des lots (témoins/préparés) - Source : Auteurs

Figure 115 : Représentation graphique de la production de chimiokines à J0, J30 et J60 en fonction des lots (témoins/préparés) après stimulation par le BRSV - Source : Auteurs

Figure 116 : Représentation graphique de la production de chimiokines à J0, J30 et J60 en fonction des lots (témoins/préparés) après stimulation par M. haemolytica - Source : Auteurs

Figure 117 : Représentation graphique de la production de cytokines (réponse innée spécifique) à J0, J30 et J60 en fonction des lots (témoins/préparés) après stimulation par le BRSV - Source : Auteurs

Figure 118 : Représentation graphique de la MFA - Source : Auteurs

Figure 119 : Représentation graphique de la MFA - Source : Auteurs

Figure 120 : Représentation graphique de la répartition en 3 clusters - Source : Auteurs

Figure 121 : Représentation graphique de la répartition en 3 clusters sur la MFA - Source : Auteurs

Figure 122 : Représentation graphique des données zootechniques et sanitaires en fonction des 3 lots (vaccinés/non vaccinés-témoins/non vaccinés-préparés)- Source : Auteurs

Figure 123 : Représentation graphique des données immunitaires en fonction des 3 lots (vaccinés/non vaccinés-témoins/non vaccinés-préparés)- Source : Auteurs

Figure 124 : Représentation graphique de la répartition en 4 clusters sur la MFA - Source : Auteurs

Figure 125 : Représentation graphique des scores cliniques chez les naisseurs en fonction des 4 lots- Source : Auteurs

Figure 126 : Représentation graphique des scores cliniques chez les engraisseurs en fonction des 4 lots- Source : Auteurs

Figure 127 : Représentation graphique des scores lésionnels en fonction des 4 lots- Source : Auteurs

Figure 128 : Représentation graphique du poids à l'entrée en préparation en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

Figure 129 : Représentation graphique du poids à P0, J0, J30, J60 et J180 en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

Figure 130 : Représentation graphique du GMQ moyen en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

Figure 131 : Représentation graphique du GMQ à P0, J0, J30, J60 et J180 en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

Figure 132 : Représentation graphique des scores carcasses à l'abattage en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

Figure 133 : Représentation graphique du poids carcasse en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

Figure 134 : Représentation graphique des concentrations en oligo-éléments à l'entrée en engraissement en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

Figure 135 : Représentation graphique des concentrations en haptoglobine au cours du temps en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

Figure 136 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis du BRSV au cours du temps en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

Figure 137 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis du BPI3 au cours du temps en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

Figure 138 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis de *M. Haemolítica* au cours du temps en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

Figure 139 : Schéma d'une conception à deux portes par rapport à 1 porte dans les études de précision des tests de diagnostic – Source S. Buczinski, B. Pardon

Table des tableaux

Tableau 1 : Répartition régionale du cheptel reproducteur français au 1^{er} janvier (en %) – source : SPIE-BDNI, traitement Institut de l'élevage 2020

Tableau 2 : Evolution du poids en fonction de l'âge des veaux charollais – Source Herd-book Charolais 2020

Tableau 3 : Evolution du GMQ en fonction de l'âge des veaux charollais – Source Herd-book Charolais 2020

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des avantages et les inconvénients de telle ou telle pratique – Source Auteurs

Tableau 5 : Besoins d'un taurillon Rouge-des-Prés à l'engraissement en fonction du poids et du GMQ

Tableau 6 : GMQ (en kg/j) et durée d'engraissement (j) en fonction des différents protocoles vaccinaux (V1, V2, V3) – Source Chassan 2020

Tableau 7 : Résultats zootechnique globaux (données brutes non corrigées) – Source Mounaix 2018

Tableau 8 : Résultats sanitaires globaux (données brutes non corrigées) – Source Mounaix 2018

Tableau 9 : Comparaison des protocole vaccinaux 2 à 2 par engraisseur et par protocole vaccinal. – Source Mounaix 2018

Tableau 10 : Comparaison de la distribution des distances de trajets historiques (selon la répartition fournie par la base de données) et optimisées (selon l'algorithme) – Source : Morel-Journal 2020

Tableau 11 : Vaccination (spécialité utilisée, protocole vaccinal réalisé) des veaux dans les élevages naisseurs – Source : Auteurs

Tableau 12 : Modalités de calcul du score clinique (état général, toux, jetage, fréquence et amplitude respiratoire) – Source : Auteurs

Tableau 13 : Moyenne et écart-type des scores cliniques des jeunes bovins (préparés/témoins) à P1, P15, J1, J4, J15

Tableau 14 : Moyenne et écart-type des scores lésionnels des jeunes bovins préparés à l'abattage – Source : Auteurs

Tableau 15 : Moyennes et écart-types des poids des jeunes bovins préparés et témoins de l'entrée en engraissement à l'abattage – Source : Auteurs

Tableau 16 : Moyennes et écart-types des GMQ des jeunes bovins préparés et témoins de l'entrée en engraissement à l'abattage – Source : Auteurs

Tableau 17 : Répartition des animaux en fonction de leur conformation (lot préparé/témoin) -

Source : Auteurs

Tableau 18 : Moyennes et écart-types de valeurs d'haptoglobine des jeunes bovins préparés et témoins à P0, J0, J30 – Source : Auteurs

Tableau 19 : Valeurs des dosages en oligo- éléments à l'entrée à l'engraissement – Source : Auteurs

Tableau 20 : Pourcentage de positivité en anticorps à l'entrée en préparation (P0) – Source : Auteurs

Tableau 21 : Pourcentage de positivité en anticorps à l'entrée en engraissement (J0) – Source : Auteurs

Tableau 22 : Pourcentage de positivité en anticorps en engraissement (J30) – Source : Auteurs

Tableau 23 : Pourcentage de positivité en anticorps en engraissement (J60) – Source : Auteurs

Tableau 24 : Pourcentage de positivité en anticorps engraissement (J180) – Source : Auteurs

Tableau 25 : Pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis de M. Bovis en fonction du temps – Source : Auteurs

Tableau 26 : Pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis de l'Adénovirus Bovin en fonction du temps – Source : Auteurs

Tableau 27 : Tableau de synthèse des résultats des effets des différentes stimulations sur la sécrétion des cytokines étudiées, ainsi que les différences de sécrétion entre les groupes.

Abréviations

ETP : Equivalent temps plein

GAEC : groupement agricole d'exploitation en commun

SAU : surface agricole utile

PAC : Politique Agricole Commune

TEC : Tonne Equivalent Carcasse

PIB : Production Indigène Brute

IDELE : Institut de l'élevage

VA : vache allaitante

UGB : Unité Gros Bétail ou Bovin

AOP : Appellation Origine Protégée AOP

HPN : Haute Valeur Naturelle

FEAGA : Fonds Européen Agricole de Garantie

PMTVA : Prime au Maintien du Troupeau Allaitant

PSBM : Prime Spéciale pour les Bovins Males

PAB: Prime A l'abattage

DPU : Droits à paiement unique

ICHN : Indemnité Compensatoire de Handicaps Naturels (ICH)

INRAE : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

FCEL : Filière Bovin Croissance

Interbev : Association Nationale Interprofessionnelle du Bétail et des Viandes

IVV : Intervalle Vélage-Vélage

UMO : Unité Main Œuvre

GMQ : gain moyen quotidien

MRB : Maladies Respiratoires Bovines

CRB : Complexe Respiratoire Bovin

PHAE : Prime Herbagère Agroenvironnementale

IBOVAL : Index des Races Bovines à Viande

JB : Jeunes Bovins

GIE : Groupement d'Intérêt Economique

UF : Unité Fourragère

IC : Indice de croissance

PCR : Amplification en Chaîne par Polymérase

EM : Energie Métabolisable

UFV : Unité Fourragère Viande
PDI : Protéines Digestibles dans l'Intestin grêle
MRB : Maladies Respiratoires Bovines
CRB : Complexe Respiratoire Bovin
BoHV-1 : Herpesvirus bovin de type 1
BRV : Virus Respiratoire Syncytial Bovin
BPI3V : Virus Para Influenza de type III
BCoV: Coronavirus Bovin
ARN: Acide Ribo-Nucléique
Ig: ImmunoGlobuline
AA: Acide Aminé
GSHpx: Glutathion Peroxidase
IFN γ : Interféron Gamma
LPS: Lipopolysaccharide externe
LOS : Lipooligosaccharide
DC : Cellules Dendritiques
PAMPs : Pathogen-Associated Molecular Patterns
PRR : Pattern Recognition Receptors
APP : Protéines de la Phase Aigüe
GNN : Granulocyte Neutrophile
LT: Lymphocytes T
LB: Lymphocytes B
IRT: Thermographie Infrarouge
GB : Globules blancs
SAA : Sérum Amyloïde A
ANSES
Se : Sélénium
Vit E: Vitamine E
Cu : Cuivre
Zn : Zinc
TEM : lot témoin
PREP : lot préparé
ENVT : Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
TLR4 : Récepteur Toll Like

ELISA: Enzyme-Linked Immunosorbent Assay

ANOVA : Analyse de la Variance

NS: Non significatif

IL: Interleukine

AFM : Analyse Factorielle Multiple

NVT : Témoins Non vaccinés Non préparés

NVP : Préparés Non vaccinés

VT : Témoins Vaccinés

VP : Préparé Vaccinés

1. Introduction

1.1 Organisation de l'élevage allaitant et de l'engraissement des bovins en France

1.1.1 Contexte

- Evolution de l'élevage en France depuis les années 50

Au cours des 70 dernières années, l'agriculture française a connu de nombreuses évolutions tant sur le plan technique qu'organisationnel. En effet, cette période a été marquée par une forte diminution du nombre des exploitations et des actifs agricoles, tout en connaissant une croissance de la productivité (Devienne S. et al., 2016). Dans cette première partie, nous allons voir comment cette évolution entre les années 1950 et 2010 a conduit à la situation actuelle. On notera que la politique agricole commune (PAC) mise en place en 1962 a façonné l'agriculture française et européenne telle qu'elles se présentent aujourd'hui.

L'évolution des pratiques agricoles est marquée par une véritable révolution agricole marquée par des innovations techniques et l'accroissement de la productivité (division du travail, économies d'échelle, standardisation des productions, sélection génétique...) augmentant ainsi le nombre d'hectares et d'animaux qu'un actif en équivalent temps plein (ETP) peut prendre en charge (Devienne S. et al., 2016).

Au début des années 1950, l'élevage est fondé sur une agriculture-élevage d'autoconsommation familiale. L'organisation des exploitations se répartissait entre élevage multi-espèces à plusieurs types de production (viande, œuf, lait), et production de céréales, plantes sarclées et légumineuses. Les surplus parfois transformés étaient ensuite vendus afin de fournir une source de revenus (Devienne S. et al., 2016). A cette époque, la France comptait 2,3 millions d'exploitations agricoles (Desriers, 2007). Il s'agissait de petites exploitations : 80% de celles-ci occupaient moins de 20 ha de surface agricole utile (SAU).

A la même époque, se produit aussi la révolution fourragère, basée sur la création et l'exploitation de prairies temporaires avec l'émergence de la fertilisation et de l'ensilage, alors que les prairies permanentes étaient avant cela destinées à l'alimentation des herbivores. La mise en place de nouvelles formes de sociétés (comme le groupement agricole d'exploitation en commun, GAEC), le soutien des prix par l'Union européenne en versant des aides proportionnelles aux volumes incitant les producteurs à augmenter la productivité (Devienne S. et al., 2016). La première Politique Agricole Commune (PAC) de 1966 visait surtout à rationaliser les systèmes de production.

Dès les années 70, on assiste à la professionnalisation de l'agriculture, les cultures fourragères changent avec le développement de la culture de maïs qui présente un meilleur rendement, mais qui prend une place de plus en plus grande, voire centrale dans l'alimentation des bovins. D'abord utilisé en ration hivernale, le maïs sous forme d'ensilage a ensuite été progressivement distribué en complément du pâturage de plus en plus tôt au printemps, jusqu'à constituer une part prépondérante de la ration des bovins, voire devenir l'aliment exclusif en zéro pâturage (Devienne S. et al., 2016). Concernant la viande bovine, la production commence à 1624 1000eq Tonne Equivalent Carcasse (TEC) pour se terminer à 1957 1000eqTEC (soit une augmentation de 33.4% sur 10 ans) avec une moyenne de 1757 1000eqTEC/an (Institut national de la statistique et des études économique, 2019).

La conséquence de ces gains de productivité est dans un premier temps, une baisse significative des prix du lait et de la viande bovine qui diminuent de moitié, et celui des céréales de 70% depuis 1960. Or, l'organisation qui prévalait depuis plusieurs décennies, à savoir : une augmentation des investissements mais aussi un nombre croissant d'intermédiaires (achat d'aliments, culture du maïs, importance des fourrages stockés dans la ration au détriment du pâturage), l'inadéquation entre intrants et prix de revient poussent les agriculteurs à accroître encore plus les volumes produits pour maintenir leurs revenus, avec l'obligation d'accroître les performances (Devienne S. et al., 2016). Avec une augmentation des effectifs de bovins entre 1950 et 1980 jusqu'à 8 millions de têtes (Desriers, 2007), l'Europe se trouve alors confrontée à une surproduction et une saturation des marchés.

Enfin, concernant la période entre 1980 et 2010, la tendance est à la stabilisation des marchés et à une remise en cause du système productiviste. Nous observons une diminution du nombre d'ETP et l'augmentation de la SAU (77 ha en 2007 contre 42 en 1988), associées à une diminution des surfaces toujours en herbe. Concernant les effectifs de bovins, nous observons une diminution de 20 millions de têtes entre 1989 et 2007 (Degron, 2010) en Production Indigène Brute (PIB) 1998 1000eqTEC de moyenne dans les années 1980, avec une faible augmentation de 3,2% sur 10 ans, soit une augmentation de 13,7% par rapport à la décennie précédente (Institut national de la statistique et des études économique, 2019). Cela s'explique notamment par la spécialisation des races élevées et l'amélioration génétique, permettant d'accroître la productivité numérique et par animal.

Cependant, depuis les années 90, nous observons un ralentissement du mouvement (Degron, 2010), avec une moyenne de 1929 1000eqTEC soit une baisse de 13,3% sur 10 ans,

et une baisse de 4% par rapport à la décennie précédente, (idem pour les années 2000) : une moyenne de 1779,8 1000eqTEC (-7,7% par rapport aux années 90) avec une baisse de 14,5% sur 10 ans (Institut national de la statistique et des études économique, 2019). Ce ralentissement est notamment insufflé par la PAC2 qui a pour objectif de stabiliser la production et favoriser l'élevage allaitant.

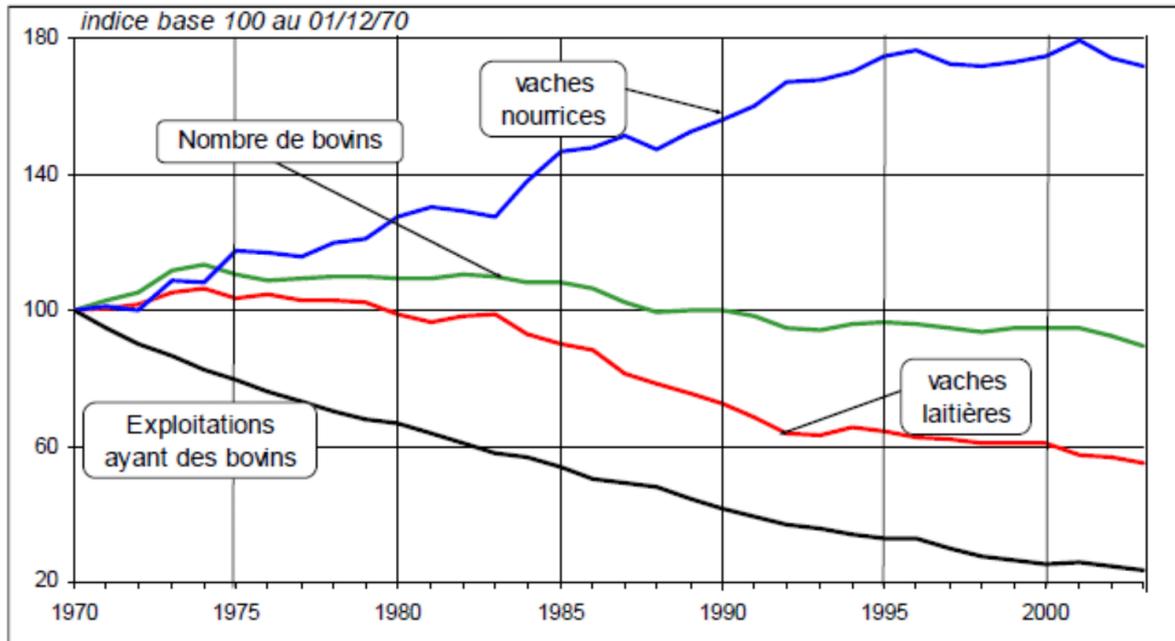


Figure 1 : Evolution relative des bovins et exploitations en France de 1970 à 2000 – Source : graph agri 2004

Concernant les surfaces agricoles, une diminution est observée depuis 1950 : l'agriculture occupait 72% du territoire métropolitain en 1950 contre 59% en 2003, soit une perte de 5 millions d'hectares fourragères en 50 ans. Et le phénomène s'accroît en observant une progression de +3% de perte entre 2000 et 2006, aux dépens de terres agricoles et d'espaces naturels notamment par deux phénomènes : le boisement d'une part (les bois et les forêts sont passés de 20 à 27% du territoire de 1950 à 1990, mais cette proportion est relativement stable depuis) et l'artificialisation avec une surface totale du territoire non agricole atteignant des proportions records avec 14% de la surface, en particulier occupée par les zones urbaines et les réseaux de voirie (Desriers, 2007). Cette réduction de la SAU totale s'opère conjointement avec un remodelage de ces surfaces associé à une politique de remembrement des parcelles, avec notamment la réduction des surfaces toujours en herbe au profit des cultures (maïs, colza...etc.). Ce processus tend à ralentir depuis le début des années 2000 (Degron, 2010) en lien avec une augmentation de la taille des exploitations : 36 hectares en moyenne en 2000

avec 12% des exploitations dépassant 100 ha et qui occupent 46% de la SAU contre 56 en 2010 (Institut national de la statistique et des études économique, 2019) (Desriers, 2007).

Le déséquilibre entre l'offre et la demande avec une augmentation importante de la première, non compensée par une augmentation moins forte de la seconde, crée donc une diminution de la valeur de la production agricole : 16% (en termes de réels) en 44 ans. Ceci est lié à la production excédentaire de matières agricoles, conséquence directe de l'élan d'autosuffisance qui a été atteinte grâce aux actions de la PAC en Europe. (Desriers, 2007)

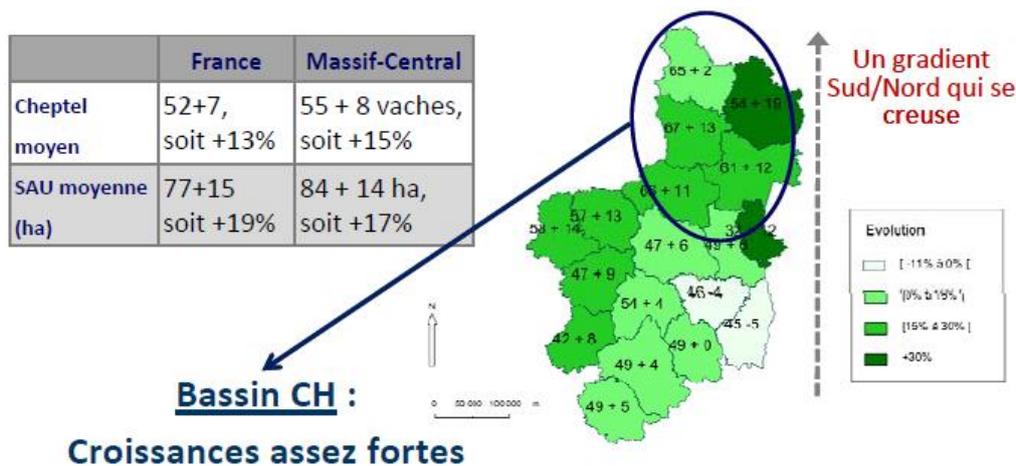


Figure 2 : Evolution du nombre de vaches allaitantes par élevage spécialisé de bovins entre 2000 et 2010 – Source : Agreste -recensement agricole 2010 - traitement institut de l'élevage

Pour dresser un bilan de la filière bovine dans la France de ces dix dernières années, nous observons une production de 1 516 100TEC en sortie d'élevage, dont 1 320 800 TEC de bovins finis, 195 300 TEC de veaux de boucherie, auquel il faut ajouter le bilan import/export qui représente 1 103 700 têtes. Parmi les animaux en sortie d'élevage, 1 469 300 TEC sont abattus en abattage contrôlé (c'est-à-dire réalisé par un professionnel, généralement pratiqué dans un abattoir ou sur des aires d'abattage et soumis à une inspection sanitaire) dont 1 272 900 TEC de gros bovin et 196 400 TEC de veaux. En prenant en compte le commerce extérieur, nous pouvons noter un solde positif des importations de 134 300 TEC. Concernant la distribution, 1 268 00 TEC de viande sont distribuées comme viande brute et 2 01 300 TEC sont transformés, avec 31% pour la restauration, 54% pour les grandes et moyennes surfaces, et 15% dans les circuits spécialisés. (France Agrimer, 2010).

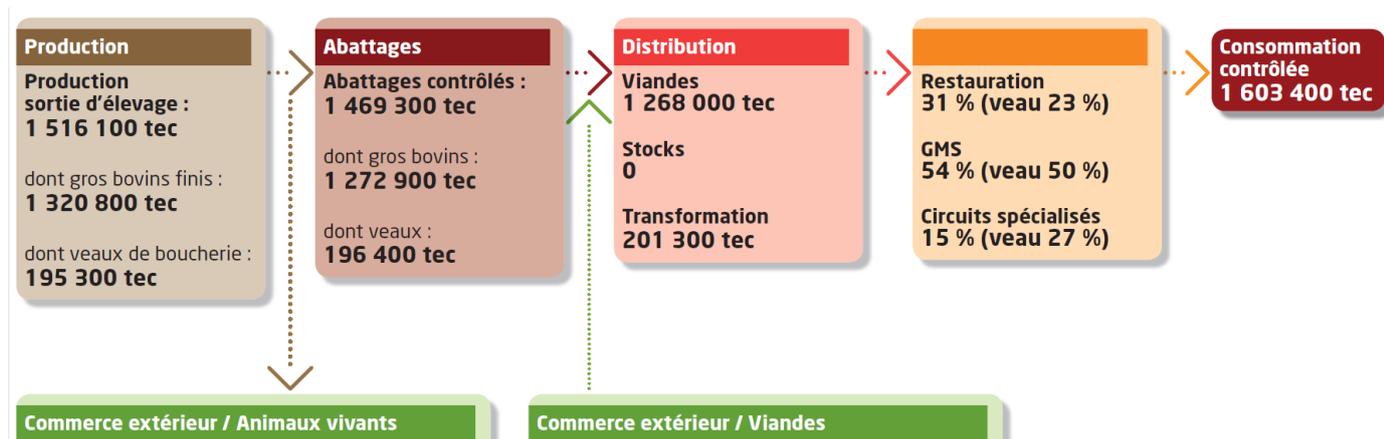


Figure 3 : Répartition de la production de viande bovine en France en 2009 – Source : France Agreste 2010

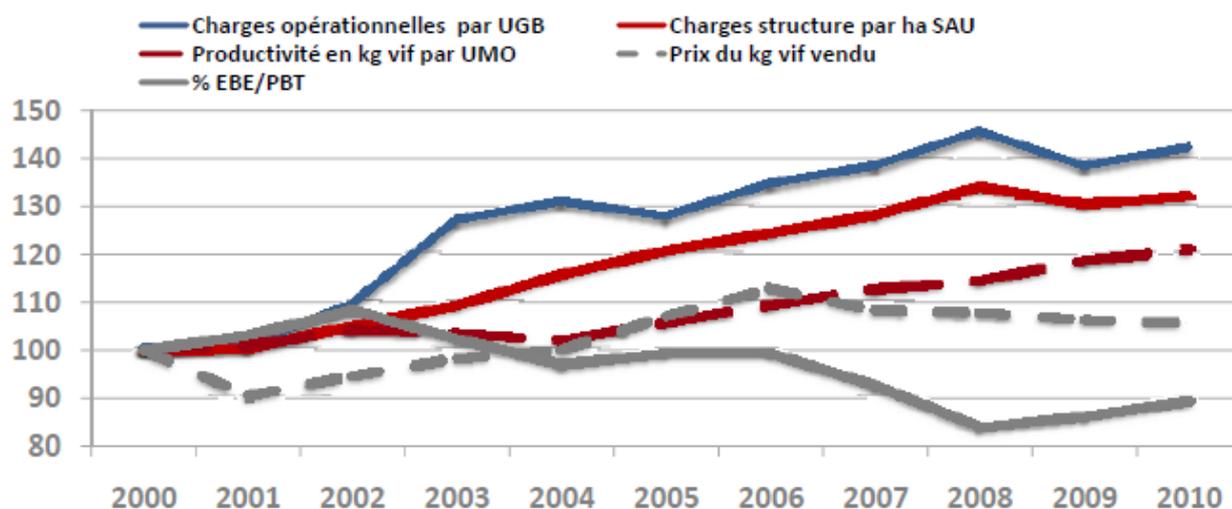


Figure 4 : Evolution en indice de quelques critères constitutifs de la rentabilité – Source : réseaux élevage (141 élevages allaitants spécialisés en champ constants)

Au cours des 10 dernières années (2010-2020), la diminution du nombre d'exploitations agricoles continue, mais à un rythme ralenti et relativement constant de 2% par an (contre 3% lors de la décennie précédente). En 2016, on compte 440 000 exploitations agricoles, dont 42% sont de grandes exploitations qui assurent 87% de la production agricole. Conjointement à la diminution du nombre d'exploitations, leur taille augmente : en 2016, une exploitation agricole comporte 63 hectares en moyenne contre 56 hectares en 2010.

La situation diffère selon la situation économique : la surface diminue (-4%) pour les petites exploitations alors qu'elle augmente (+2%) pour les plus grandes. Concernant la SAU, 7% est exploitée par 1/3 des exploitations (les petites exploitations en particulier avec de l'élevage ovin

et la production fruitière), contre 73% de la SAU qui est exploitée par de grandes exploitations (élevage bovin laitier ou porcin principalement). La diminution des actifs se poursuit à -1% en moyenne annuelle (2010-2018) (Tableaux de l'économie française: édition 2020). La production animale est relativement stable en volume, mais en diminution pour le bétail : 19 millions contre 19,6 millions en 2010 (diminution de -3% dont -4,5% pour les veaux), et elle est compensée par la production porcine et aviaire après 2017 (Institut national de la statistique et des études économique, 2019).

Ce qui est marquant quand on parle d'agriculture, et en particulier d'élevage en France, c'est la hausse des coûts fournisseurs, l'augmentation des frais vétérinaires par l'augmentation de taille des troupeaux, le vieillissement du matériel non renouvelé qui augmentent les coûts d'entretien. Le plus troublant reste l'hétérogénéité des couts de production compris entre 191 et 408€ pour 100kg de poids vif produits, traduisant une différence très marquée de maîtrise zootechnique, des coûts et de mise en marché.

- Présentation de l'élevage allaitant français

Les différents bassins allaitants

Il existe une grande diversité des systèmes d'élevage en France. Cette diversité dépend de pratiques historiques et de critères géographiques. On retrouve dans toutes les régions de France des élevages de toutes tailles et de divers degrés de spécialisation. Présent dans les régions intermédiaires et les zones de montagne, l'élevage bovin s'appuie sur la disponibilité de vastes espaces bénéficiant d'une pluviométrie généreuse.

La France a toujours connu une production bovine. Ceci s'explique en particulier par des paysages propices au pâturage. Notamment par l'existence de deux bassins allaitants composés de prairies dues à la topographie vallonnée des paysages. Avec l'Irlande, autre grande terre d'élevage en Europe, la France est l'un des rares pays européens à disposer d'atouts hygro-géographiques qui permettent le développement de l'élevage extensif (Bailly, 2011).

De plus, les ruminants, en l'occurrence les bovins, permettent la transformation de la cellulose, leur élevage est donc intéressant dans des zones herbagées qui ne peuvent soutenir d'autres productions. Le pâturage sur prairie constitue une source peu couteuse d'alimentation des bovins, qui correspond en outre aux attentes des consommateurs, tant par une image de bien

être animal que d'un point de vue écologique. Leur présence y est indispensable d'un point de vue environnemental, paysager et patrimonial.

De plus, le potentiel herbager français est une source de compétitivité, de bénéfices environnementaux, et d'aménagement du territoire, qui justifient l'apport d'une aide publique tant de la PAC que de l'État français, pour rémunérer les bénéfices environnementaux et territoriaux de l'élevage à l'herbe (Bailly, 2011), (Marty et al., 2015).

On appelle système bovin allaitant, un cheptel (un ou plusieurs troupeaux) de vaches de race allaitante, c'est-à-dire qui élève leurs veaux. L'élevage est dit « naisseur » et peut avoir une ou plusieurs productions associée (élevage d'autres espèces, d'autres races par exemple laitières, engraissement, production de céréales... etc.).

Le cheptel des vaches, qui compte environ 4 millions (entre 3,9 et 4,1 depuis 1995 à 2020) de vaches allaitantes, dont 3 millions pour les 3 principales races (Charolaise, Blonde d'Aquitaine et Limousine) ; celles-ci produisent autour de 3,3 millions de veaux allaitants (ou croisés) (*Chiffres clés Bovins* [2019]).

Naissances de veaux en France campagne 2008/2009

Total



Veaux allaitants **3 258** milliers de têtes
 Veaux laitiers **2 881** milliers de têtes
 Veaux croisés **1 033** milliers de têtes

en milliers de têtes

	Nombre de veaux nés
Prim' Holstein	1 972
Charolais	1 525
Croisé	1 033
Limousin	944
Blond d'Aquitaine	476
Montbéliard	449
Normand	350
Salers	92
Aubrac	88
Rouge des Prés	37
Blanc Bleu	34
Parthenaise	33
Abondance	32
Autres	107

Source : BDNF

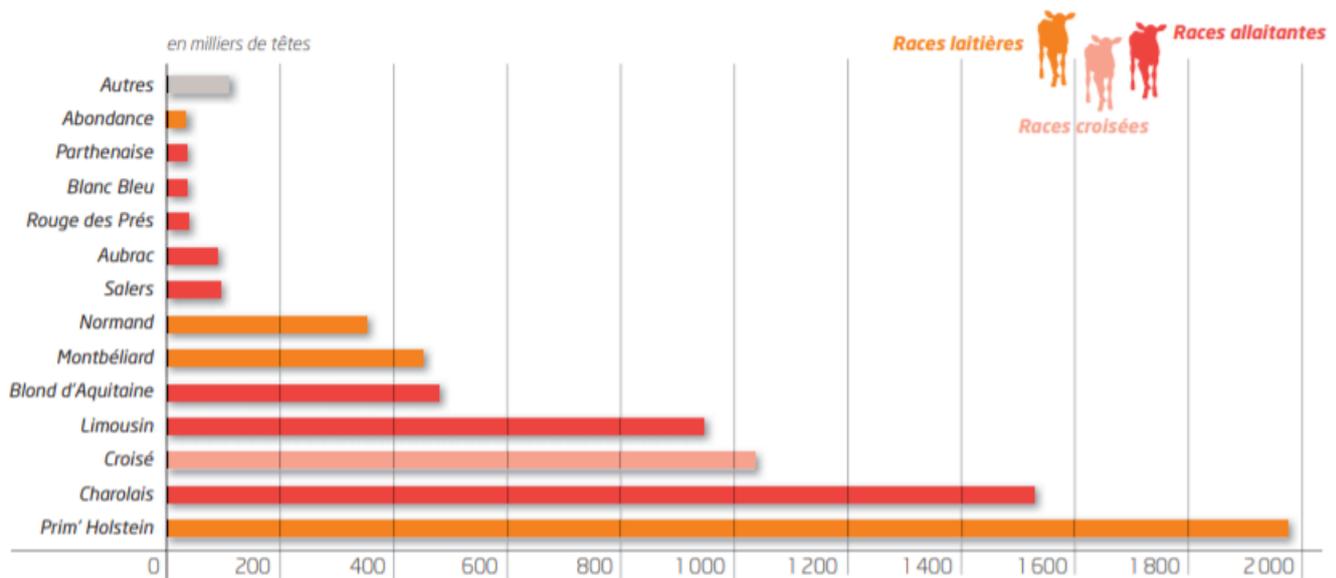


Figure 5 : Nombre de naissance de veaux en France en 2008/2009 – Source : BNDI

Enfin, les productions bovines considérées dans leur globalité (viande et lait) permettent un élevage à double finalité par notamment la production de viande par les races laitières qui représentent 34% des gros bovins finis (dont 23% permis par les vaches de réforme) selon l'Idèle. C'est sans compter le caractère peu spécialisé des ateliers laitiers. En effet, 40% possèdent au moins un atelier supplémentaire en parallèle (souvent pour la production de viande) (Marty et al., 2015)

La répartition des vaches allaitantes en France en fonction de la région est présentée dans le tableau 1 La région Nouvelle Aquitaine occupe la première position avec 22% des effectifs au 1^{er} janvier 2019 (où les races Limousine et Blonde sont majoritaires), suivie par les régions Auvergne-Rhône Alpes avec 17% des effectifs (avec la race Charolaise prépondérante).

Tableau 1 : Répartition régionale du cheptel reproducteur français au 1^{er} janvier (en %) – Source : SPIE-BNDI, traitement Institut de l'élevage 2020

Vaches allaitantes		
Régions	2009	2020
Nouvelles aquitaine	23%	22%
Auvergne-Rhône-Alpes	16%	17%

Occitanie	13%	13%
Bourgogne-Franche-Comté	13%	13%
Pays de la Loire	11%	10%
Grand-Est	7%	7%
Normandie	5%	6%
Centre-Val de Loire	5%	5%

L'élevage bovin allaitant est présent dans les zones intermédiaires et les zones de montagne. Cinq zones principales d'élevage spécialisées pour l'élevage bovin allaitant ont été identifiées en France métropolitaine. Trois espaces assurent la majeure partie de la production : la périphérie du bassin laitier breton (Pays de la Loire, Basse Normandie), le bassin Limousin (Limousin, Charente, Dordogne) et le bassin Charolais (Bourgogne, Centre).

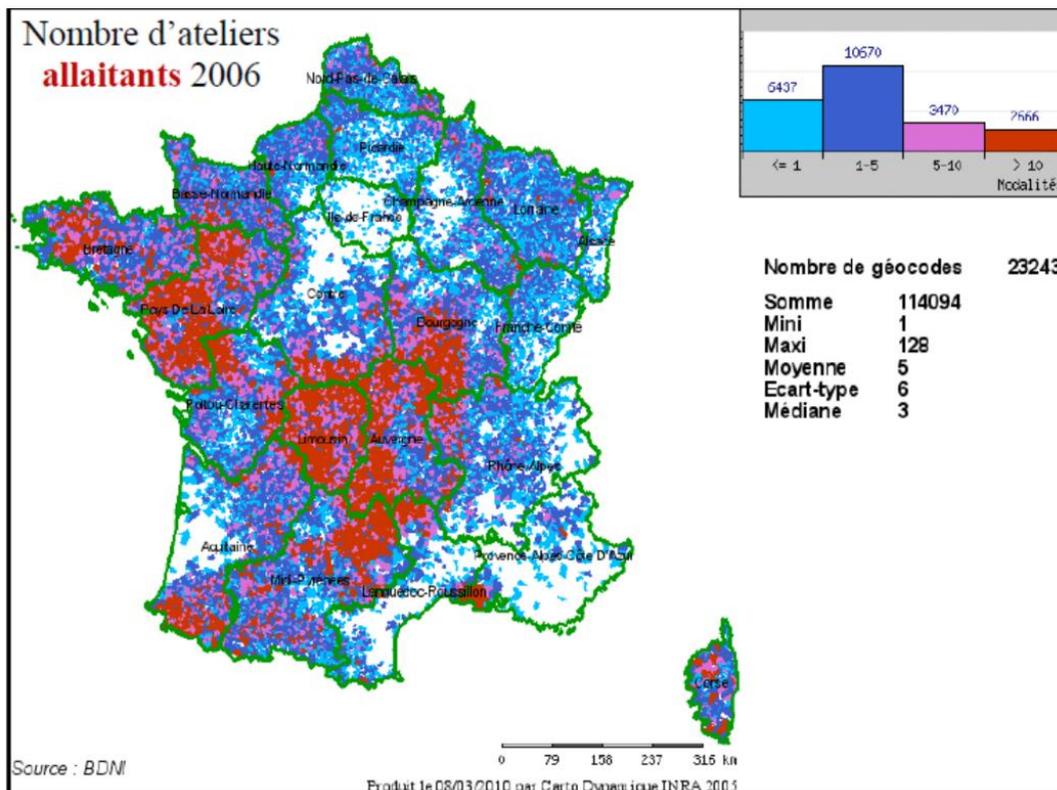


Figure 6 : Répartition géographique des ateliers allaitants en France en 2006 – Source : BDNI

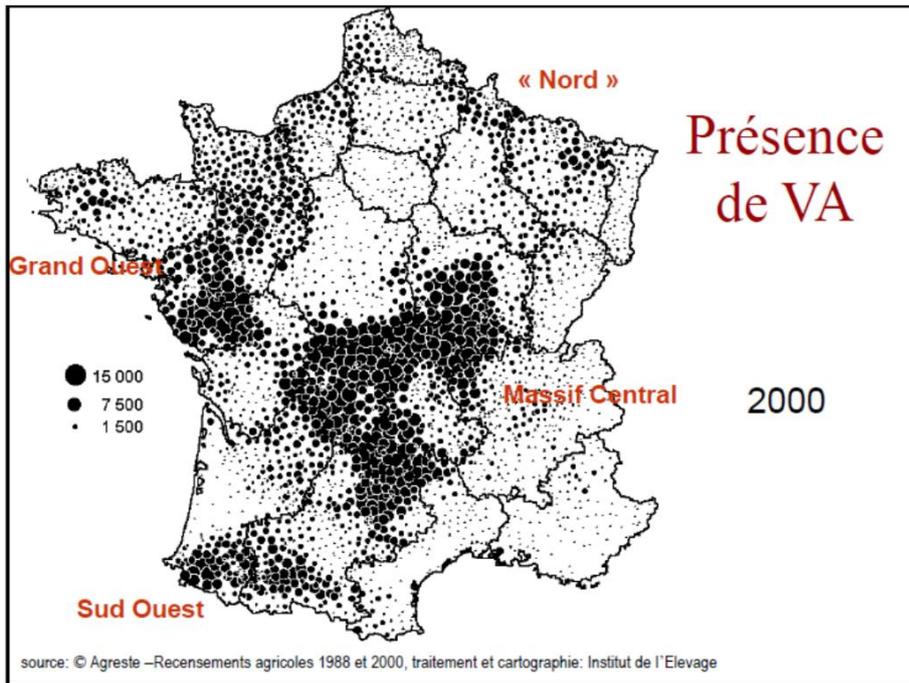


Figure 7 : Répartition géographique des vaches allaitantes en France en 2000 – Source : agreste – recensement agricole 1988 et 200, traitement et cartographie : Institut de l'Élevage

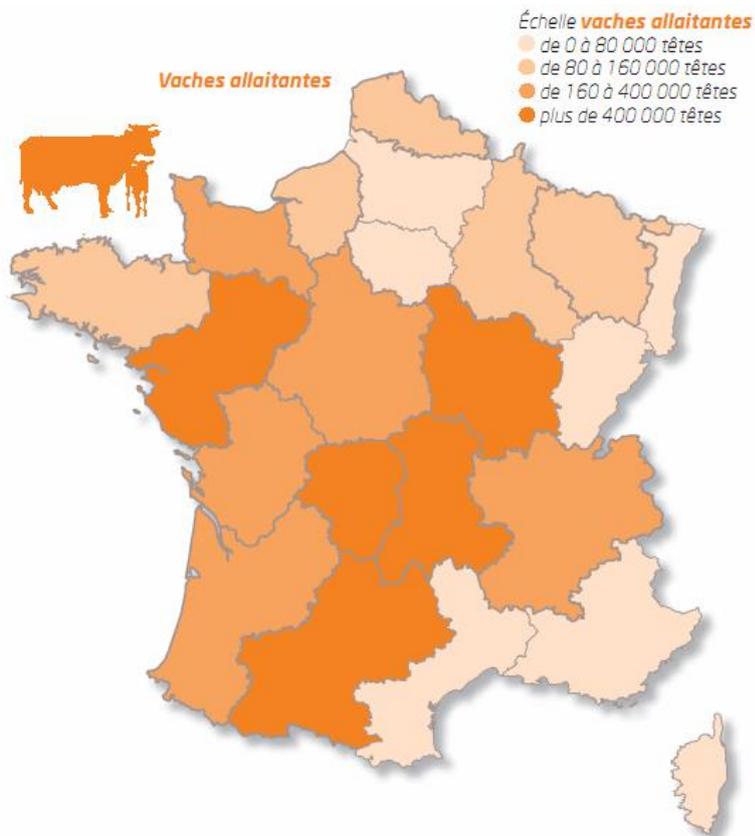


Figure 8 : Répartition géographique des vaches allaitantes en France en 2009 – Source : SSP (statistiques agricoles annuelles)

Les deux derniers possèdent des caractéristiques communes de collines allaitantes : ces grandes zones s'inscrivent dans la zone herbagère du nord du Massif Central. Cette zone est définie par le grand arc herbager passant par la Haute-Vienne, la Creuse, l'Allier (sauf la Limagne), la Nièvre, la Saône et Loire, et la Côte d'Or [Morvan]. Les critères qui permettent de caractériser cette zone sont l'extensivité des pratiques sur les surfaces en herbe productives et la présence de Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique telles que définies en 1982. Le système allaitant est dominant avec une production d'animaux maigres soit destinés à l'exportation vers des zones d'engraissement en dehors du bassin allaitant (l'Italie et l'Espagne étant les premières destinations) ou des animaux engraisés sur place. Les contraintes géographiques et hygrométriques, de nature du sol et d'organisation des parcelles sont quelque peu variables au niveau local, ce qui influe sur l'extensivité des zones caractérisées par une Unité Gros Bétail ou Bovin (UGB) par hectare plus faible dans les régions soumises à un relief plus marqué (Morvan, Plateau de Millevaches), mais qui peut atteindre 1, à 1,4 UGB/ha.

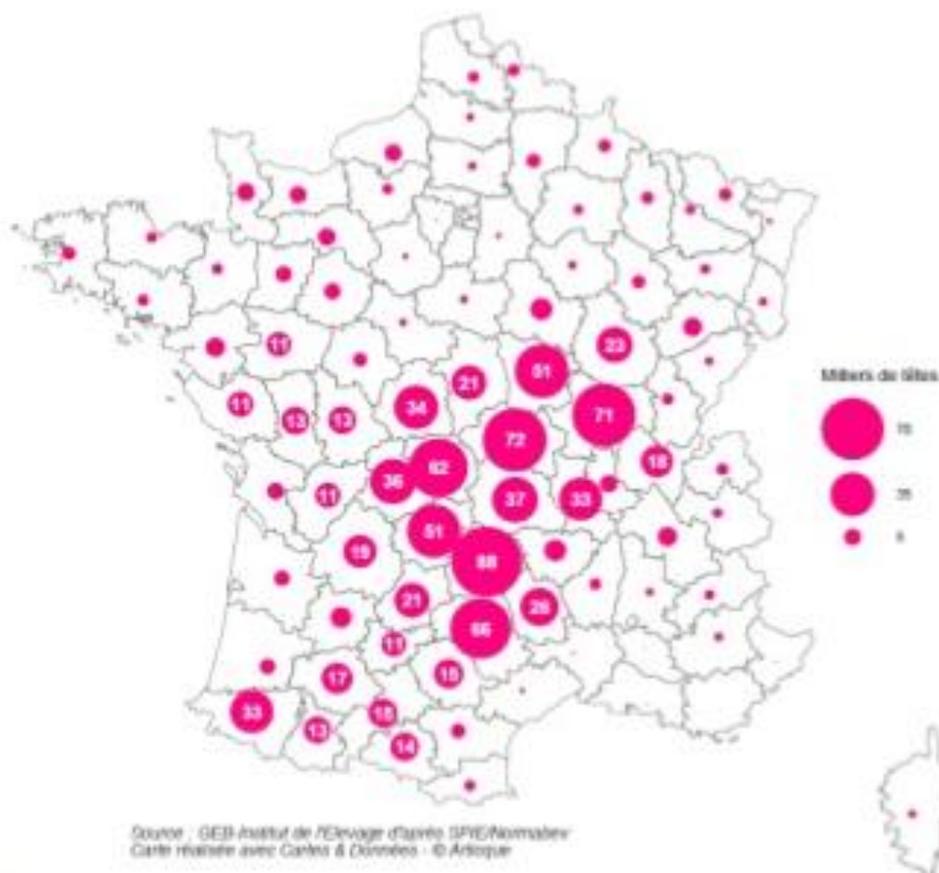


Figure 9 : Répartition et quantité de broutards de 4 à 14 mois exportés en vif entre juillet 2016 et juin 2017 selon le département d'élevage – Source : GEB Institut de l'élevage

Nous pouvons remarquer la variante du Massif Central défini comme montagne humide dans la typologie produite par l'Institut de l'Elevage caractérisée par l'altitude (>600 m) et l'influence du climat océanique qui permet une pousse de l'herbe continue sur la période printanière ; les hivers sont moins rigoureux que dans les zones précédentes. L'organisation repose essentiellement sur des prairies productives, gérées selon un gradient d'intensification variable, la présence de haies et la présence d'arbres dans les pâtures forment des infrastructures agroécologiques d'intérêt. Cette zone est caractérisée par une production mixte lait/viande bovine tout comme les races de vaches présentes sur les prairies. Le climat de la zone permet une production laitière, souvent tournée vers la valorisation fromagère (Appellation Origine Protégée AOP). Les systèmes fourragers laitiers reposent sur la combinaison de prairies fauchées et de pâturages (pour les génisses) et, dans une moindre mesure, d'estives d'altitude. Un polyélevage peut être combiné à la dominante laitière, qui contribue à la diversité des modes d'exploitation du milieu.

D'autres espaces secondaires sont également importants pour l'élevage bovin allaitant : les plaines de l'Est (essentiellement en Lorraine), les contreforts du massif pyrénéen la région alpine auquel s'ajoute le Nord, et l'Ouest de la France (Bailly, 2011).

Pour les plaines de l'Est caractérisées par des montagnes humides qui se situent dans les zones du Jura et des Vosges, les principales caractéristiques sont l'altitude (à relief varié) et l'humidité, ces deux caractéristiques permettant une pousse de l'herbe des prairies productrices fauchées et pâturages avec plus ou moins d'estives d'altitude. Les zones soumises à des contraintes de relief sont plus extensives, alors que les zones planes (plateaux) seront relativement intensifiées. Le type d'élevage est polyvalent à dominante laitière notamment tourné vers la valorisation fromagère (AOP).

Pour les zones dites de haute montagne, on distingue les montagnes humides (les massifs pyrénéen et alpin) et celles à influence sèche (Alpes de Haute-Provence et de Hautes-Alpes, aux zones d'altitude des Pyrénées Orientales et centrales, ainsi que de la Corse). Dans les deux entités, on identifie des critères d'altitude/relief caractérisées par une alternance d'alpage, avec pâturage d'été en altitude et un hiver neigeux et long en stabulation qui nécessite du stockage de fourrage.

Pour les premières, on note un climat humide qui permet une meilleure valorisation des prairies en plaine et la production de fourrage pour l'hiver. Le type d'élevage est polyvalent à

dominante laitière notamment tourné vers la valorisation fromagère (AOP). Dans la seconde, les étés peuvent être relativement secs et entraîner un rendement de production de fourrages plus faible qui nécessitent la combinaison de prairies de vallée fauchées, de parcours et d'estives d'altitude. Elle se caractérise par des parcours extensifs secs de type « polyélevage » combinant ovins viande et vaches nourrices, et plus localement caprins.

Pour le Nord de la France, avec ses vallées alluviales inondables caractérisées par des ensembles rairieux linéaires associés aux grands fleuves et rivières de la France du Nord, l'élevage bovin viande est le principal mode d'exploitation, relativement intensif mais marginal dans la formation du revenu ; il s'agit de valoriser les zones humides, les bâtiments existants et d'intervenir *a minima* sur le troupeau du fait de la présence de grandes cultures.

Pour le Nord-Ouest aussi appelé Pays d'Auge, les Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique sont localisée dans les zones de marais. La valorisation du territoire repose sur une alternance milieux secs/humides avec des éléments clés tels que les vergers, les prairies humides, les coteaux secs et le bocage. Le type d'agriculture est très diversifié : la base est laitière composée d'une production herbagère extensive associée à une production de maïs plus intensive, ce qui fait le lien avec les système bovins viande naisseurs ou engraisseurs (avec un gradient d'intensification associé). En complément, l'agriculture est façonnée par la filière équine, les productions cidricoles/calvados/poires. Cette diversité contribue à une diversité du paysage et des modes de gestion.

Enfin, à l'ouest, le long du littoral atlantique, se définit un ensemble composé de grandes zones humides appelé « marais de l'Ouest » (Marais de l'Ouest de Poitou Charentes, Marais Poitevin, Marais breton, Marais du Cotentin, Audomarois). Le caractère de haute valeur naturelle repose sur l'extensivité des prairies de fauche et des pâturages : l'hygrométrie explique la mise en valeur des prairies, les systèmes de production sont essentiellement tournés vers l'élevage de vaches nourrices, avec plus ou moins de polyélevage et parfois des cultures quand le drainage est possible (Poux X., Pointereau P., 2014)

Cas Facteurs	Haute montagne	Moyenne montagne	Pays d'Auge	Marais Cotentin	Haut-Pays du Cotentin	Plateaux lorrains
Synthèse contraintes naturelles	+++	++	++	+++	∅ (localement)	∅
Facteurs socio- éco	Isolement Tourisme		Foncier et tourisme	Foncier (accès)	∅	∅
Contraintes de main d'œuvre agricole et rurale	Entretien des éléments fixes du paysage		Entretien bocage	Gestion des niveaux d'eau	Entretien bocage	Taille des troupeaux
Stratégies d'adaptation = facteurs d'extensivité	Autonomie signes qualité Vente directe	Diversification Autonomie fourragère Bio (?)	Diversification Autonomie charges AOP	Spécialisation Minimisation charges MAE	Peu de facteurs d'extensivité du fait de l'agrandissement et intensification laitière	Peu de facteurs d'extensivité du fait de l'agrandissement, intensification laitière et retournement des prairies

Figure 10 : Facteurs influençant l'agriculture dans les différentes régions de France – Source : Pointereau 2014

Les aides au maintien des bassins allaitants

Les bassins allaitants, considérés comme à « Haute Valeur Naturelle » (HVN), étant donnée la prédominance du pâturage des vaches de races allaitantes sur les prairies (permanentes ou temporaires), sont donc associés à une plus grande biodiversité (végétaux, insectes, cycle de l'eau...etc.) et font donc l'objet de soutiens économiques dans le but de privilégier le maintien de cette biodiversité.

De plus, ces espaces s'inscrivent dans une tradition agricole de respect et de bonne connaissance des cycles de vie des différentes espèces et de leur interactions complexes. L'agriculture à Haute Valeur Naturelle nécessite de respecter trois critères : i) un faible niveau d'intrants (les parcelles, l'eau de pluie...), ii) une proportion dominante de végétation semi-naturelle, et enfin iii) une grande diversité d'occupation du sol (rotation des pâtures, espèces à différents stades physiologiques). En France, elle correspond essentiellement à des systèmes herbagers extensifs, dont une grande partie de systèmes pastoraux. Leur surface couvre en 2010 environ 5 millions d'hectares, soit 18 % de la SAU (Poux X., Pointereau P., 2014).

Cependant malgré leur importance, ces espaces et leur bonne image associé à l'élevage extensif, sont parfois mis en danger d'un point de vue environnemental (sécheresse, changement climatique, gestion des effluents), économique, politique et de l'opinion publique. Nous allons aborder la place des aides publiques, françaises et européennes et du rôle des mesures de politique agricole nationale et européenne.

Au cours des 20 dernières années, la PAC a été remodelée en prenant en compte de nouveaux facteurs. Elle est organisée en deux piliers : le premier pilier, qui représente environ 80% des dépenses de la PAC est entièrement financé par un fonds européen, le Fonds Européen Agricole de Garantie (FEAGA). Le but est d'apporter des aides de soutien aux marchés et aux revenus des exploitants agricoles. Depuis 2014, la réforme de la PAC a été à visée « plus verte » avec pour objectif de favoriser l'extensification, en revalorisant la Prime au Maintien du Troupeau Allaitant (PMTVA), la Prime Spéciale pour les Bovins Males (PSBM) et la Prime A l'Abattage (PAB). En particulier, en 2006, la revalorisation de l'indemnité compensatoire des handicaps naturels, qui avantage les régions d'élevage allaitant extensif précédemment décrites. Ainsi, la revalorisation en 2010 des droits à paiement unique (DPU) herbe initialement mis en place en 2005 (aides découplées droit à paiement unique). Il s'agit d'une dotation de soutien à l'exploitation de l'herbe qui s'accompagne d'une nouvelle norme de bonnes conditions agricoles environnementales de gestion de ces surfaces en herbe, afin d'améliorer la pérennité des systèmes, une valence écologique et assurer un soutien au maintien de ces surfaces.

Une autre aide très importante dans le maintien des territoires et de l'élevage en France, qui vient soutenir les agriculteurs dans les territoires où les contraintes naturelles ou spécifiques rendent les conditions de production plus compliquées, est l'Indemnité Compensatoire de Handicaps Naturels (ICHN). Créée en 1976, elle apporte une compensation pour combler la différence de revenu entre les exploitations en zones défavorisées (montagne et haute montagne, et hors montagne) comparées à celles du reste du territoire français. Elle a pour objectif de maintenir un maillage d'actifs agricole et éviter l'abandon de ces zones agricoles. En 2019, en France, 110 000 agriculteurs ont bénéficié de cette indemnité pour un montant de 1,1 milliard d'euros. Enfin, concernant les vaches allaitantes, il existe la PMTVA plafonnée à 710 millions d'euros en 2006 (Ministère de l'agriculture), couplée à la PSBM. Ces différentes aides permettent un maintien de l'activité de l'élevage et de la gestion des territoires pour lutter contre l'intensification des pratiques ou à l'inverse leur abandon. (Poux X., Pointereau P., 2014).

Pour le seul bassin charolais, les aides de la PAC en 2011 correspondent à un total de 221€/ha pour la DPU (figure 11), 841 millions d’euros pour le premier pilier (figure 12) : 670 millions par l’ICHN, 134 par la PMTVA et 193,6 pour le reste des aides et concerne 34 097 bénéficiaires. (Sanne & Brouard, 2013)

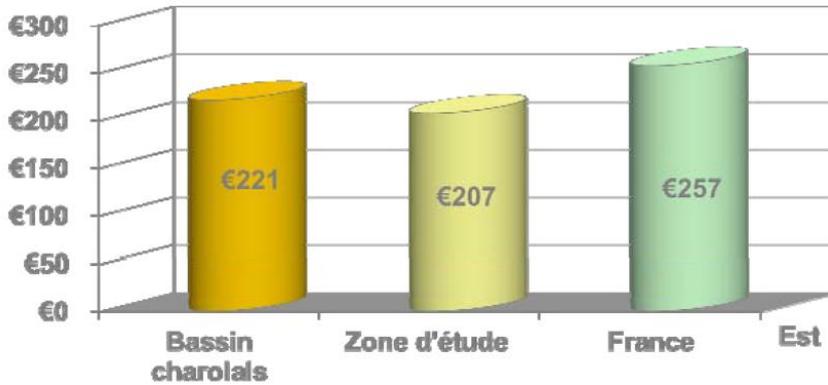


Figure 11 : Répartition des aides de la PAC entre le bassin charolais et le reste de la France en 2011 – Source : ASP

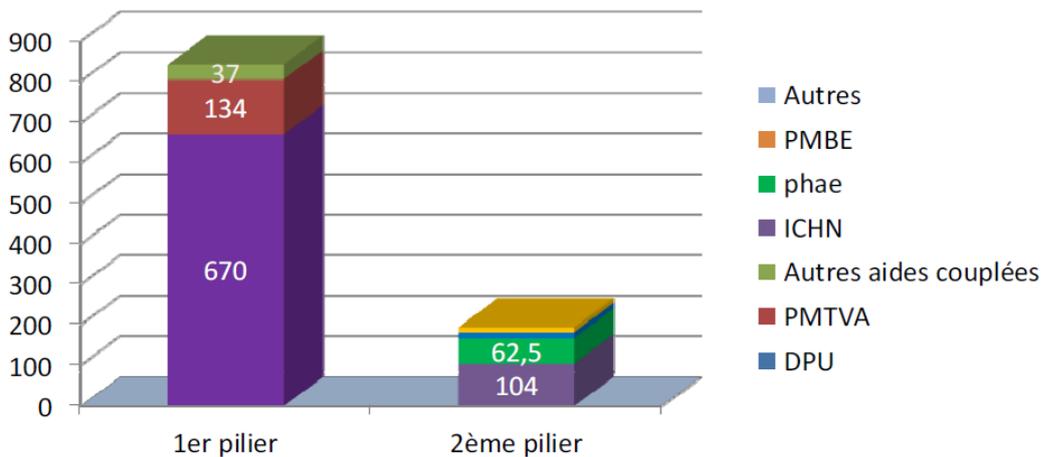


Figure 12 : Répartition des aides de la PAC entre le premier et deuxième pilier en 2011 sur le bassin charolais – Source : ASP

Concernant les années 2014-2020, les perceptives de la PAC sont majoritairement une réduction des aides directes (-3% à -10%) au profit des aides découplées, un paiement de base uniformisé, un paiement à l’écologie, une aide à la vache allaitante en excluant l’engraissement, un paiement complémentaire pour les zones à contraintes naturelles, par notamment une revalorisation de l’ICHN, des aides à l’installation et à la modernisation. Mais reste en suspens la question de la gestion des marchés.

La figure 13 suivante récapitule les aides de la PAC et leurs effets sur plusieurs paramètres : l'abandon et l'intensification de l'exploitation des terres en végétation semi-naturelle, la conversion des terres en végétations semi-naturelles en terres arables, et sur d'autres modifications non décrites (Poux X., Pointereau P., 2014).

Effet... Aide	...sur l'abandon des terres en végétation semi-naturelle	... sur l'intensification des terres en végétation semi-naturelle	...sur la conversion des terres en végétation semi-naturelle en terres arables	...autre (gestion des éléments fixes du paysage,...)
DPU	Des normes sur les usages locaux (au niveau départemental) trop strictes sur l'admissibilité des terres peuvent amener à inclure ou exclure des surfaces hétérogènes/boisées/avec des fourrages ligneux/des rochers. BCAE V (entretien minimal des terres) prévient l'abandon.	Pas d'effet	BCAE VI (gestion des surfaces en herbe) Pas de prise en compte spécifique du caractère semi-naturel : une prairie SN peut être retournée et "compensée" par une prairie nouvellement créée.	BCAE VII (particularités topographiques) : pas d'effet propre au-delà du seuil minimal exigible fixé (4% en 2013) Pas d'exigence sur la qualité des particularités
Aides couplées élevage	Pas d'effet direct. Effet indirect sur le revenu des éleveurs et l'incitation à garder un troupeau quand il y a un risque de déprise.	Pas d'effet direct. Risque d'intensification indirect.	Pas d'effet direct.	
ICHN	Principe de paiement à l'hectare favorable au maintien de la gestion des terres. Les seuils de chargement maximaux incitent à déclarer des surfaces. Effet seuil + chargement minimal limite l'intérêt de déclarer de très grandes surfaces.	Pas d'effet, les seuils de chargement maximums (1,8 à 2) étant bien au-delà d'une gestion extensive.	Dans la limite des 50 ha de SFP et des seuils de chargement max.	ICHN cultures en zones sèches peut maintenir une diversité paysagère (cf. HVN de type 2)
PHAE	Effet incitatif dans la limite des 100 ha.	Pas d'effet du chargement max à 1,4 UGB/ha. PHAE extensive moins favorable = risque d'intensification (réel ?)	Pas d'effet en deçà du seuil de spécialisation herbagère (exclusion des herbages marginaux dans les zones de polyculture-élevage).	Les 20% de surfaces de biodiversité incitent en principe à garder les éléments fixes. Exigence plus de principe que réelle.
MAET	Oui quand compense un risque de perte d'attractivité (cf. étude de cas avec Marais du Cotentin et du Bessin)	Peut prévenir une intensification à venir (conservation d'un existant). Peu évident pour une extensification.	Pas directement.	Cahiers des charges spécifiques pour une gestion adaptée (ex. fauche tardive). Seule option pour une gestion des éléments linéaires (murets, haies).
MAE Bio	Pas d'effet spécifique sur la végétation semi-naturelle	Pas d'effet spécifique sur la VSN	Pas d'effet spécifique sur la VSN	
Autres MAE (rota., SFEI)	Pas d'effet spécifique	Pas d'effet spécifique	Pas d'effet spécifique	MAE globalement favorables mais trop génériques pour garantir une gestion extensive.

Figure 13 : Effets des aides de la PAC sur l'évolution de l'agriculture en France – Source : Pointereau 2014

Cette analyse fait ressortir deux points intéressants (figure 13) : ces dispositifs ont pour but de diminuer ou limiter l'abandon des terres, en particulier pour les « petites » parcelles (50 ha pour l'ICHN, 100 ha pour la PHAE). ; et aucune de ces aides ne se focalise spécifiquement sur l'intensification des terres et le type agricole. Nous pouvons conclure que la combinaison de ces aides a des effets globaux : les primes à l'animal prises dans leur individualité incitent à l'intensification, mais en ajoutant la PHAE ou l'ICHN dans l'équation, cette intensification peut être contrée dans la limite des seuils (1,4 UGB/ha). Enfin, l'analyse des aides sont à replacer dans le contexte de production, une somme ou une aide peut avoir des impacts différents et notamment selon le potentiel d'intensification. La figure 14 suivante présente l'analyse des effets « théoriques » des aides selon la zone à haute valeur naturelle précédemment définie :

	Région <i>Sous-région</i>	Aides par UTA (2006) et bilan de santé (Carte 27 et Carte 30)	Combinaison des aides (Carte 25, Carte 26, Carte 28)	Analyse des effets « théoriques » des aides (Tableau 13)
1. Plusieurs critères HVN concordants	Hautes montagnes <i>Influence sèche</i>	10-15 k€/UTA (localement 20 k€/UTA) revalorisation depuis (ICHN et prime ovine)	ICHN haute montagne sèche très dominante (60 à 80 %)	Aide au revenu modérée. Incitation au maintien de l'élevage (prime ovine) et de la gestion de terres, nécessairement extensive du fait des contraintes de la zone. L'effet plafond de l'ICHN limite la surface gérée.
	Hautes montagnes <i>Humides</i>	5-15 k€/UTA revalorisation (prime lait montagne et DPU herbe)	ICHN montagne très dominante (60 à 80% voire plus)	Aide au revenu faible à moyenne. Incitation au maintien de la gestion de terres, nécessairement extensive du fait des contraintes de la zone. L'effet plafond de l'ICHN limite la surface gérée.
	Zones pastorales méditerranéennes des collines sèches	1. Variable, mais bcp < 5k€/UTA 2. 10-15 k€/UTA revalorisation depuis	ICHN montagne sèche très dominante	Aide au revenu faible à moyenne. Incitation au maintien de la gestion de terres, nécessairement extensive du fait des contraintes de la zone. L'effet plafond de l'ICHN limite la surface gérée.
	Montagne humides <i>Jura et Vosges</i>	10-15 k€/UTA revalorisation depuis (prime lait montagne et DPU herbe)	ICHN montagne très dominante (60 à 80% voire plus)	Aide au revenu faible à moyenne. Incitation au maintien de la gestion de terres. L'effet plafond de l'ICHN limite la surface gérée. Pas de prévention des risques d'intensification possibles (Jura notamment)

	Région <i>Sous-région</i>	Aides par UTA (2006) et bilan de santé (Carte 27 et Carte 30)	Combinaison des aides (Carte 25, Carte 26, Carte 28)	Analyse des effets « théoriques » des aides (Tableau 13)
1. Plusieurs critères HVN concordants	Hautes montagnes <i>Influence sèche</i>	10-15 k€/UTA (localement 20 k€/UTA) revalorisation depuis (ICHN et prime ovine)	ICHN haute montagne sèche très dominante (60 à 80 %)	Aide au revenu modérée. Incitation au maintien de l'élevage (prime ovine) et de la gestion de terres, nécessairement extensive du fait des contraintes de la zone. L'effet plafond de l'ICHN limite la surface gérée.
	Hautes montagnes <i>Humides</i>	5-15 k€/UTA revalorisation (prime lait montagne et DPU herbe)	ICHN montagne très dominante (60 à 80% voire plus)	Aide au revenu faible à moyenne. Incitation au maintien de la gestion de terres, nécessairement extensive du fait des contraintes de la zone. L'effet plafond de l'ICHN limite la surface gérée.
	Zones pastorales méditerranéennes des collines sèches	1. Variable, mais bcp < 5k€/UTA 2. 10-15 k€/UTA revalorisation depuis	ICHN montagne sèche très dominante	Aide au revenu faible à moyenne. Incitation au maintien de la gestion de terres, nécessairement extensive du fait des contraintes de la zone. L'effet plafond de l'ICHN limite la surface gérée.
	Montagne humides <i>Jura et Vosges</i>	10-15 k€/UTA revalorisation depuis (prime lait montagne et DPU herbe)	ICHN montagne très dominante (60 à 80% voire plus)	Aide au revenu faible à moyenne. Incitation au maintien de la gestion de terres. L'effet plafond de l'ICHN limite la surface gérée. Pas de prévention des risques d'intensification possibles (Jura notamment)

	Région <i>Sous-région</i>	Aides par UTA (2006) et bilan de santé (Carte 27 et Carte 30)	Combinaison des aides (Carte 25, Carte 26, Carte 28)	Analyse des effets « théoriques » des aides (Tableau 13)
2. Critères HVN plus incertains	Montagne humides <i>Massif-Central</i>	10-15 k€/UTA (localement 20 k€/UTA ou +) revalorisation DPU herbe	ICHN montagne + DPU + PHAE	Aide au revenu moyenne à élevée. Effet plafond atténué par les DPU (revalorisés). Pas de prévention des risques d'intensification possibles, sur les meilleures terres.
	Zones pastorales Causses aquitains	10-15 k€/UTA revalorisation depuis	ICHN (Lot)/ MAE + aides animales (Dordogne)	Aide au revenu moyenne. Incitation au maintien de la gestion de parcours extensifs (zone sèche).
	Collines allaitantes	15-20 k€/ha revalorisation modérée depuis (DPU herbe)	DPU + PHAE	Aide au revenu élevée. Pas de prévention des risques d'intensification possibles ni de recul des prairies sur les terres labourables.
	Pays d'Auge	5 à 10 k€/UTA revalorisation modérée depuis	DPU+PMTVA	Aide au revenu faible. Pas de prévention des risques d'intensification possibles sur les meilleures terres ni de recul des prairies sur les terres labourables.
	Marais de l'Ouest (sens large)	10 à 15 k€/UTA (variable dans le détail)	PHAE et MAE	Aide au revenu faible. Maintien possible d'une gestion extensive sur les terres en MAE ; pas de prévention des risques de recul des prairies.
	Les plaines méditerranéennes avec pastoralisme résiduel	< 5 k€/UTA peu de revalorisation hors N2000	MAE (DFCI) et PHAE	Aide au revenu faible. Impact ponctuel dans la mesure des contrats MAE

3. Eléments semi-naturels épars	Les vallées alluviales de la France du Nord	> 20 k€/UTA pas de revalorisation depuis 2006	DPU (modulo échelle d'analyse) Pas d'éligibilité PHAE	Peu d'incitation au maintien de l'élevage (la conditionnalité prairie peut jouer un rôle répulsif). Pas d'incitation au maintien d'une gestion extensive, hors MAE
	Les ensembles herbagers humides du Nord	> 20 k€/UTA pas de revalorisation depuis 2006	DPU dominante + MAE et PHAE localisée dans zones herbagères	Maintien possible d'une gestion extensive sur les terres en MAE ; pas de prévention des risques de recul des prairies.
	Les coteaux aquitains et lyonnais	très variable	DPU et PHAE/MAE	Pas de prévention des risques d'intensification possibles ni de recul des prairies sur les terres labourables. Maintien d'une enveloppe minimale de prairies (PHAE)
	Les zones polyculture élevage du grand bassin parisien	> 20 k€/UTA pas de revalorisation depuis 2006	DPU (modulo échelle d'analyse) Pas d'éligibilité PHAE	Peu d'incitation au maintien de l'élevage (la conditionnalité prairie peut jouer un rôle répulsif). Pas d'incitation au maintien d'une gestion extensive, hors MAE

Figure 14 : Analyse de l'effet « théorique » des aides PAC selon la zone à haute valeur naturelle - Source : Pointereau 2014

Exemple d'une race allaitante historique : la race Charolaise

La race charolaise est une race bovine française, originaire de la région de Charolles en Bourgogne. Elle appartient à la catégorie des vaches allaitantes, c'est-à-dire qu'elles élèvent leurs veaux jusqu'au sevrage (au moins 6 mois), et c'est pourquoi on qualifie ces troupeaux d'« allaitants ». Ces races sont spécifiquement élevées pour la production de viande, sélectionnées pour leur forte masse musculaire, un grand gabarit et de couleur blanche à crème. La reproduction se fait généralement par monte naturelle. Le cheptel charolais repose sur des élevages en race pure. Elle est également appréciée pour son caractère, sa docilité et sa rusticité. Elle est réputée pour ses qualités bouchères tant par la qualité de sa viande que par sa croissance rapide. L'effectif représente 52 % des vaches présentes en France, lui donnant ainsi la première place dans le cheptel allaitant français. D'un point de vue valorisation des espaces herbagers, l'élevage de la vache charolaise permet un maintien des territoires : elle parcourt 6 kms/jour au pré, pour ingérer 100 kg d'herbe fraîche. Son excellente capacité d'ingestion lui permet de valoriser au mieux les pâturages.

L'origine de la race Charolaise est relativement floue ; certaines hypothèses font état d'un bétail ramené à l'occasion des croisades. Pour d'autres, elle remonterait au jurassique. La seconde théorie a été récemment contre-carrée par l'appariement de la charolaise avec les races blondes du Sud-Ouest (Garonnaise, Limousine) plutôt qu'avec les races jurassiennes comme le voudrait la littérature. La charolaise serait donc classée avec les races mixtes Primigenius-Brachyceros (Grosclaude et al., 1990).

Les étapes marquantes dans l'évolution de la charolaise sont au nombre de trois : le développement de la race dans son berceau, sa diffusion en France et l'augmentation de son effectif, et enfin sa résonance dans le monde.

La première description remonte au XVII^{ème} siècle quand des paysans de la région de Charolles et du Brionnais, grâce au bocage naturel qui fait exception au droit féodal, commencent l'élevage et le développement de l'engraissement des animaux pour la boucherie. Ensuite, jusqu'en 1773, la race reste relativement cantonnée à son berceau d'origine, avec le phénomène de déforestation, les paysans gagnent des prés sur la forêt, et la région se spécialise dans l'élevage. Les animaux, déjà engraisés à l'époque (des bœufs, la plupart du temps) sont vendus aux boucheries lyonnaises et parisiennes, ce qui fait déjà la force du charolais. L'élevage s'intensifie, la charolaise s'impose dans son berceau et la région prospère au cours du 18^{ème} siècle.

Dans les années 1850, on commence à sélectionner la race charolaise pour ses aptitudes viande et travail. La race se répand dans le Centre avec une volonté d'augmenter le poids des animaux, avec une diminution de l'âge à l'abattage, et en conséquence le prix de revient. A cette époque, les effectifs sont estimés à 315 000 têtes. A partir de 1864 se met en place le herd-book de la race charolaise et le développement de la sélection en race pure jusqu'au début du 20^{ème} siècle. Les effectifs atteignent 1 128 000 têtes. C'est ainsi, en utilisant la race charolaise comme race « viande-travail » que la sélection se fait en faveur d'animaux musclés de grand format.

Le 20^{ème} siècle est marqué par l'expansion de la race. Après des expositions de reproducteurs (Milan, Buenos Aires), les délégués étrangers commencent à s'intéresser à cette race après la seconde guerre mondiale. Le président du herd-book dans les années 1955-1960 jouera alors un rôle considérable dans le développement de la race à l'étranger par ses voyages. En parallèle, en France, la sélection se focalise d'après le herd book charolais sur : « *la conformation et l'épaisseur des masses musculaires, à obtenir une poitrine plus profonde, des membres raccourcis mais sans exagération, pour conserver l'aptitude à parcourir de grands pâturages [...]. Puis apparaissent de nouvelles méthodes de sélection basées sur des critères plus objectifs d'appréciation de la croissance et de la valeur bouchère. [...] La sélection sur les qualités bouchères et de rusticité ont fait de la Charolaise la première race allaitante française, présente aujourd'hui dans plus de 80 départements et utilisée en race pure comme en croisement.* » (Herd book Charolais, 2020).

Au milieu de 19^{ème} siècle, certains éleveurs ont la volonté d'améliorer la race charolaise pure en faisant un travail de sélection sur de la consanguinité soigneusement calculée (Herd book Charolais, 2020). Le but étant de sélectionner les animaux ayant une meilleure aptitude à l'engraissement et de définir un portrait-type idéal de la race. C'est le 1^{er} avril 1864 que la Société d'agriculture de la Nièvre crée le premier herd-book de la « Race bovine charolaise, améliorée dans la Nièvre, connue sous le nom de race nivernaise. A cette période, 145 animaux (39 mâles et 106 femelles) y sont inscrits. Le but du herd-book est « *d'assurer le maintien de la pureté de cette belle race et contribuer à son amélioration par une sélection intelligente et continue* » (Herd book Charolais, 2020). Subtilité de la race charolaise, en 1887, un deuxième herd-book de « *la race bovine charolaise pure* » est ouvert à Charolles. Ce n'est qu'en 1920 que les deux livres fusionnent pour s'appeler « Herd-book de la race bovine charolaise ».

Aujourd'hui, la race est en constante évolution même si le livre de 1920 est « fermé » (c'est-à-dire que seul un animal dont les deux parents sont inscrits peut être lui-même inscrit). Elle est encore améliorée par de nombreux outils selon le herd-book : « *le livre généalogique, les concours, l'insémination et le testage, le contrôle des performances (pesée et pointage) et l'évaluation, la qualification des meilleurs animaux, l'indexation par INRAE (comparaison des animaux par des méthodes statistiques prenant en compte les données scientifiques), la génomique, qui étudie le matériel génétique de l'animal pour déterminer sa valeur dès la naissance* » (Herd book Charolais, 2020).

Nous allons voir dans cette partie comment la race charolaise est décrite selon le livre des origines. Elle présentent les caractéristiques suivantes : « *une robe uniformément blanche ou quelques fois crème, sans taches, une muqueuse blanc rosé, une tête relativement petite, courte, à front large, à profil plus ou moins plat, à chignon rectiligne, à chanfrein droit et court, cornes rondes, blanches, allongées, oreilles moyennes, minces et peu garnies de poils, yeux grands et saillants, joues fortes, mufle large, une encolure courte, peu chargée de fanon, une poitrine profonde, une côte ronde fondue avec l'épaule, un dos horizontal et très musclé, rein très large et épais, hanches légèrement effacées, très larges, ainsi que la croupe, une culotte rebondie et très descendue, ligne du dessous parallèle à celle du dos, une queue sans saillie trop prononcée, effilée et terminée par une touffe de crins fins, des membres bien d'aplomb, une peau ou cuir d'épaisseur moyenne, mais très souple* » (Herd book Charolais, 2020).

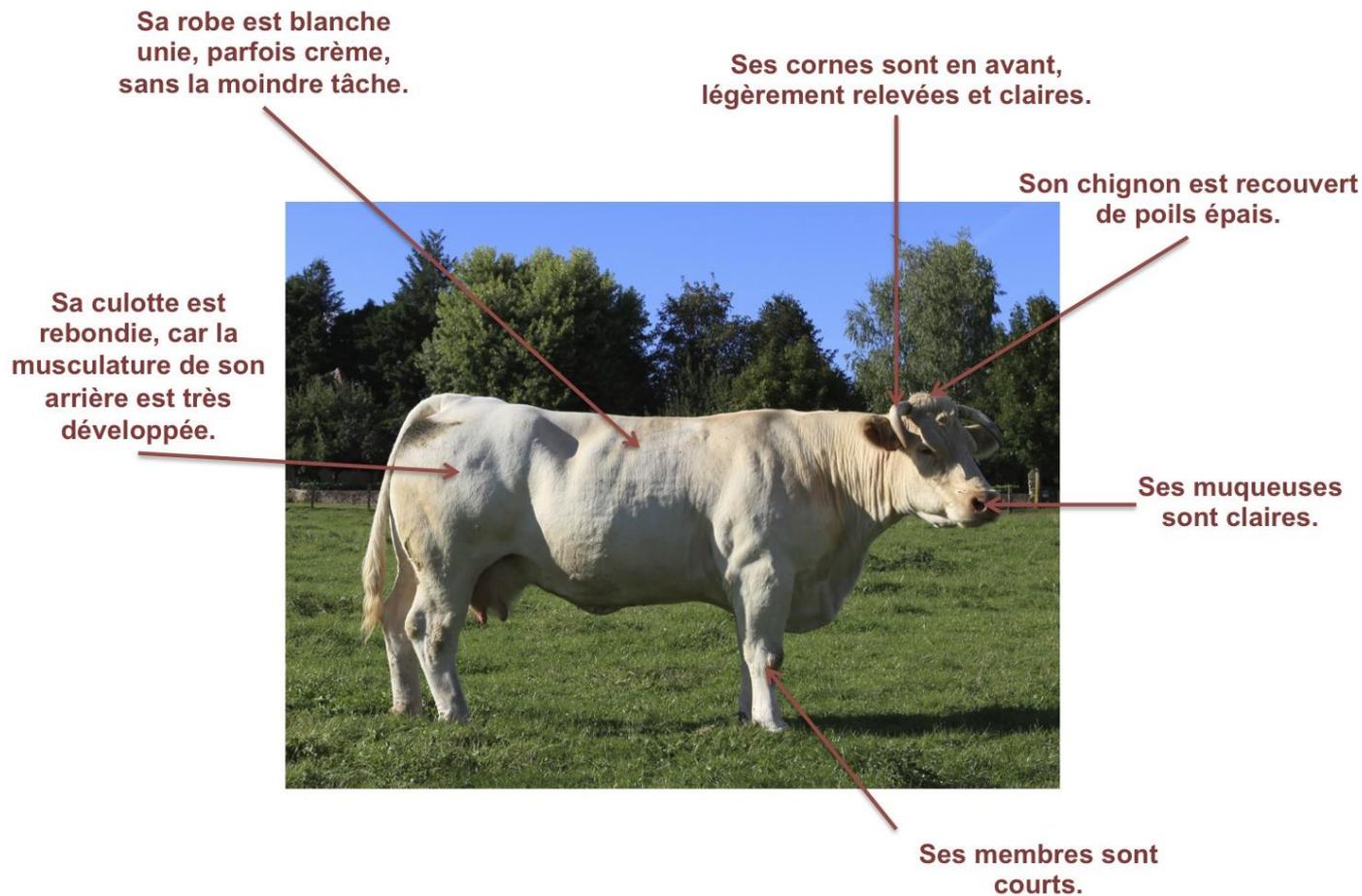
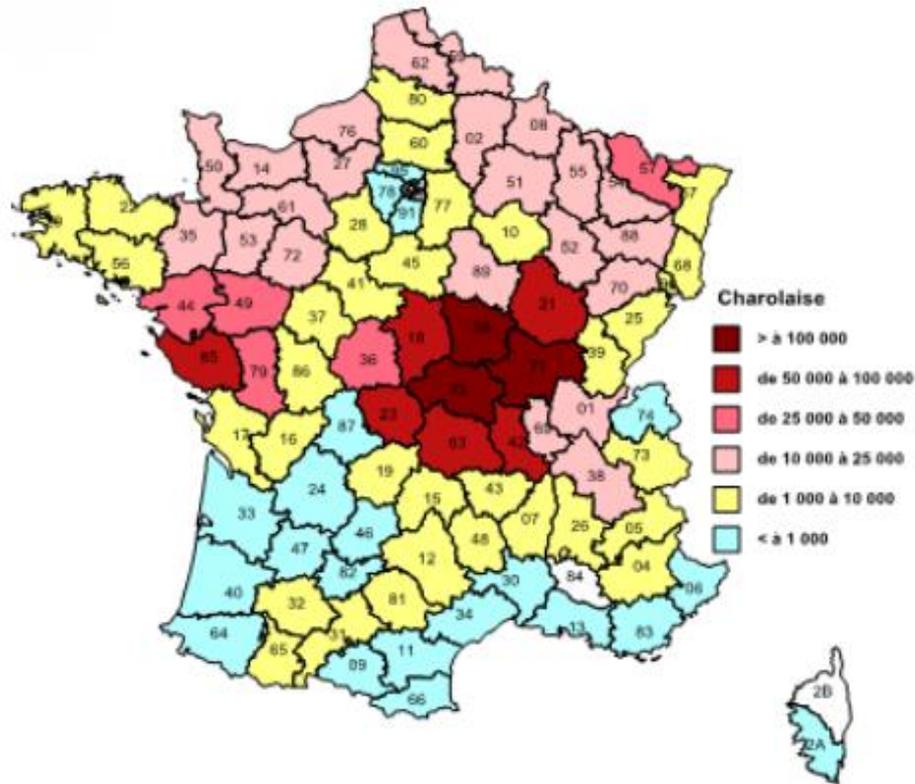


Figure 15 : Photographie d'une charolaise et description de ses qualités physiques – Source : Herd-book Charolais

Les chiffres clefs permettent de confirmer le statut de première race à viande en France et en Europe, d'un point de vue technique et économique. Ces chiffres proviennent de plusieurs organismes (FCEL, bovin croissance, Interbev, Idèle). Tout d'abord, la race charolaise se trouve à la première place en termes d'effectifs, avec 1,6 million de vaches, soit 20% du cheptel français, et 25% du cheptel européen : une vache allaitante sur deux est une vache de race charolaise (52%). En 2013, FGE dénombre 1 594 127 vaches mères, dont 375 443 sont contrôlées (ce qui permet d'obtenir les chiffres de performance de la race), dont 191 038 inscrites au herd-book.



*Figure 16 : Carte de la répartition de la race charolaise en nombre de têtes en France –
Source : Herd-book charolais 2020*

La race charolaise est réputée pour ses qualités d'élevage : son tempérament calme et sa docilité appréciés des éleveurs, son adaptabilité tant au système de production qu'aux conditions extérieures, se prêtent aux grands troupeaux. Du point de vue de la reproduction, la fertilité de la charolaise (c'est-à-dire le pourcentage de gestation à la suite d'une saillie) est de 100%. L'âge moyen au premier vêlage est de 35,4 mois. Elle possède un intervalle vêlage-vêlage (IVV) moyen de 379 jours avec la garantie d'un veau par vache et par an avec un taux de gémellité de 4% avec une productivité numérique (c'est à dire le nombre de veaux par vache et par an) est de 95% et 93% des naissances sans aides.

Elle est, pour une vache de race allaitante, une bonne productrice de lait (7L de lait/jour) ce qui permet jusqu'à 1000 g/j de croissance de son veau. Récemment, la filière a mis en place le programme « Vêlage Facile » pour optimiser au maximum les conditions de naissance des veaux (format des bassins, poids à la naissance, ...).

Elle est aussi appréciée pour ses qualités bouchères : sa conformation permet un bon rendement carcasse, sa viande est de haute qualité à la fois tendre et goûteuse. Elle possède une forte capacité d'ingestion et un indice de consommation faible ce qui fait de cette race, une race

intéressante à élever. De plus, elle est performante d'un point de vue ratio croissance/cout alimentaire. « Pour un élevage naisseur, elle propose une productivité du travail (tonne de viande vive/Unité Main Œuvre) de 33 à 36 tonnes, une croissance de 1,1 kg / jour pendant les 120 premiers jours, soit un coût alimentaire/kg vif produit le plus faible : 0,42 à 0,47 euro/kg. Pour un élevage engraisseur, une productivité du travail (tonne de viande vive/UMO) de 42 à 44 tonnes, une croissance donnée par le gain moyen quotidien (GMQ) de 2,2 kg / jour en période d'engraissement pour un coût alimentaire/kg vif produit le plus faible : 0,52 à 0,61 euro/kg» (Herd book Charolais, 2020), Idèle- résultats 2011 coûts de production). Enfin, il s'agit de la première race utilisée en croisement en France : 1 veau croisé sur 2 est issu d'un taureau charolais, en particulier sur des races laitières afin d'augmenter le potentiel de croissance des produits.

Concernant la croissance, le poids moyen à la naissance est de 45kg pour les femelles et de 48kg pour les mâles. L'évolution des poids et des GMQ est présentés dans les figures 17 et 18 ; ils peuvent atteindre jusqu'à 2kg par jour.

Tableau 2 : Evolution du poids en fonction de l'âge des veaux charolais – Source : Herd-book Charolais 2020

Poids (en kg)	Femelles	Mâles
A la naissance	45	48
A 120 jours	166	177
A 210 jours	264	295

Tableau 3 : Evolution du GMQ en fonction de l'âge des veaux charolais – Source : Herd-book Charolais 2020

GMQ (en g/j)	Femelles	Males
Naissance-120 jours	1008	1075
120-210 jours	1089	1311

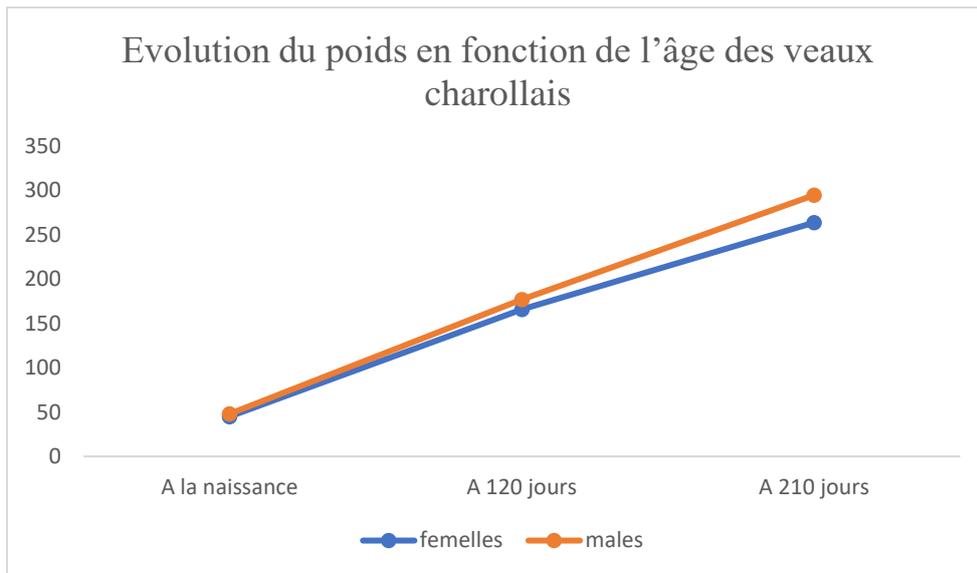


Figure 17 : Evolution du poids en fonction de l'âge des veaux charollais – Source : Herd-book Charolais 2020

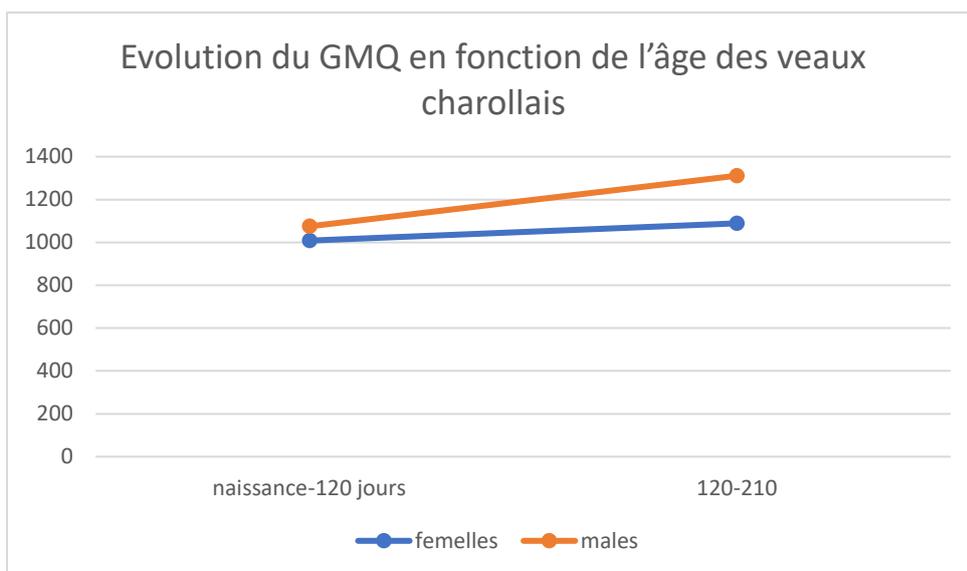


Figure 18 : Evolution du GMQ en fonction de l'âge des veaux charollais – Source : Herd-book Charolais 2020

L'évaluation génétique, IBOVAL, rend compte des performances de chacune des principales races bovines allaitantes (Aubrac, Bazadaise, Blonde d'Aquitaine, Charolaise, Gasconne des Pyrénées, Limousine, Partenaïse, Rouge des Prés et Salers). Pour estimer les aptitudes bouchères des Jeunes Bovins (JB) de ces races (or Gasconne) en ferme, l'index Abjbf a été créée en 2003 et s'appuie sur les données commerciales d'abattage (Boulesteix et al., 2020).

La dénomination des valeurs génétiques est la suivante :

- CONFjbf = index élémentaire de conformation carcasse sur jeunes bovins en ferme
- ICRjbf = Index synthétique de croissance sur les jeunes bovins en ferme ; il combine les effets directs sur le poids de carcasse et l'âge d'abattage, de sorte que la marge économique brute de l'élevage soit maximale sur ce caractère
- IABjbf = Index synthétique d'aptitude bouchère sur les jeunes bovins en ferme ; il combine les effets directs sur le poids de carcasse et l'âge d'abattage (ICR), et la conformation de la carcasse (CONF), pour que la marge économique brute de l'élevage soit maximale sur ce caractère.

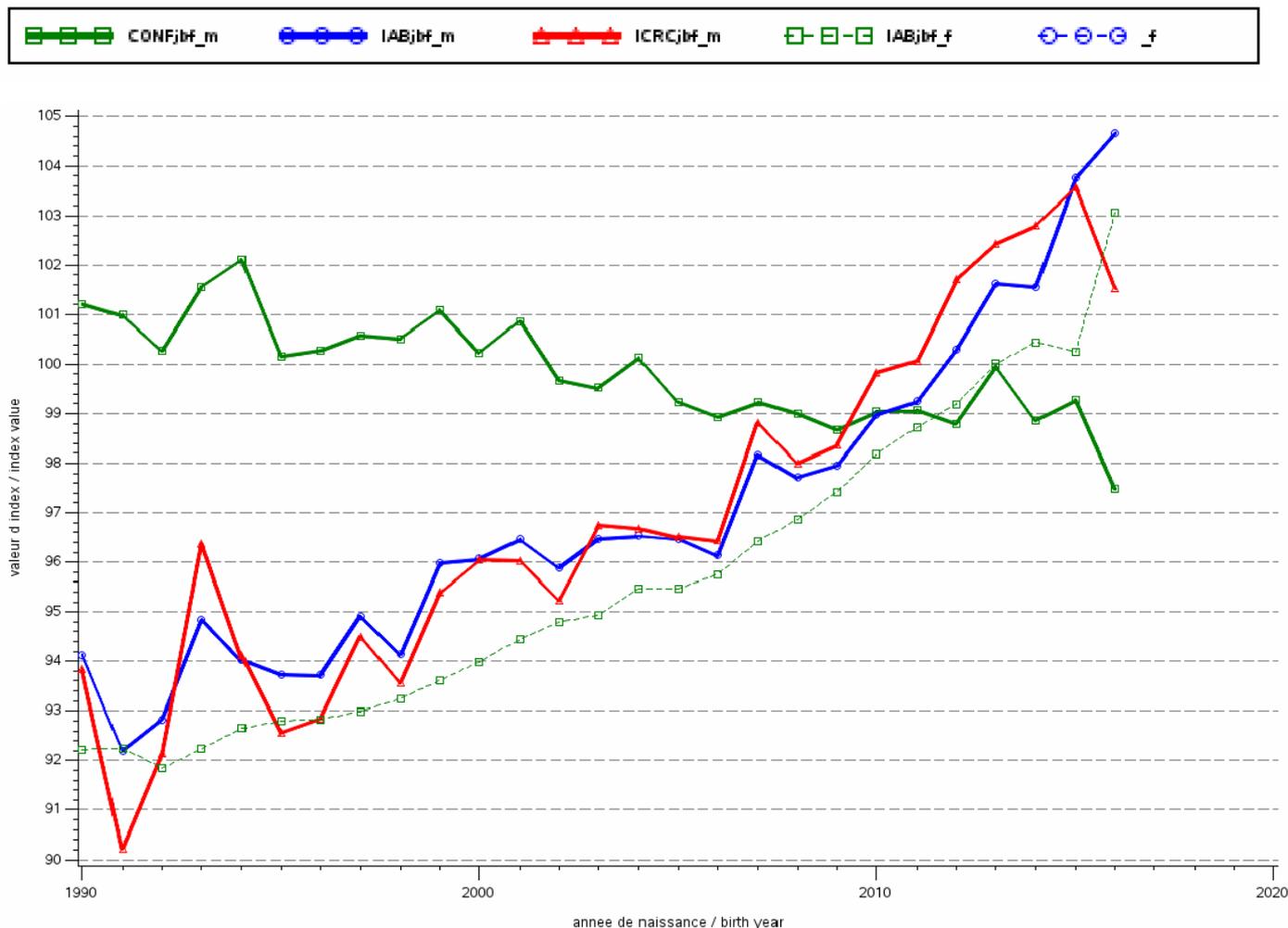


Figure 19 : Graphique des performances de la race charolaise évaluée annuellement par les index Abjbf des pères (m) et des mères (f) – Source : Boulesteix 2020

Nous constatons à l'analyse de ces graphiques que la Charolaise occupe la première place en termes de performances bouchères ($104 < IAB_{jbf} < 105$), malgré une volonté de la filière d'inclure la facilité de vêlage parmi les critères de sélection. Elle est suivie de près par la Limousine qui s'impose elle-aussi comme une référence quand on s'attache aux qualités bouchères. Enfin, la Blonde d'Aquitaine, avec son grand gabarit, occupe la troisième place pour l'aptitude à produire de la viande, en se focalisant seulement sur l'aspect conformationnel.

Concernant les qualités bouchères de la race, Interbev publie en 2014 les données suivantes : poids carcasse moyen de 438kg par vache, avec un rendement carcasse de 52%, un rapport poids du muscle/poids carcasse de 68% avec une faible teneur en gras de 11%, un rapport muscles/os de 16% qui définit la finesse de la carcasse, avec une faible quantité de déchet de 5%. Tous ces chiffres font de la race charollais un choix de première catégorie pour la production de viande.

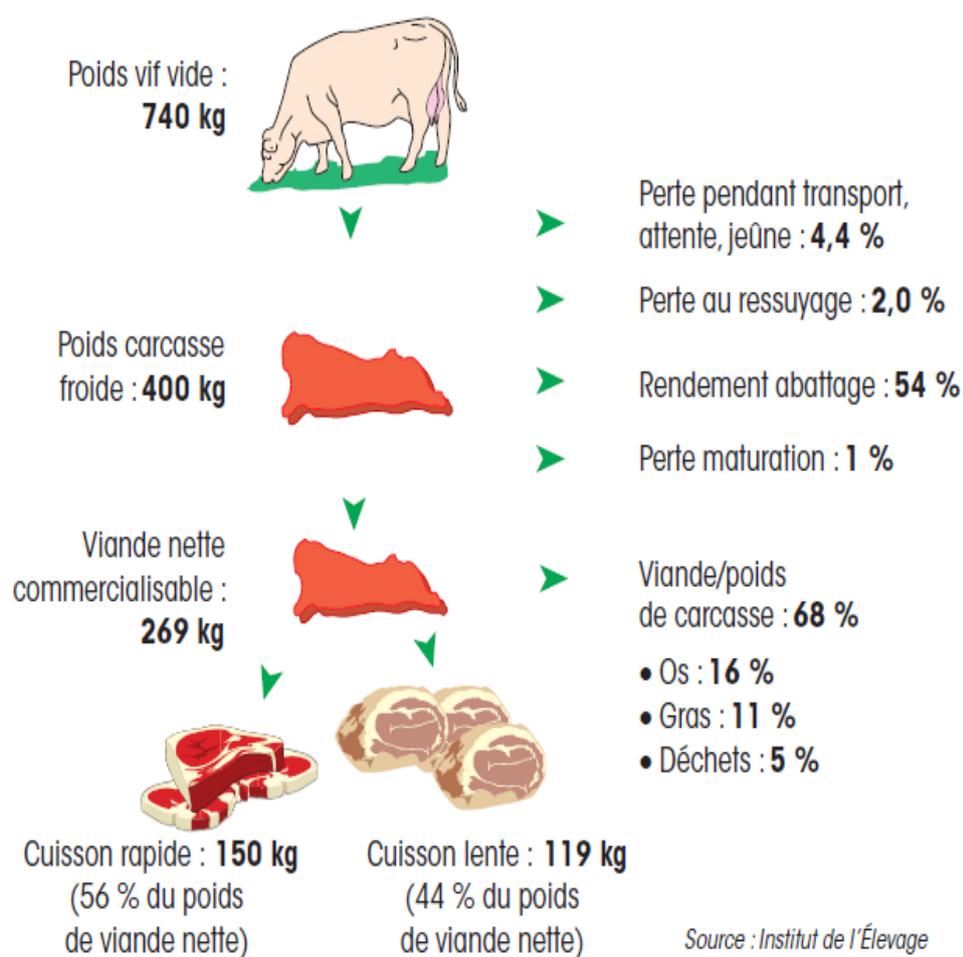


Figure 20 : Rendement-type d'une vache allaitante de race charolaise de 400kg classée U3 – Source : Herd-book Charolais 2020

Concernant l'abatage en nombre de têtes, (toute races confondues, y compris les races laitières abattues), près d'une génisse sur deux (42%), et 1/3 des jeunes bovins (33%) sont de race charolaise.

Enfin la race charolaise se place comme la première race à l'export. Grâce à sa grande adaptabilité et la volonté de développer son export à l'international par notamment les actions du herd-book, elle est présente sur tous les continents (Mexique, en Espagne, en Hongrie, au Brésil, aux Etats-Unis).

- Organisation de la filière d'élevage allaitant

Dans cette partie, nous allons décrire l'organisation de la filière de la naissance du veau, en élevage naisseur jusqu'à l'abatage à différents âges. Nous pouvons définir plusieurs catégories d'élevages engagés dans la filière de production de viande en France : les élevages naisseurs stricts, les élevages naisseurs engraisseurs, et les élevages engraisseurs stricts.

L'élevage du veau jusqu'au sevrage

En France, les élevages naisseurs stricts représentent la majorité des élevages, en particulier dans certains bassins traditionnels (Massif Central, Charolais). Ce système repose sur l'élevage du couple mère/veau : les mères allaitantes élèvent leur veau jusqu'à l'âge de 6-8 mois qui correspond approximativement au sevrage. Les vaches allaitantes mettent bas généralement à partir de 3 ans et environ une fois par an. La carrière d'une vache allaitante durant en moyenne 7 ans, leur longévité est donc de 9 à 10 ans. La production de ces élevages est double : les produits (veau) et les vaches de réforme pour des motifs variables (âge, conformation, reproduction, etc.). Plus elles sont réformées tard, moins la viande est de qualité et, avec l'âge, elle est donc moins bien valorisée. Une vache de réforme peut être engraisée à l'herbe (pendant 5 mois au moins), ou à l'auge (pour une période plus courte de 2-3 mois). Dans ce dernier cas, il existe une phase de pré-engraissement riche en protéines (pour le développement du muscle) puis une phase d'engraissement riche en énergie (pour favoriser le dépôt de tissu graisseux).

Dans cette partie, nous allons décrire le cheminement d'un veau allaitant de sa naissance jusqu'au sevrage. Nous n'aborderons pas la production de viande de veaux post sevrage qui sera décrite ultérieurement. Il faut cependant noter que les produits viande ne se limitent pas aux races allaitantes mais sont issus de différents modes d'élevage (veaux de huit jours, veaux de boucherie, femelles laitières). Cependant, nous allons nous focaliser sur ceux issus de la

filière allaitante en particulier les broutards, et jeunes bovins engraisés. A noter que même dans la filière allaitante, il existe d'autres types de production : veaux sous la mère, veaux de boucherie, bœufs (mâles castrés) que nous ne détaillerons pas ici.

La santé du nouveau-né est primordiale pour la réussite future (gain de poids régulier, bonne santé, etc.) et la prise colostrale est indispensable. Le choix de l'éleveur peut être de réaliser des vêlages dit « d'hiver ou de printemps » (classiquement), c'est-à-dire principalement lors des mois de janvier à mars. Les vaches sont alors en stabulation et les veaux naissent à l'intérieur. Cette pratique est la plus répandue, car elle est associée à des besoins en fourrages minimaux. En effet, ceci permet de faire coïncider la période d'allaitement avec celle où le troupeau a accès à l'herbe (fin hiver, début printemps). Dans le cas d'un engraissement des taurillons à l'herbe, cela permet aussi de faire pâturer les animaux de 12 à 18 mois et assurer la finition des génisses au pâturage.

Outre l'avantage alimentaire, les vêlages d'hiver permettent aussi de réaliser des économies sur les besoins en paille et les bâtiments d'élevage. (Devienne S. et al., 2016). La conséquence de ce système réside dans le fait que de nombreux broutards se retrouvent sur le marché à la même période, diminuant donc le prix de vente et donc le revenu global. Une autre alternative peut-être de synchroniser les vêlages durant l'été ou à d'automne, sur une période courant des mois d'août à octobre. Dans ce cas, les veaux sont rentrés pour l'hiver, et le cout des intrants alimentaires sera plus élevé, mais leur prix de vente l'est aussi.

Le choix peut aussi être fait de réaliser des vêlages étalés, c'est-à-dire répartis sur une plus longue période de l'année. C'est le parti pris notamment des filières qualité qui approvisionnent des marchés de niche tout au long de l'année.

Tableau 4 : Tableau récapitulatif des avantages et des inconvénients de telle ou telle pratique –

Source : Auteurs

	Vêlage de printemps	Vêlage d'automne	Vêlage étalé
Sanitaire	++	-	+
Financier	-	+	++
Répartition de la charge de travail	-	---	+

+ favorable – défavorable

Les conditions sanitaires des vêlages ont un impact sur la prévalence des maladies et les mesures sanitaires et prophylactiques permettant de les diminuer (litière propre, aide au vêlage, réanimation néonatale, , désinfection des nombrils, prise de colostrum, vaccination des mères, surveillance par l'éleveur comme la prise de température, ...etc.)

Le principe de la filière allaitante repose sur la pâture des vaches suitées (mère allaitantes et veaux avant sevrage à 6-9 mois). Un broutard, dont le terme vient de *brouter*, est un jeune bovin, de race à viande, non sevré, qui tète sa mère et broute de l'herbe dans les pâturages jusqu'à son sevrage. Ce pâturage a lieu soit toute l'année durant et est dit de plein air intégral, soit avec une alternance de périodes de pâturage et de périodes de stabulation. La période en pâture dure en fonction des régions, généralement de sept à huit mois par an (Devienne S. et al. 2016). C'est ainsi, que 95% des troupeaux allaitants (vaches, veaux et taureaux) français passent généralement plus de 6 mois dans les pâtures, sans apport d'alimentation complémentaire lorsque les conditions climatiques sont favorables. (Le bien-être et la protection des vaches à viande 2019). La complémentation quand elle est nécessaire, c'est-à-dire pour compenser le déficit fourrager enregistré sur les prairies pâturées lié à un déficit hydrique (période de sécheresse, régions sèches du Sud de la France) est généralement à base de foin (de graminées, foin de fabacées) ou d'enrubanné. Ces compléments sont généralement distribués lors de la préparation au vêlage et en début d'allaitement.

Les modes de pâture sont variés : il peut s'agir de prairies permanentes ou de prairies temporaires impliquées dans des rotations. Les espèces sont généralement des graminées pures, des ray-grass, de la féтуque, dactyle ou alors des légumineuses (luzerne, trèfles) selon les parcelles, souvent en association (par exemple dactyle/luzerne).

En dehors des périodes de pâture, les troupeaux (vaches, veaux, et taureaux), sont hébergés en stabulation dite libre car sans attache fixe (bâtiments avec cornadis) ou d'étable (où l'attache se fait généralement avec une chaîne). Là encore, les bâtiments sont très divers, mais le principe général en élevage allaitant est : des cornadis donnant sur une aire d'alimentation pour les adultes, des cases à veaux, parfois avec du fourrage de meilleure qualité pour les veaux et une aire paillée plus ou moins intégrale sur toute la surface à laquelle les animaux ont accès.



Figure 21 : Photographie d'une stabulation type aire paillée avec couloir central d'alimentation – Source : Roiné 2020



Figure 22 : Photographie d'une stabulation type aire paillée avec couloir latéral d'alimentation – Source : Morisset 2020

Pour les veaux allaitants, la ration durant les six premiers mois de vie est mixte avec le lait de la vache, l'herbe pâturée et/ou le fourrage conservé mis à disposition. Elle est majoritairement lactée en début de vie puis se diversifie pour finalement être presque exclusivement constituée d'herbe ou de fourrage avant le sevrage. Des changements tant anatomiques que physiologique s'opèrent pour évoluer d'un régime et d'une physiologie monogastriques à ceux de polygastriques. Il est donc important que le veau ait accès à du

fouillage et des concentrés pour lui permettre la transition vers l'état de ruminant. C'est autour de 4 mois d'âge que la quantité maximale de papilles du rumen est atteinte, ainsi que la capacité digestive qui déterminera la capacité de l'animal à assimiler les nutriments et donc à croître en masse. (L'élevage des veaux : de la naissance au sevrage, 2018)

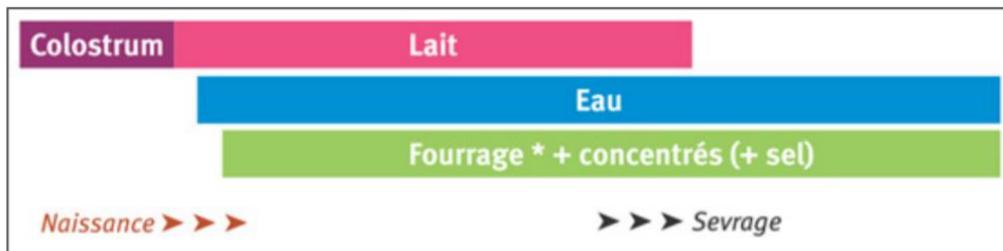


Figure 23 : Schéma de l'évolution de la consommation de lait et de fourrage d'un veau au sevrage – Source : l'alimentation du veau – « les bonnes pratiques d'élevage des veaux » - Groupement Intérêt Economique (GIE) Elevage de Bretagne 2008

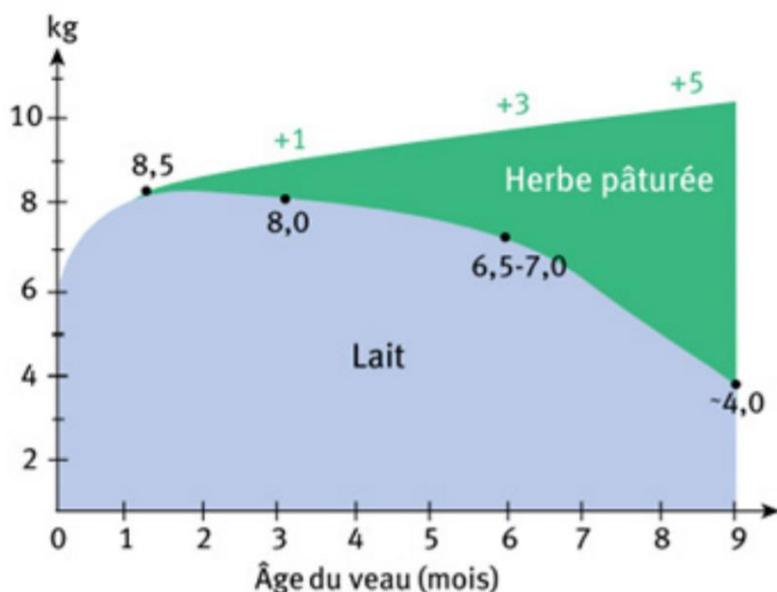


Figure 24 : Évaluation de la part de lait et d'herbe dans la ration ingérée par un veau allaitant avant sevrage – Source : Institut de l'élevage – Inra 2014

Le sevrage est une période particulièrement stressante d'un point de vue biologique puisque les veaux non seulement changent d'alimentation (arrêt des apports de lait), mais aussi bien souvent d'environnement (transport et regroupement) ; ils sont séparés de leur mère à cette occasion. C'est la raison pour laquelle, il est recommandé de réaliser un sevrage le plus progressif possible.

Du sevrage à la reproduction

L'âge des veaux au sevrage (et donc à la vente concernant les broutards) est variable selon les races. Ceci dépend de la précocité de la race mais aussi des pratiques d'élevage (en plein air ou en bâtiment par exemple). Plus de la moitié des broutard Limousin et Salers sont vendus entre huit et dix mois (9,7 et 9,9 mois en moyenne, respectivement). Les Charolais et les veaux croisés sont majoritairement vendus plus tard (10,6 mois et 10,5 mois en moyenne). Enfin les veaux de race Aubrac sont vendus plus tardivement, autour de 11,2 mois d'âge.

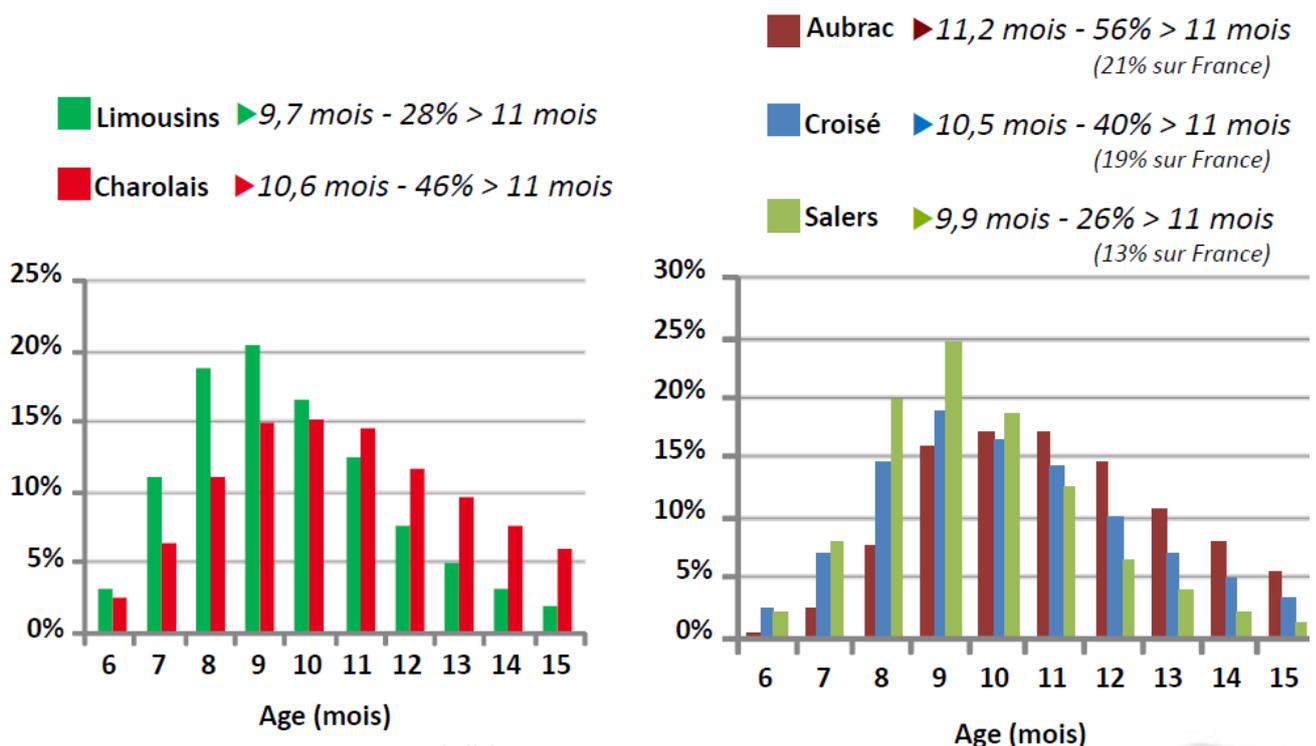


Figure 25 : Graphiques de l'âge de sevrage des veaux en fonction de leur race – Source : BDNI 2011

Pour la voie dite maigre, c'est-à-dire sans engraissement, on appelle communément les veaux sevrés, des broutards qui sont ceux vendus aux élevages engraisseurs. Il faut aussi distinguer les broutards à l'engraissement des animaux destinés au renouvellement du troupeau qui sont conservés et intégrés plus tard au troupeau des mères ou bien vendus pour l'élevage en fonction de leurs qualités génétiques à d'autres éleveurs pour l'élevage et la reproduction. Ces animaux représentent un quart de l'effectif, soit environ 380 000 animaux et deviendront à terme des reproducteurs (Le bien-être et la protection des vaches à viande, 2019). Les mâles sont très minoritaires du fait de la proportion mâle/femelle d'environ 1 taureau pour 19 vaches environ dans un troupeau. En effet, 88% des veaux issus des 4,018 millions de vaches nourrices

sont nés d'accouplement par monte naturelle (soit 3,5 million de veaux) pour 209 233 taureaux différents ($4\,018\,000/209\,233 = 19,2$) (*Dossier | Le taureau reste au cœur des ébats* [2013]). Ils peuvent être gardés ou vendus pour devenir des reproducteurs, notamment s'ils possèdent une valeur génétique supérieure à la moyenne. Les femelles sont majoritairement conservées dans l'élevage d'origine ou vendues pour la reproduction ; ce sont les génisses dites de renouvellement ou du pré-troupeau, c'est-à-dire un bovin femelle de plus d'1 an qui n'a pas encore eu de veau pour remplacer les vaches de réforme (Le bien-être et la protection des vaches à viande 2019).

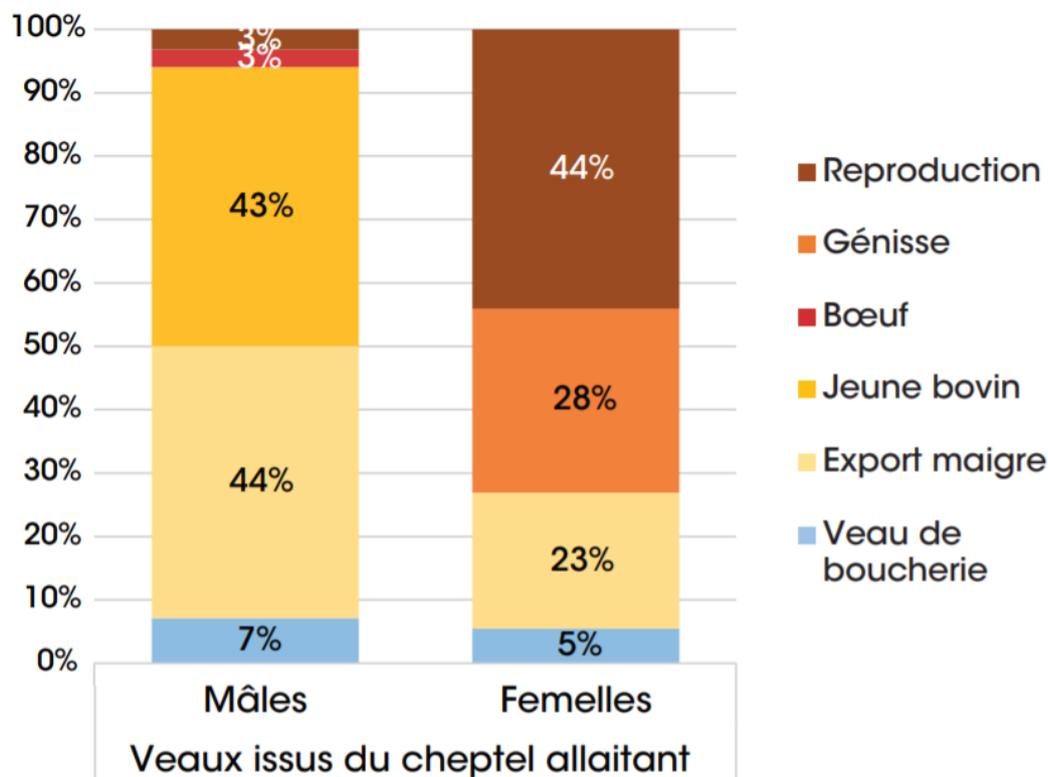


Figure 26 : Estimation de la destination des veaux nés en 2018 – Source : données SPIE/BDNI et Normabev 2020

Du sevrage à l'abattage

Ces animaux, un fois sevrés, sont orientés selon trois axes possibles : le renouvellement (génisses et taureaux reproducteurs), et d'un autre côté la filière viande avec premièrement les circuits courts, où les veaux sont abattus précocement et fournissent une viande rosée (environ 15%). La seconde est la filière dite de « gros bovin », à savoir les jeunes bovins (20%), les génisses de boucherie (11%) et les bœufs (3%). Les taurillons (ou jeunes bovins) sont engraisés

jusqu'à l'âge de 18-24 mois, c'est-à-dire autour de 500-750 kg de poids vif pour les mâles. Les bœufs et les génisses de boucherie quant à eux sont castrés et abattus un peu plus tardivement (24-36 mois)

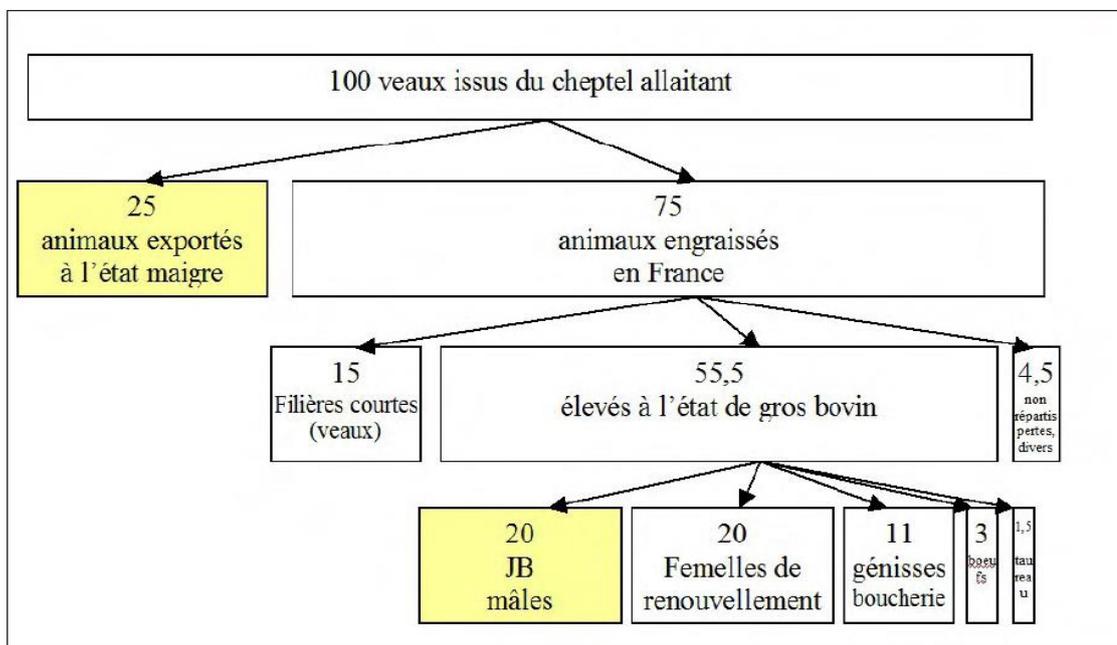


Figure 27 : Schéma du devenir des veaux issus du cheptel naisseur allaitant – Source : Marty 2015

Les brouards représentent 70% des sorties dans les élevages du bassin charolais (Geffroy & Reffay, 2015). Deux veaux sur trois sont engraisés pour produire de la viande et seront abattus entre 1 et 3 ans. (Remongin, 2019). Environ un quart de ces veaux est exporté, notamment vers l'Italie ou l'Espagne alors que les $\frac{3}{4}$ restants sont engraisés en France. Ils sont directement engraisés dans les élevages naisseurs-engraisseurs et leur élevage d'origine, ou bien ils sont vendus pour l'engraissement dans des centres spécialisés. (Geffroy & Reffay, 2015).

En 1 000 têtes	2015	2016	2017	2018
Exportations de brouards*	1 107	1 155	1 183	1 137
- dont mâles	782	792	793	751
- dont femelles	326	363	389	385

Figure 28 : Tableau du nombre d'exportation de brouards en milliers de têtes – Source : Chiffres clés bovin 2019 - Agreste

De l'éleveur au consommateur

Avec la première place sur le marché européen, la France compte environ 210 000 exploitations, avec un total de moins de 19 millions de bovins. Les vaches allaitantes représentent 58% environ de cet effectif total. La production de viande en France en 2019 représente 1,27 millions de TEC. Le volume de production est en augmentation de 4,4% pour les vaches et 1% pour les jeunes bovins.

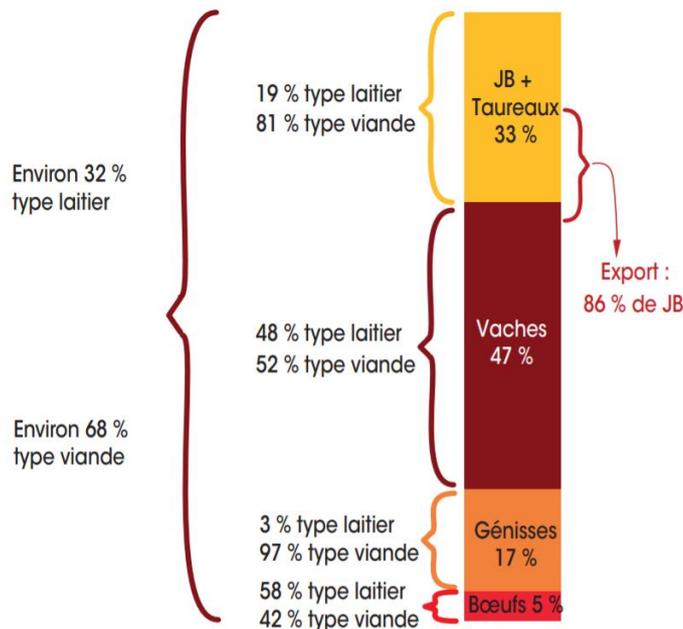


Figure 29 : Type de viande produite en France en 2019 – Source : estimation GEB-Institut de l'élevage, % de tonnage de gros bovins

La particularité de la viande bovine française est qu'elle couvre 93% de la consommation intérieure, malgré des échanges importants avec les autres pays européens, Elle représente à elle seule 41% de la viande de veau produite en Europe. La France s'impose donc comme un pays d'élevage et notamment de naissance.

Les animaux sont ensuite vendus soit à des commerçants en bestiaux soit à des coopératives, qui vont ensuite les transporter vers des élevages engraisseurs comme présenté précédemment. Une fois les animaux prêts pour l'abattage (notamment sur le critère du poids), ils sont conduits vers des abattoirs qui peuvent être privés ou publics. Vient alors la phase de transformation, et l'achat par certaines entreprises ou compagnies pour découper la carcasse en pièces de viande. Ces pièces sont ensuite commercialisées par l'intermédiaire des grandes et moyennes surfaces,

ou des boucheries, vendues à des collectivités ou en vente directe. A noter, que les éleveurs peuvent aussi réaliser les étapes de transport et de transformation, via ce que l'on appelle communément les circuits courts. Enfin, en bout de chaîne, on trouve les consommateurs avec leurs propres attentes sur le prix, la qualité, la provenance, les habitudes alimentaires...etc.

L'ensemble des acteurs de la filière est présenté dans le schéma ci-dessous :

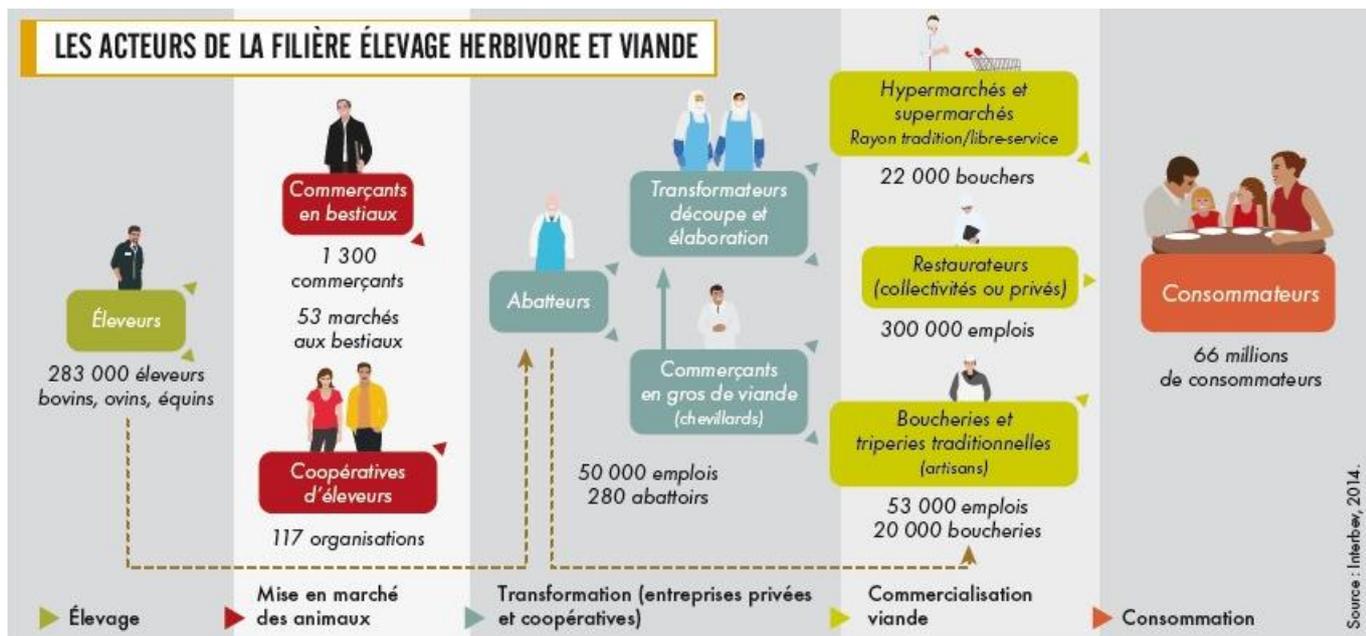


Figure 30 : Schéma de présentation des acteurs de la filière de production de viande bovine en France, de l'éleveur au consommateur – Source : Interbev 2014

1.1.2 Caractéristiques des ateliers d'engraissement en France

- Le système naisseur-engraisseur

La filière d'élevage des jeunes bovins en France s'articule autour de trois groupes d'acteurs. Les élevages naisseurs élèvent des veaux sous la mère, de race allaitante. Ce cycle de production est relativement court (5-10 mois), et le cheptel des vaches est relativement constant. Les veaux sont vendus au moment du sevrage et sont qualifiés de broutards dont la majorité est exportée. Les engraisseurs spécialisés assurent la finition jusqu'à l'abattage. La troisième catégorie sont les naisseurs-engraisseurs qui ont une activité mixte et engraissent soit une partie ou la totalité des veaux nés de leur cheptel mère, le reste correspondant à des animaux achetés. (Bailly, 2011)

Le fonctionnement de l'atelier est caractérisé par le profil de vente des bovins mâles :

- Naisseur de broutards : (VA) >5 et moins de 0,5 veau/vache allaitante (VA), moins 0,2 JB/VA et moins de 0,2 bœuf/VA
- Naisseur-engraisseurs de jeunes bovins : $\geq 0,2$ JB/VA et nb de JB > nb bœufs
- Engraisseurs spécialisés : si VA=0 UGB bovin > 8, si VA > 0 UGB bovin/VA > 8

	Naisseur	Engraisseurs	Naisseur-engraisseurs
Nb. Exploitations France ²	49 700	12 700	11 900

Figure 31 : Quantification et répartition des exploitations de production de bovins en France

Source : Interbev 2017

Les élevages naisseurs-engraisseurs, engraisent donc une partie ou l'ensemble des produits nés dans l'élevage, et les amènent jusqu'au poids attendu en vue de l'abattage. Après le sevrage, il existe plusieurs options pour le devenir de ces produits ; on distinguera les filières dites de qualité (veau sous la mère, veau d'Aveyron par exemple), de la « repousse », la « voie maigre », la voie des jeunes bovins pour la production de viande. Les producteurs de veaux sous la mère élèvent des veaux de race allaitante, nourris au lait de la mère uniquement, ce qui permet d'obtenir une viande blanche de qualité. Ces veaux sont abattus vers l'âge de 6 mois.

Les éleveurs s'orientent vers des productions avec label de qualité, du type Veau d'Aveyron, de Saint-Etienne ou de Lyon. C'est un intermédiaire entre le veau « sous la mère » et la viande rouge : le veau reste avec sa mère, mais a accès à des aliments concentrés dont des céréales en plus du lait, de manière à produire une viande rosée et développer du gras, avant d'être abattu à l'âge de 8-10 mois environ. Ces productions sont minoritaires, généralement associées à des filières de qualité et traditionnelles dans certains bassins.

Certains éleveurs choisissent de pratiquer « la repousse », c'est-à-dire que le veau est nourri à l'intérieur, dans son élevage d'origine avec des céréales et des fourrages jusqu'à atteindre un poids de 350-450kg. Cette pratique permet une prise de poids des animaux, ce qui facilite la vente de veaux de meilleur format, en plus de l'accès à certaines primes.

Enfin, il existe des engraisseurs de jeunes bovins c'est-à-dire un bovin mâle âgé de 12 à 24 mois (Remongin, 2019). Ils produisent des taurillons semi-finis (abattus à 24 mois) ou finis (30-36 mois). L'élevage alterne entre périodes de stabulation et de pâture. Il s'agit d'un processus long avec un GMQ faible, technique, et chronophage qui tend à se raréfier et à se spécialiser

dans les filières de qualité. Les engraisseurs stricts achètent des broutards à des naisseurs, et sont spécialisés dans des ateliers d'engraissement ; ces systèmes sont préférentiellement localisés dans le grand Ouest et le Massif Central.

Le schéma ci-dessous résume l'organisation globale des différents systèmes allaitants :

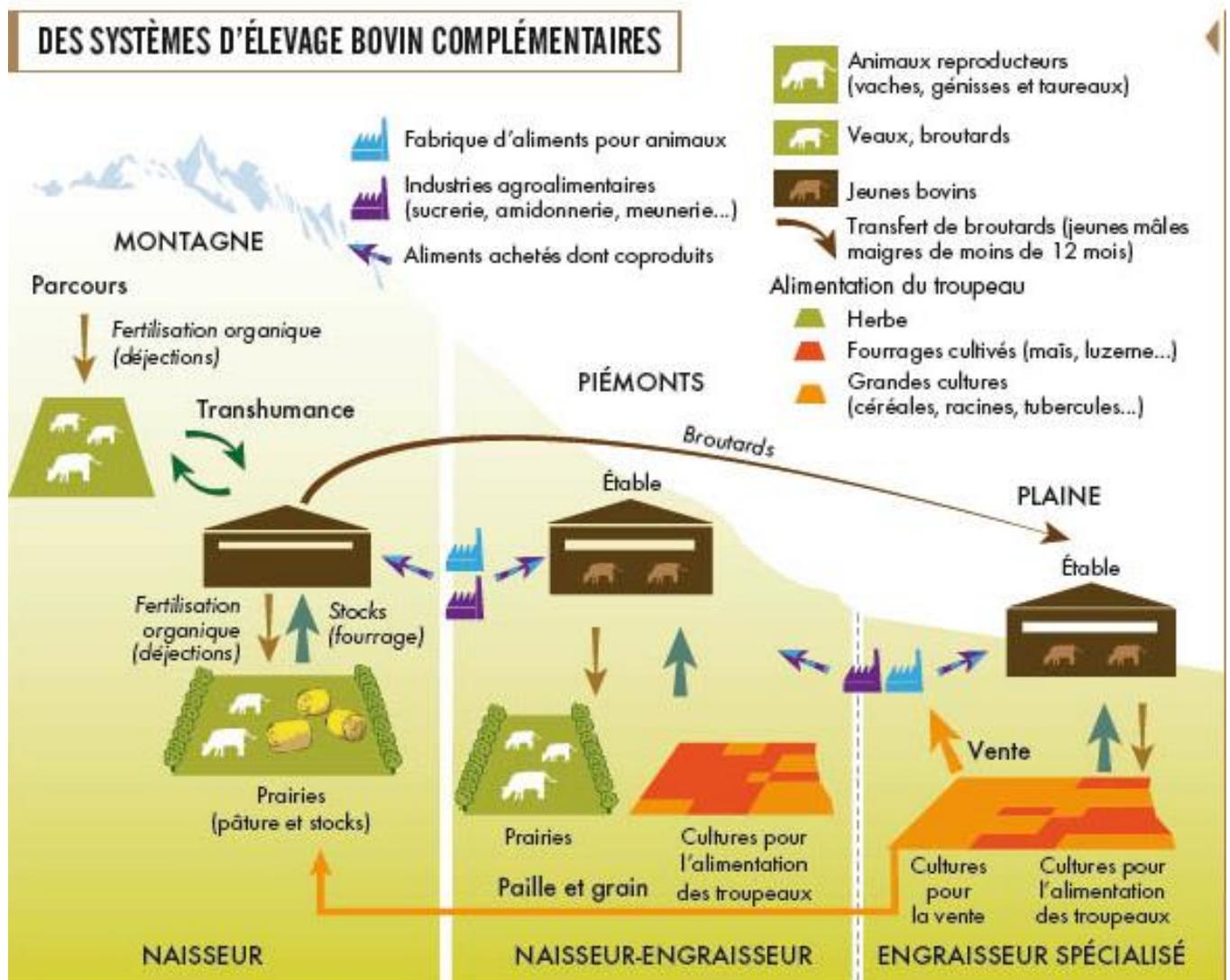


Figure 32 : Organisation de la filière d'élevage bovin en France – Source : L'Atlas de l'élevage herbivore en France, Interbev

Il existe donc des régions plus ou moins spécialisées dans tel ou tel mode de production avec la région du Massif Central jusqu'au piémont pyrénéen pour le naissage (vert et bleu sur la figure 33), le croissant laitier pour l'activité viande du troupeau laitier, et le grand Ouest pour l'engraissement (rouge et jaune) (Geffroy & Reffay, 2015).

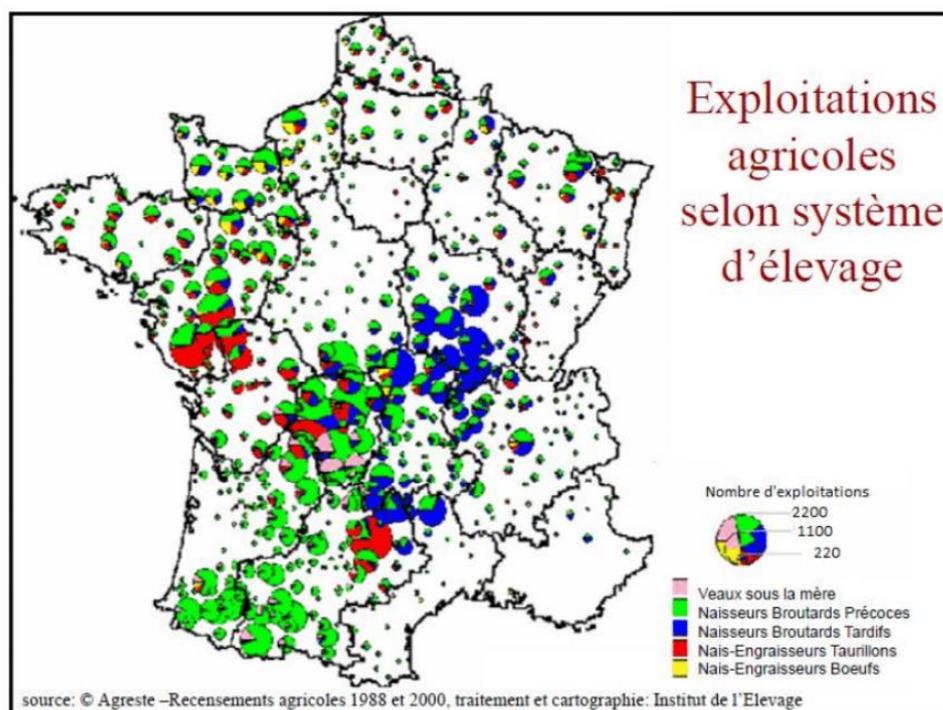


Figure 33 : Carte de la répartition géographique des exploitations agricoles selon le système d'élevage – Source : Agreste

Les différents types d'ateliers constituent des entités spécifiques fortement liées au contexte, à la structure et à leur organisation. L'adaptation aux conjonctures est plus ou moins bonne en fonction du type. En particulier, le marché laitier s'avère être de plus en plus volatile et incertain, ce qui entraîne aussi des conséquences sur la filière allaitante (production de viande liée au nombre de vaches laitières abattues). Il n'existe actuellement pas de maîtrise des volumes (nombre d'animaux élevés, abattage, etc.). La filière se trouve donc dépendante de l'export et peut difficilement s'adapter au flux comme une augmentation subite du nombre de jeunes bovins, dont les produits sont peu consommés en France et qui ne correspondent pas aux attentes de ces consommateurs, ce qui a pour conséquence une baisse des prix de vente par excès de l'offre.

Le constat est donc un manque structurel pour faire face aux aléas du marché avec une filière peu intégrée entre ses différentes composantes, et un manque de vision partagée de ses acteurs. L'achat de carcasses sur des critères de conformation plutôt que de qualité et de destination, outre l'absence de détermination d'un prix au départ de la ferme, ne favorise pas la garantie d'un produit de qualité (*Plan de la filière viande bovine, Interbev [2017]*) dont la rémunération serait garantie.

C'est la raison pour laquelle la filière bovine française devrait s'imposer une organisation plus rigoureuse du fait de sa complexité, de la mise en production de viande bovine française centrée sur la vente d'animaux vivants et l'abattage régulé. (Geffroy & Reffay, 2015).

- Principe de l'engraissement

La France, comme présenté précédemment, est une terre d'élevage. La diversité de ses systèmes, lui donne un caractère polyvalent. Les régions, avec leurs caractéristiques géographiques variées accueillent des élevages de toute taille et dont la spécialisation est plus ou moins poussée. Les exploitants sont catégorisés en Organismes Technico-Economique des Exploitations (OTEX) selon les orientations technico-économiques de la statistique agricole. C'est ainsi que l'on nous pouvons retrouver des élevages spécialisés, en production allaitante ou laitière ; d'autres ont une activité mixte entre viande et lait, ou même une situation de polyculture-élevage. Dans le dernier cas de figure, les éleveurs exploitent des cultures, notamment de céréales, qu'ils peuvent vendre ou utiliser pour l'alimentation des animaux qu'ils élèvent. C'est le cas notamment de certains ateliers d'engraissement. L'engraissement, qui a pour objectif de valoriser les produits (veaux sevrés, vaches de réforme), repose sur une alimentation riche afin d'atteindre rapidement un poids d'abattage prédéterminé. (Bailly, 2011)

Le graphique ci-dessous présente les coûts de production dans chacune des quatre catégories (naissances, naisseur-engraisseurs avec ou sans achats, et les engraisseurs stricts). Il est important de noter la diversité de répartition des charges de ces différents ateliers car elle conditionne l'incertitude de leur rentabilité. En effet, plus un éleveur va être dépendant de facteurs extérieurs, notamment l'achat de matières premières (animaux, céréales, etc..), plus un prix de vente garanti sera nécessaire. La maîtrise économique d'une part, en lien avec la technicité, est fragile mais indispensable pour assurer leur rentabilité, d'autant plus que les ateliers d'engraissement, qui semblent avoir une meilleure rentabilité, sont aussi les plus dépendants des cours du marché.

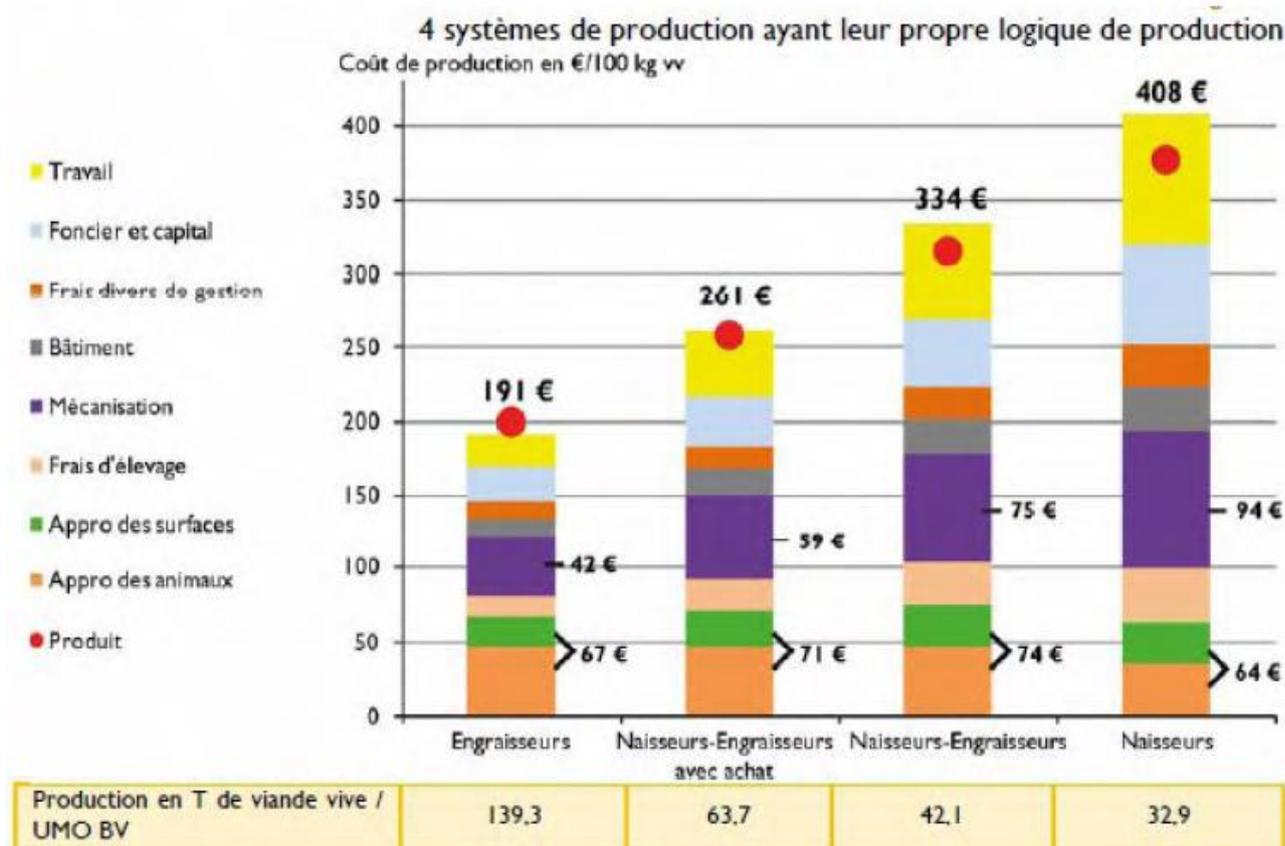


Figure 34 : Schéma de présentation de la répartition des coûts en fonction des types d'ateliers
– Source : EFFIBOV

Une autre catégorie d'atelier, le modèle « *feedlot* » est retrouvée, en particulier, outre-Atlantique (Etats-Unis, Brésil, Argentine, Mexique...) et dans quelques pays européens (Italie, Espagne). Ce terme vient en anglais de « *feed* » (nourrir) et « *lot* » (terrain) et correspond à « un ensemble de parcs en plein air pour l'engraissement intensif des bovins » (Larousse [2021]).

- La spécialisation régionale

Ces différents maillons de la filière allaitante ne se trouvent généralement pas dans les mêmes bassins géographiques. En effet, comme indiqué précédemment, les élevages naisseurs se trouvent majoritairement dans les zones rurales, à forte pluviométrie, avec des contraintes géographiques (altitude, terrain accidenté) où l'élevage extensif est prioritaire, comme les bassins charolais, limousin et le Sud-Ouest de la France.

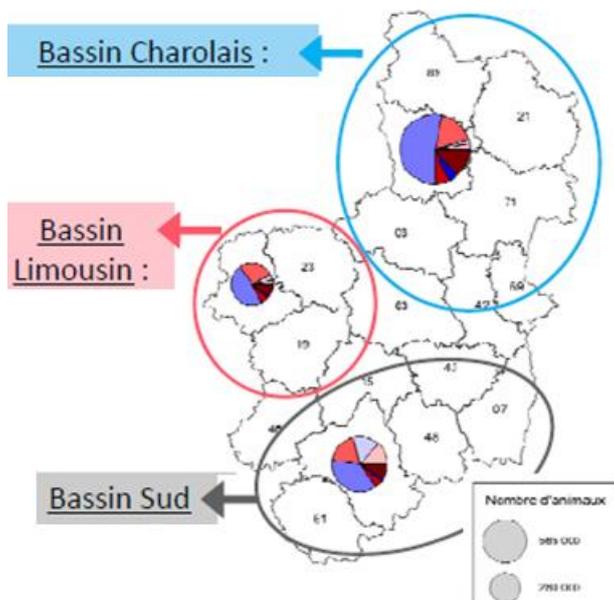


Figure 35 : Carte des principaux bassins producteurs de brouards en France -Source : BDNI 2011 – Traitement institut de l'élevage

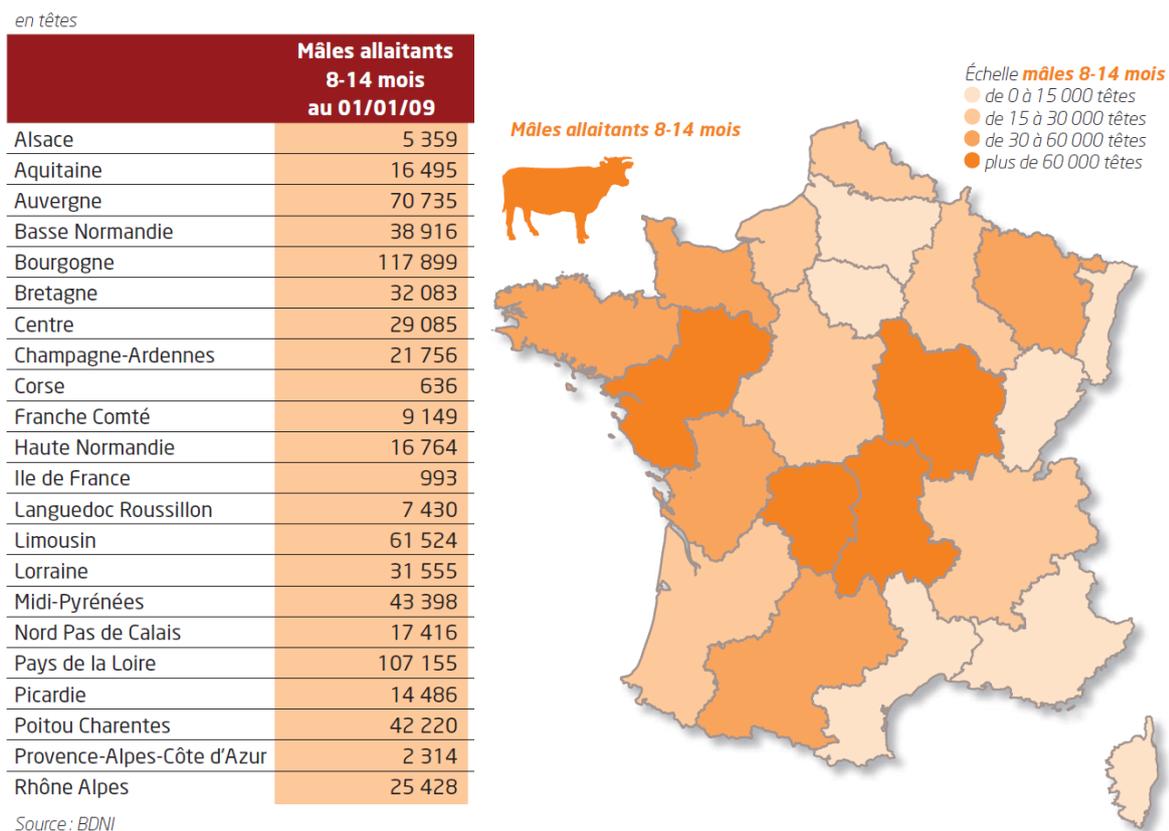


Figure 36 : Répartition géographique des bovins mâles de race allaitante de 8 à 14 mois France -Source : BDNI, Agrimer 2010

A l'inverse, les élevages engraisseurs ont plutôt tendance à se concentrer dans des régions où la topographie est plane, avec une agriculture plus intensive, orientée notamment vers la céréaliculture et avec une bonne intégration dans le réseau autoroutier. C'est le cas du Nord-Ouest de la France ou des plaines de Bourgogne.

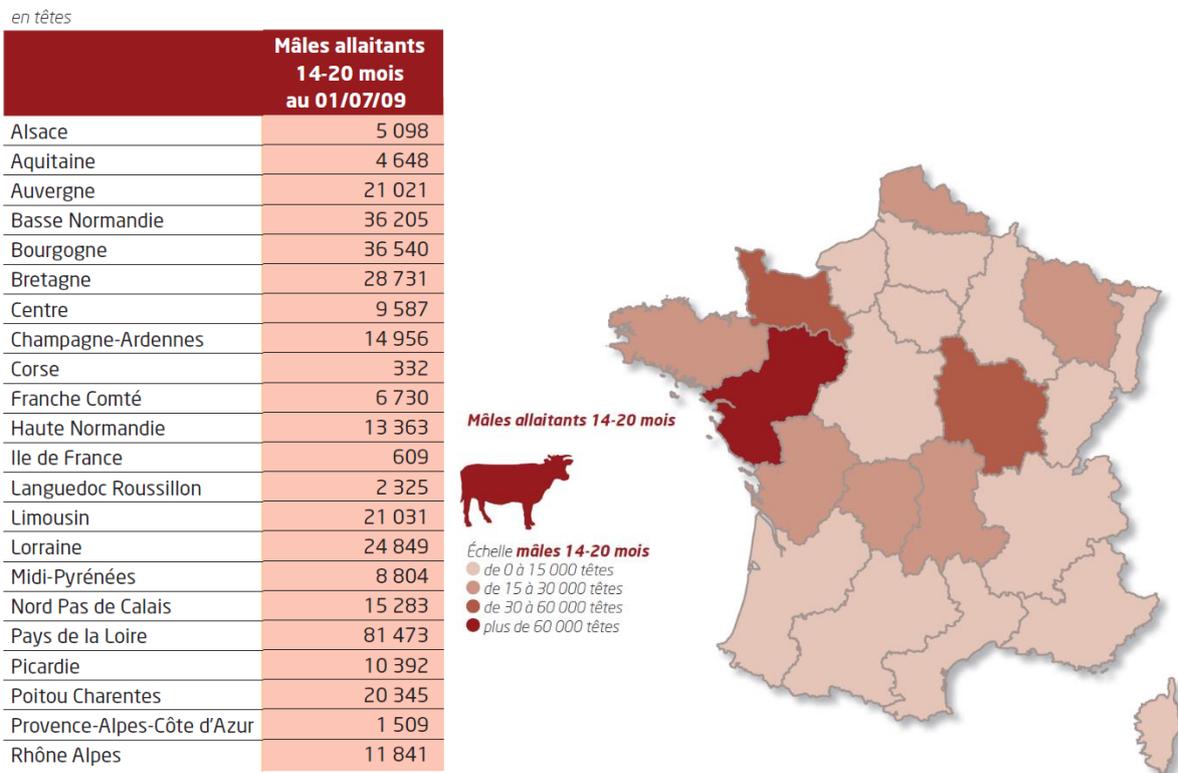


Figure 37 : Répartition géographique des bovins mâles de race allaitante de 14 à 20 mois en France – Source BDNI, Agrimer 2010

- Les facteurs zootechniques propres à cette filière

Allotissement

La mise en lot ou allotissement des animaux est une étape clé pour l'organisation ultérieure de l'engraissement. L'enjeu de cette mise en lot est de former des groupes homogènes, le nombre d'animaux étant déterminé par la place disponible dans l'élevage engraisseur destinataire.

Le mode de fonctionnement est donc de réaliser une conduite en bandes. Elle peut se faire selon deux modalités : soit en maintenant les animaux entre congénères du même élevage d'origine, ce qui est fréquemment le cas dans les ateliers de type naisseur-engraisseur qui repoussent les broutards de l'année. L'avantage de ce système est de diminuer les facteurs de

stress liés au transport et au mélange d'animaux de différents élevages, en maintenant les interactions sociales pré-établie.

Dans le cas d'animaux transportés vers des centres d'engraissement ou vers des élevages engraisseurs spécialisés, les broutards récemment sevrés sont collectés par un négociant dans des élevages allaitants, qui sont parfois relativement éloignés géographiquement. Puis, les bovins sont transportés sur des distances plus ou moins longues, vers des centres d'engraissement. Pour leur approvisionnement en bovins, les éleveurs peuvent aussi faire appel à des coopératives. Elles sont impliquées dans plus de la moitié des mouvements d'animaux en France. Elles achètent des broutards à de multiples élevages naisseurs, pour constituer des lots dans les centres de tri, et ensuite les placer dans des élevages engraisseurs. Les bovins vont être ré-allotés en fonction de leur poids à l'arrivée. En effet, trier les animaux sur ce critère permet une meilleure gestion du potentiel de croissance individuelle avec un écart à la moyenne du lot le plus faible possible pour obtenir des poids homogènes après finition. (Mounier et al., 2004)

Les bâtiments d'élevage

La conduite d'élevage en élevage allaitant peut être réalisée de deux manières : en « plein air » c'est-à-dire en pâture exclusive, ou bien, en bâtiment. Dans le deuxième cas, les animaux passent généralement l'hiver en stabulation et sortent en pâture l'été. Le choix de l'éleveur de mener ses animaux en bâtiment est motivé par plusieurs aspects : le bâtiment permet de mettre les animaux à l'abri, notamment pour les protéger contre les précipitations, faciliter la surveillance, améliorer la gestion et la distribution de l'alimentation des animaux.

L'implantation des bâtiments est primordiale, notamment pour assurer une bonne ventilation. L'implantation doit se faire de préférence à 15 m de tout obstacle (haie, bâtiment...) pour éviter le détournement des flux d'air. Il faut éviter les fonds de vallon et les sommets de collines ou de coteaux.

La taille doit être suffisante pour assurer une densité animale optimale, mais la longueur ne devrait pas dépasser 20 m. La densité maximale pour les jeunes bovins de moins de 600 kg doit être de 4,5 m², et pour ceux de plus de 600 kg, 5 m² répartis entre aire de couchage et aire d'exercice. Pour une aire paillée intégrale, il faut compter environ 6 m² par animal.

La ventilation doit idéalement être statique, avec notamment des entrées d'air et un faitage ouvert pour permettre la sortie et le renouvellement de l'air. A propos des longs pans,

ils doivent être inférieurs à 2 m pour une paroi fermée contre plus de 2 m en paroi ouverte. Le curage de la litière doit être réalisé régulièrement. Les aires d'alimentation et les abreuvoirs doivent être nettoyés régulièrement pour ralentir le développement de pathogènes et réduire la transmission.

Enfin, le paillage (sur aire paillée) doit être au minimum de 2 à 3 kg de paille par m² et par jour. La température doit être maîtrisée autour de 20°C, sans de trop fortes élévations, elle est étroitement liée à l'humidité et à la vitesse de l'air.

En hiver, l'objectif est de renouveler l'air sans créer de courant d'air, notamment au contact des animaux. Cela va favoriser l'élimination de la transpiration, de l'ammoniac produit ou libéré, tout en empêchant les courants d'air froid qui peuvent favoriser l'apparition des troubles respiratoires. L'objectif est d'avoir une bonne circulation de l'air pour maintenir une température, un taux d'humidité, une propreté et un assèchement de la litière confortable pour les animaux.

L'été, avec l'augmentation de la température extérieure, le but est de rafraichir les animaux notamment en début d'après-midi. Pour cela, il faut augmenter la ventilation soit par le retrait de filets brise-vent par exemple, l'ouverture de portes pour favoriser le flux naturel ou ajouter une ventilation mécanique, comme des ventilateurs au-dessus des aires paillées. La qualité de la ventilation peut être vérifiée par la mesure de la circulation de l'air, notamment par l'utilisation de fumigènes.



Figure 38 : photographie d'un bâtiment d'engraisement de jeune bovin de race charolaise –

Source : Mounaix 2020

L'alimentation

De nombreuses études se sont intéressées à l'alimentation des jeunes bovins pendant l'engraissement. Les modalités d'alimentation de ces animaux fait débat car la valorisation des surfaces en herbe pour engraisser des jeunes bovins à partir de fourrages, est en forte opposition avec une alimentation à base d'ensilage de maïs dont le coût de production varie selon l'état du marché.

L'observatoire NEOBIF a comparé trois rations avec une ration de référence à base de maïs. La ration est distribuée avec une mélangeuse, à volonté, est composée de : 73% d'ensilage de maïs, 12,5% de tourteau de soja, 10% de triticales sous forme aplatie, 3% de paille, 1,5% de CMV. La seconde est à base d'ensilage d'herbe comme seul fourrage, complétée avec du triticales et du soja. Enfin, une troisième, mixte (2/3 d'ensilage de maïs, 1/3 d'ensilage d'herbe) est décrite pour l'engraissement de broutards charolais. (BASTIEN, 2016)

Ration Composition (% en brut)	« Ensilage de maïs »	« Ensilage d'herbe »	« Mixte »	« Successif »	
				Période 1 : 4 à 5 mois	Période 2 : 4 à 5 mois
Ensilage de maïs	73%	-	48%	Ration herbe	Ration maïs Transition sur 4 semaines
Ensilage d'herbe	-	60%	22%		
Tourteau de soja	12,5%	8%	10%		
Triticale	10%	27%	15%		
Paille	3%	3,5%	3,5%		
CMV	1,5 %	1,5	1,5		

Figure 39 : Tableau de présentation de la ration utilisée par l'observatoire NEOBIF – Source : NEOBIF

De plus, l'énergie métabolisable (EM), les Unité Fourragère Viande (UFV), les Protéines Digestibles dans l'Intestin grêle (PDI) et leurs rapports ont été calculés.

Série 1	Maïs	Herbe	Mixte
Effectif	13	13	24
Consommations			
EM (kg MS)	8,4	-	5,1
EH (kg MS)	-	6,1	2,3
Soja (kg)	1,3	0,9	1,1
Céréale (kg)	1,0	3,1	1,8
Paille (kg)	0,3	0,3	0,3
Bilan (kg MS/j)	11,2	10,6	10,8
UFV/kg MS	0,84	0,83	0,83
PDI/UFV	105	101	103

Figure 40 : Tableau des consommations de la ration en fonction des séries – Source : NEOBIF

Pour chacune de ces rations, la durée d’engraissement depuis la mise en lot a été enregistrée, comme le montre le graphique suivant :

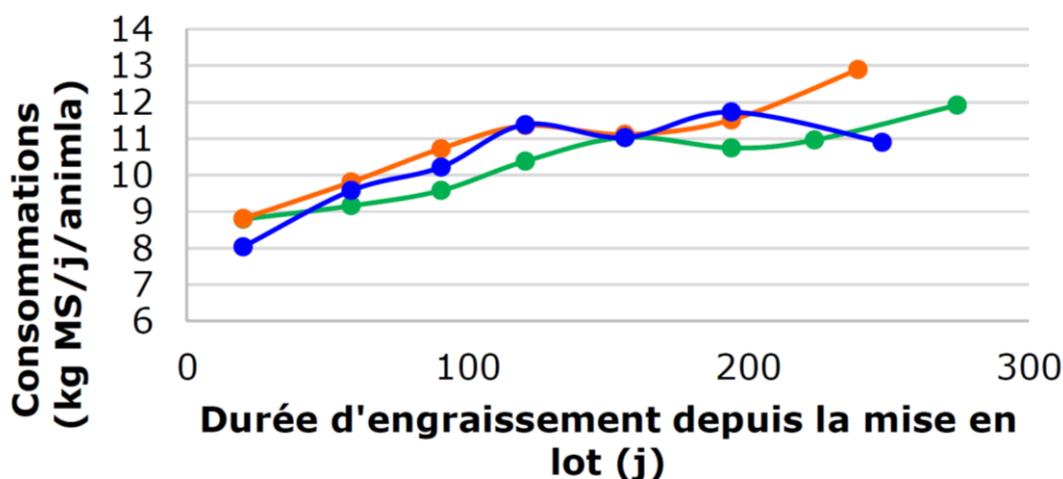


Figure 41 : Evolution des consommations journalières par rapport à la durée d’engraissement en fonction des séries étudiées – Source : NEOBIF

On note une consommation légèrement inférieure des rations à base d’herbe, avec une consommation de la ration mixte proche de celle de référence. En outre, malgré des tendances similaires, il y a une dégradation des ratios PDI/UF pour les rations à base d’herbe et mixte. L’étude s’intéresse ensuite au poids vif à l’abattage par rapport à la durée d’engraissement. On note un léger allongement du temps d’engraissement (38 jours) pour une baisse de GMQ de 268 g par rapport à la ration de référence à base de maïs.

Série 1	Maïs	Herbe	Mixte
Effectifs	13	13	24
Poids début (kg)	436	411	428
Durée eng (j)	225	275	242
Poids vif abattage (kg)	748	751	753
GMQ engraissement (g/j)	1393	1241	1355
IC (Kg MS/ kg gain)	8,1	8,6	8,0

Figure 42 : Tableau des résultats zootechniques en fonction des rations distribuées – Source : NEOBIF

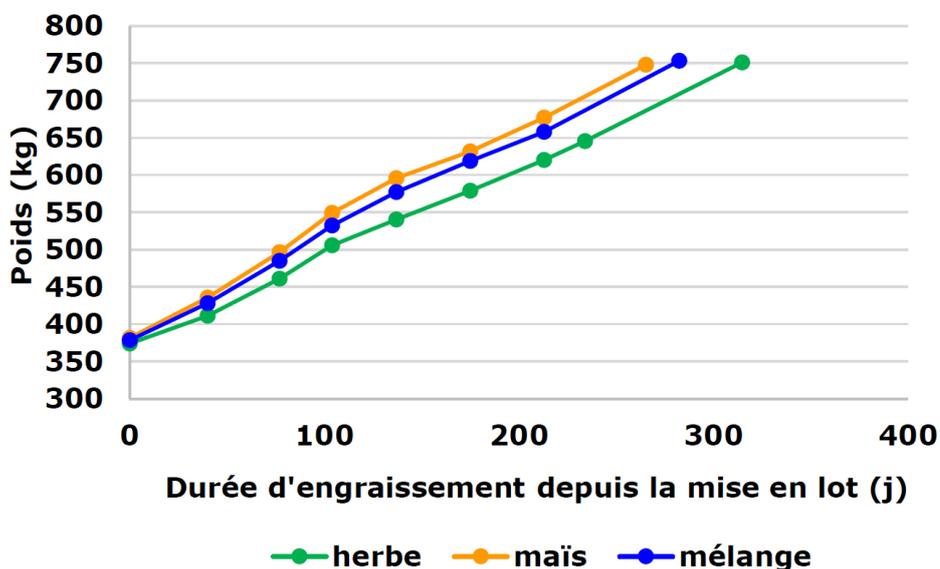


Figure 43 : Evolution du poids (en kg) par rapport à la durée d'engraissement en fonction des séries étudiées – Source : NEOBIF

Ces données permettent de calculer l'indice de croissance (IC), qui correspond à la quantité (en kg) de matière sèche fournie par rapport au gain de masse musculaire. Il s'avère qu'il est nettement supérieur pour la ration composée d'herbe (8,6) que pour celle à base de maïs (8,1,) soit une augmentation de quasiment 6% $((8,6-8,1/8,6) * 100)$.

A l'abattage, les jeunes bovins engraisés avec une ration à base d'herbe sont plus maigres (1% par rapport à 1,6%) mais on n'observe pas de différence de rendement, de conformation, ni de couleur.

Série 1	Maïs	Herbe	Mixte
Effectifs	13	13	24
Age abattage (mois)	17,8	19,4	18,4
Poids carcasse (kg)	436	436	428
Rdmt carcasse (%)	59,2%	58,5%	59,1%
Etat engraissement	2,9	2,6	2,8
% gras	1,6%	1,0%	1,5%
Conformation	12,6 R+/U-	12,8 R+/U-	12,8 R+/U-

Figure 44 : Tableau des résultats à l'abattage en fonction des rations distribuées – Source : NEOBIF

En revanche, d'un point de vue qualitatif, la viande des bovins engraisés avec la ration à base d'herbe semble plus appréciée. En effet, d'un point de vue organoleptique d'un côté, la viande apparaît plus tendre, et d'un point de vue nutritionnel, aurait un profil en acides gras plus favorable. (Mounier et al., 2004)

A l'issue de cette étude, la conduite préconisée par NEOBIF serait l'utilisation de légumineuses fourragères comme la luzerne, le trèfle violet pour remplacer les sources de protéines comme le tourteau de soja. Pour des rations initialement à base de blé, les légumineuses peuvent remplacer le tourteau de soja à la condition que les fourrages soient de bonne qualité. Les auteurs recommandent aussi l'ajout d'herbe (sous forme d'ensilage notamment) dans les rations soit comme complément protéique, soit comme fourrage de base. Ils émettent aussi l'idée d'utiliser le sorgho comme alternative à l'ensilage de maïs afin d'alléger le poids des carcasses, à 360-380 kg pour les bœufs Salers et 380-400 kg pour les autres races, lorsqu'ils sont destinés au marché français, et 420-440 kg s'ils sont à destination de l'export.

Une autre étude compare elle aussi les performances zootechniques de jeunes bovins de race Limousine à l'engrais pour les années 2015 et 2017, avec comme objectifs : un Gain Moyen Quotidien (GMQ) de 1,45 kg/jour, abattage à l'âge de 16-18 mois et un poids carcasse de 390 kg. L'étude compare une ration unique à base d'ensilage d'herbe (R-U) à une ration contenant de l'herbe jusqu'à 450 kg de poids vif, puis une finition avec du maïs (R-CF). Les conclusions de l'étude sont telles que les performances zootechniques sont similaires pour les

deux rations avec aucun effet significatif du changement de conduite. Avec des veaux de bonne valeur génétique, la ration R-U s'avère avoir même de meilleurs résultats. La valorisation des surfaces en herbe pour l'engraissement est une alternative non seulement d'un point de vue zootechnique mais aussi d'un point de vue de la résilience du système d'élevage, de réduction des intrants, de la biodiversité et du maintien des paysages et des territoires (Saillet, 2010).

Cependant, à l'échelle d'un système, d'autres variables sont à prendre en compte notamment les surfaces en herbe disponibles, le prix des céréales (maïs, etc.) et des protéines, la qualité des fourrages, le coût des intrants. (Mounier et al. 2004)

1.2 Les troubles sanitaires des jeunes bovins à l'engrais

Les principaux troubles sanitaires dans les ateliers d'engraissement sont les maladies respiratoires d'origine infectieuse. Les troubles respiratoires font partie des syndromes les plus fréquemment rencontrés en médecine bovine. De la naissance à l'âge adulte, les bovins sont particulièrement sensibles aux infections respiratoires. En effet, étant donné leur anatomie et leur physiologie, les bovins ont une plus grande prédisposition à développer des troubles respiratoires par rapport aux autres mammifères. Les bovins, avec leur faible capacité respiratoire basale et leurs poumons de faible volume par rapport à leurs besoins métaboliques en font des animaux particulièrement exposés. De plus, les lobules pulmonaires sont séparés par des cloisons interlobulaires peu perméables aux échanges gazeux, car les bovins possèdent peu de pores de Kohn, la perméabilité inter-alvéolaire est faible, et l'interface avec l'air extérieur est favorisée. Ceux-ci sont aussi plus sujets à l'hypoxie localisée dans le poumon distal où les bronchioles terminales, notamment lors d'obstructions des voies respiratoires du fait de la compartimentation de l'appareil respiratoire. (Buczinski & Pardon, 2020)

Les maladies respiratoires bovines (MRB) ou complexe respiratoire bovin (CRB) est un problème de santé majeur dans les troupeaux bovins. Il entraîne une augmentation des taux de morbidité et de mortalité. Il est consécutif à l'infection du tractus respiratoire bas (trachée, poumons) par des agents infectieux viraux et bactériens, simultanés ou consécutifs (Gay & Barnouin, 2009). Cette infection provoque une inflammation qui résulte d'une interaction entre agents pathogènes et réponse de l'hôte, en présence de facteurs de risque qui affaiblissent les mécanismes de défense ou facilitent la propagation des agents entre animaux et augmentent l'exposition. (Pardon et al., 2020).

En plein air, la pression infectieuse étant moindre, l'incidence des troubles respiratoires est faible, mais dès que le système d'élevage conduit au regroupement des animaux, notamment

en stabulation, avec une densité animale augmentée, les problèmes d'ordre respiratoire deviennent majeurs. D'une part d'un point de vue technique, concernant la surveillance, l'isolement et le traitement des animaux malades, les MRB augmentent la charge de travail par rapport à des animaux sains. Concernant l'aspect économique, que ce soit par un retard de croissance des animaux et donc un manque à gagner sur les ventes (poids ou conformation à l'abattage), des coûts de main d'œuvre, des frais médicaux, les troubles respiratoires entraînent une augmentation des coûts de production. Enfin d'un point de vue du bien être animal, de la réduction de l'utilisation des antibiotiques et dans une démarche *one Health*, la prévention, la réduction de la propagation et le contrôle des problèmes respiratoires sont un défi prioritaire de la médecine vétérinaire aujourd'hui.

Le diagnostic étiologique de ces maladies est difficile en l'absence d'examen complémentaires. Différentes méthodes de prélèvement (écouvillon nasopharyngé, lavage transtrachéal et lavage broncho-alvéolaire non endoscopique) et d'analyses (culture, bactériologie, PCR) se démocratisent, même parmi les praticiens, en particulier pour le diagnostic à l'échelle du groupe. (Pardon et al., 2020) Les professionnels de la filière (vétérinaires, éleveurs, groupements de producteurs,) souhaitent disposer d'une base de données pour mesurer l'impact des composantes de ces troubles de santé dans une démarche raisonnée de l'utilisation des outils prophylactiques et métaphylactiques. (Bareille et al., 2008)

Malgré l'impact global des MRB aux différents stades physiologiques, nous allons nous focaliser sur son importance durant la phase d'engraissement, du sevrage jusqu'à l'abattage. En effet, en raison de l'augmentation de la densité animale, du mélange d'animaux souvent d'origines diverses, du transport, de la recherche d'une croissance maximale par une alimentation très dense en énergie, les jeunes bovins en engraissement sont particulièrement exposés aux infections respiratoires. L'état actuel des connaissances tend en faveur de facteurs de risque prédisposants qui peuvent jouer un rôle en tant qu'éléments nécessaires mais non suffisants, l'apparition de la maladie étant consécutive à la présence de facteurs dit déclenchants.

Dans un premier temps, nous allons évoquer les causes et l'importance de ces troubles. Nous analyserons ensuite les facteurs de risque, puis les agents étiologiques et enfin la réponse de l'organisme à ces infections.

1.2.1 Origine et importance du complexe respiratoire bovin

- Incidence et prévalence des troubles respiratoires

Le syndrome respiratoire aigu est très fréquent, puisque certaines études ont montré que près de 10% des exploitations étaient touchées par des troubles respiratoires au moins une fois par an, avec une prévalence allant jusqu'à 35% dans certaines études. (Gay & Barnouin, 2009).

	All herds	Beef production	Dairy production	Steer/young bull production	Calf-rearing farms	Other production type
N (%)	260064 (100)	126288 (48.56)	106757 (41.05)	20649 (7.94)	3319 (1.28)	3052 (1.17)
Median herd size (range)	60 (1-1700)	46 (1-1090)	75 (1-960)	11 (1-1683)	199 (1-1700)	63 (1-950)
ABRD vaccination (%)	34593 (13.30)	21842 (17.30)	9720 (9.10)	1919 (9.29)	355 (10.69)	757 (24.81)
ABRD-affected farms (cumulative incidence at herd level) (%)	25390 (9.76)	11318 (8.96)	12387 (11.60)	910 (4.41)	207 (6.24)	569 (18.64)
ABRD cumulative incidence (animal level) (%)	2.06	1.31	3.06	0.96	2.32	5.28
ABRD cumulative mortality (%)	0.06	0.06	0.04	0.04	0.03	0.21
ABRD lethality proportion (%)	6.46	9.67	3.40	8.77	2.90	7.24

Figure 45 : Tableau des caractéristiques principales es élevages français (type de production, taille des élevages, paramètres épidémiologiques des MRB) – Source : Barnouin 2009

Dans une autre étude, datant de 1998, 104 élevages de vaches Charolaise, conservant les mâles après le sevrage pour l'engraissement, ont été suivis. Les données ont été recueillies par enquête rétrospective auprès des éleveurs, soit au total 6477 veaux enrôlés dans l'étude, (avec en moyenne 62 veaux par élevage) pour une exposition moyenne de 108 jours. Le nombre de cas de maladies respiratoires étaient de 1327, soit une moyenne de 13,8 cas par élevage et une incidence standardisée de 20,5 cas pour 100 veaux exposés pendant la durée de 108 jours. Les maladies respiratoires sont présentes dans un élevage sur deux, mais les élevages où elles apparaissent sont fortement touchés : près d'un quart dépasse le seuil de 30 cas pour 100 veaux (Figure 46).

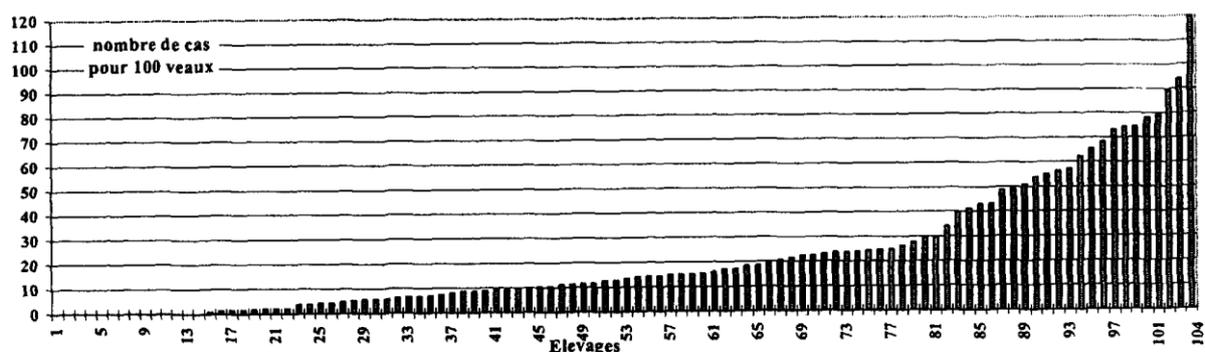


Figure 46 : Graphique de l'incidence des maladies respiratoires au niveau de l'élevage (nombre de cas pour 100 veaux) – Source : Angel 2009

L'étude rapporte une augmentation de la mortalité chez les veaux, laitiers et allaitants de la naissance jusqu'au début de l'engraissement avec pour cause principale, les maladies respiratoires. Les chiffres varient en fonction des études, des pays, des types de production, des méthodes d'évaluation et de recensement, mais la prévalence de la mortalité imputable aux troubles respiratoires semble comprise entre 1,5 et 4,5%. (Angen et al., 2009).

Une troisième étude, s'intéresse à la diversité des systèmes d'élevage en engraissement d'animaux de race bouchère (principalement Charolaise) dans les pays de la Loire. Ainsi, 1167 jeunes bovins ont été inclus dans l'étude, avec 71 exploitations enrôlées, qui se répartissaient comme suit : neuf en système naisseur-engraisseur (aucun achat), 23 en système engraisseur spécialisé (au moins 50% d'achat), et 39 en système engraisseur spécialisé (100% d'achat). Trois situations sanitaires ont été définies : [1] Incidence faible, [2] Incidence modérée observée dans l'échantillon d'étude, [3] Incidence forte (Tableau 1). La situation [1] est considérée comme la situation de référence en matière sanitaire et correspond, en matière de structure, à une exploitation d'engraissement spécialisée. Cette étude montre que l'incidence des troubles subcliniques varie de 11% à 49%, celle des troubles cliniques de 7,5% à 33%, et le taux de mortalité varie de 0,5% à 4% (Bareille et al., 2008).

	[1] Incidence faible	[2] Incidence modérée	[3] Incidence forte
Taux de mortalité (%)	0,5	2	4
Troubles cliniques (%)	7,5	20	32,5
Troubles subcliniques (%)	11,25	30	48,75

Figure 47 : définition des situations sanitaires d'exploitation simulées en termes de mortalité et de morbidité pour troubles respiratoires – Source : Bareille 2008

- Conséquences zootechniques des MRB

Dans le cas des jeune bovins (JB) en engraissement qui ont eu des troubles de santé avec expression clinique, en particulier respiratoires, une diminution des performances de croissance est observée. Cette diminution est objectivée pour les animaux malades par une baisse du GMQ lors de la période d'engraissement, ou un allongement de la durée de cette période (de 30 à 60 jours, selon la sévérité des signes cliniques), notamment pour atteindre le poids d'abattage

initialement fixé. Les performances de croissance sont d'autant plus affectées que les signes cliniques sont marqués. Par exemple, des bovins ayant présenté des signes d'intensité forte, du type détresse respiratoire, avaient des GMQ encore plus faibles, pour une différence jusqu'à -110g/j. (Bareille et al., 2008).

C'est aussi ce que rapporte la littérature : la différence de GMQ entre animaux sains et malades varie en fonction des études mais est comprise entre -20g/j et -60g/j en *feedlot*, et -70g/j à -187g/j dans le contexte des élevages français. Plus encore, la comparaison des performances des JB élevés en lots sains avec des JB malades était également défavorable ; en outre, la baisse de GMQ (jusqu'à -40g/j par rapport à des JB ne cohabitant pas avec des malades, laisse penser à une atteinte subclinique de bovins non détectés cliniquement mais au contact des animaux malades (Figure 48). Cette constatation a amené les auteurs à intégrer qu'il y avait 1,5 fois plus de JB atteints d'une forme subclinique que de bovins identifiés comme malades, ce qui est retrouvé par ailleurs dans la littérature : de 0,8 à 5 avec une valeur médiane à 1,5. Enfin les carcasses semblent légèrement moins bien conformées, le classement étant corrélé à l'intensité des signes cliniques. (Bareille et al., 2008)

Statut sanitaire du JB	GMQ (g/j)	Durée engraissement (j)	Poids vif à l'abattage (kg)	Poids de carcasse (kg)	Classement de carcasse
<i>Vis-à-vis des troubles respiratoires</i>					
Sain faisant partie d'un lot sans malade (bovin charolais)	1442	276	722	419	U=U-
Sain faisant partie d'un lot avec malade(s)	-41	+33	+6	+4	U-
Malade avec SC ¹ d'intensité faible	-68	+58	+7	+4	U-R+
Malade avec SC ¹ d'intensité intermédiaire	-61	+44	+7	+1	U-R+
Malade avec SC ¹ d'intensité importante	-108	+59	+16	+5	R+
<i>Vis-à-vis des autres troubles de santé à expression clinique</i>					
Malade	-189	+31	-49	-29	R+

¹ : signes cliniques ; les valeurs mentionnées en italique ne sont pas significativement différentes des valeurs rapportées pour les JB sains

Figure 48 : effet des troubles de santé sur le GMQ de la mise en lots à l'abattage, la durée d'engraissement, le poids vif à l'abattage, sur le poids et la conformation de la carcasse chez 810 jeunes bovins à performances connues – Source : Bareille 2008

- Conséquences économiques des MRB

Une croissance réduite ou retardée a des conséquences économiques. Plusieurs facteurs entrent en jeu et doivent être pris en compte pour estimer les pertes dans le contexte d'une situation sanitaire dégradée. Tout d'abord, les pertes sont liées à la diminution de la quantité et de la qualité des produits avec un manque à gagner sur la commercialisation : les animaux morts

non commercialisés et les carcasses dépréciées les charges, consenties pendant la phase d'élevage (achat, alimentation, logement, etc) ; avec *a contrario*, une baisse de ces charges pour les animaux morts pour la période qui restait à courir jusqu'à la finition.

Il existe aussi une augmentation de certains coûts liés à l'achat et à la mise en oeuvre des traitements (frais vétérinaires, médicaments) ainsi qu'une augmentation des charges dans le cas d'un allongement du temps nécessaire jusqu'à l'abattage (figure 49) conduisant à une baisse de la rentabilité de l'atelier par un séjour prolongé des bovins dans les bâtiments. (Bareille et al., 2008).

<i>Diminution des produits</i>	<i>Augmentation des produits</i>
Valeur des animaux non commercialisés (JB morts) Différence de valeur des animaux commercialisés (classement de carcasse)	
<i>Augmentation des charges</i>	<i>Diminution des charges</i>
Traitements curatifs, honoraires vétérinaires Frais d'alimentation et d'élevage lors de l'allongement de la période d'engraissement des animaux malades	Frais d'alimentation et d'élevage des animaux morts de leur mort à la date prévue d'abattage

Figure 49 : Composantes du budget partiel utilisé pour estimer l'impact économique de situations sanitaires dégradées – Source : Bareille 2008

Pour estimer ces pertes, la figure 50 récapitule les valeurs moyennes des données économiques utilisées dans l'étude citée.

<i>VALEURS ECONOMIQUES</i>	
Prix de vente d'une carcasse de conformation U- et un état d'engraissement moyen (€/kg)	3,3
Prix de vente d'une carcasse de conformation R+ et un état d'engraissement moyen (€/kg)	3,23
Frais d'alimentation et d'élevage (€/JB/jour)	0,63
Coût d'un traitement pour maladie respiratoire (€/JB)	37
<i>PARAMETRES TECHNIQUES</i>	
Allongement de la durée d'engraissement des JB malades cliniquement (j)	30
Allongement de la durée d'engraissement des JB atteints de troubles subcliniques (j)	15
Proportion des JB malades déclassés en R+ (%)	15
Intervalle entre la mise en lots et la mort (j)	60

Figure 50 : valeurs moyennes des données économiques et techniques retenues dans les calculs – Source : Bareille 2008

L'étude rend donc compte de façon approximative mais suffisante pour établir que les MRB ont un impact économique majeur. La perte liée à la mort des JB représente 67% des

effets économiques défavorables (effets qui ne sont que partiellement et faiblement compensés par l'économie réalisée par la baisse des charges d'élevage). La médicalisation représente 16% de la différence, et enfin le manque à gagner suite à la baisse des performances représente 15% de ce montant.

Cela conduit à de lourdes conséquences sur le budget des ateliers d'engraissement, en plus des fluctuations des marchés. En effet, en considérant une incidence modérée, l'impact économique s'élève à 3960 € (soit 11,4% du revenu disponible), et jusqu'à 9162 € (26,3% du revenu disponible), en cas d'incidence élevée. (Bareille et al., 2008).

Type d'effet	Incidence modérée		Incidence forte	
Effets sanitaires et zootechniques				
Nombre de JB morts ou euthanasiés		+2		+5
Nombre de traitements pour troubles respiratoires		+19		+38
Nombre de JB à troubles respiratoires subcliniques		+28		+56
Nombre de JB déclassés en R+		+3		+5
Effets économiques défavorables				
Valeur des animaux non commercialisés	-4255 €	en % ¹	-9899 €	en % ¹
Dépréciation des carcasses classées R+	-2838	66,7	-7095	71,7
Traitements pour troubles respiratoires cliniques	-90	2,1	-151	1,5
Frais d'élevage et d'alimentation lors de l'allongement de la période d'engraissement des animaux malades	-703	16,5	-1406	14,2
idem pour les animaux avec troubles subcliniques	-359	8,4	-718	7,3
	-265	6,2	-529	5,3
Effets économiques favorables				
Ration des animaux morts	+295 €		+737 €	
	+295		+737	
Variation du revenu annuel disponible				
En valeur (€)		-3960		-9162
En pourcentage (%)		-11,4		-26,3

¹ : par rapport au total des effets économiques défavorables

Figure 51 : Effets sanitaires, zootechniques et économiques simulés de situations sanitaires dégradées pour une exploitation-type exprimés en déviation par rapport à la situation d'incidence faible – Source : Bareille 2008

1.2.2 Facteurs de risque

- Facteurs liés au système d'élevage naisseur

Caractéristiques de l'élevage

Plusieurs caractéristiques concernant le système d'élevage naisseur sont scrutées car elles constituent des facteurs de risque qui s'ils sont correctement pris en compte, permettent de réduire l'apparition des troubles respiratoires : le nombre d'UGB, la proportion de

primipares, la proportion de vêlage d'automne, le nombre d'animaux achetés pour 100 vêlages, la distribution de concentrés aux vaches et l'apport précoce d'ensilage aux veaux. Ces facteurs sont classés à partir de leurs *odds ratio* qui est défini comme le rapport de deux probabilités qu'un événement se produise dans deux groupes respectifs (A et B). Une ration inférieure à 1 (et supérieur à 1 respectivement) signifie que l'événement est moins fréquent dans le groupe A que dans le groupe B, s'il est égal à 1 l'événement est aussi fréquent dans les deux groupes.

Tableau 1
Niveau d'analyse élevage, facteurs liés au risque de maladies respiratoires (modèle logistique)

Facteurs	Elevages	Comparaison entre incidences de la maladie : odds ratio (p)		
		Moyenne/ faible	Forte/moyenne	Forte/faible
Nombre d'UGB viande bovine	<100	32%		1
	100< ≤150	37%		0,22 (0,04)
	>150	31%		NS
Proportion de primipares	0-30%	74%	1	
	30-100%	26%	3,96 (0,03)	
Proportion de vêlages d'automne	0-30%	34%	1	
	30-70%	44%	3,22 (0,06)	
	70-100%	32%	3,48 (0,07)	
Animaux achetés pour 100 vêlages	0 - 4,7	64%		1
	>4,7	36%		5,37 (0,01)
Distribution de concentré aux vaches	< 500 g/j	34%		0,33 (0,01)
	≥ 500 g/j	66%		1
Apport précoce d'ensilage de maïs au veaux	non	34%		1
	oui	66%		0,29 (0,06)

NS : non significatif

Figure 52 : Niveau d'analyse élevage, facteurs liés au risque de MRB (modèle logistique) – Source : Bouet 1999

Dans un atelier allaitant, l'effectif est défini par le nombre d'unités gros bovin (UGB), qui correspond à une vache laitière de 600 kg, consommant 4 500 kg de MS (matière sèche) par an et présente toute l'année sur l'exploitation agricole. Pour une vache allaitante, l'UGBAG est de 0,850. Un élevage de 100 UGB correspond à environ 118 vaches allaitantes. Les résultats ne montrent pas d'influence du nombre de mères pour un élevage de moins de 100 UGB sur l'incidence des MRB (odds ratio =1), mais une incidence moindre pour un élevage entre 100 et 150 UGB, ce qui correspond à un nombre N de mères compris entre 118 et 177 (odds ratio =0,22) (Bouet et al., 1999).

Concernant l'introduction d'animaux, les résultats montrent que pour une introduction par des achats inférieurs à 4,7 animaux pour 100 vêlages, ce qui est le cas dans 64% des élevages, les auteurs n'observent pas d'influence sur l'occurrence des maladies respiratoires (odds ratio =1). Par contre, nous pouvons noter une augmentation de l'incidence lorsque le nombre

d'animaux nouvellement introduits augmente au delà de 4,7 animaux pour 100 vêlages (odds ratio =[4,61 ; 5,37]) (Bouet et al., 1999)

Conduite de la reproduction

La santé du veau de la naissance au sevrage est étroitement corrélée à la gestion de la gestation, notamment dans le dernier tiers, et plus particulièrement dans le dernier mois. La nutrition tout d'abord va jouer un rôle déterminant dans l'état nutritionnel (l'état d'engraissement, le statut métabolique) de la vache à la mise-bas, ce qui entraînera des conséquences sur le risque de dystocie, la production en quantité et qualité du colostrum, et donc la santé du veau à cause du transfert de l'immunité passive, du poids du veau à la naissance et jusqu'au sevrage.

Tous ces facteurs vont donc jouer sur la résistance du jeune face aux agents infectieux, sur sa croissance, etc. (Engelken, 2020). La gestion des premières semaines de vie est elle-aussi capitale dans l'assurance d'une bonne santé du veau et plus tard du jeune bovin. En effet, les entérites néonatales exercent une influence sur l'incidence des troubles respiratoires et la résistance globale du veau aux infections. C'est la raison pour laquelle, le programme de prévention doit être complet.

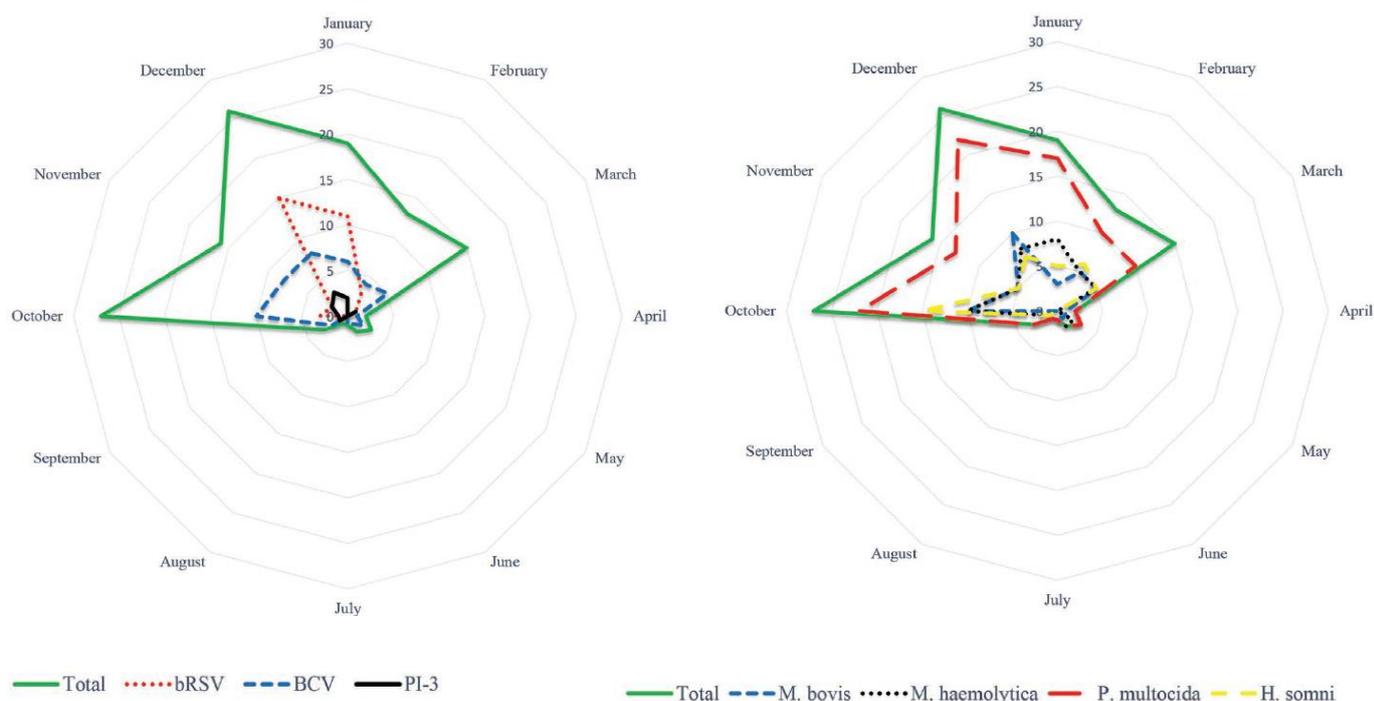
La proportion de primipares semble avoir un impact sur l'incidence des MRB. En effet, les cheptels ayant une proportion de 30% à 100% de primipares, ce qui correspondait à 26% des élevages, avait un *odds ratio* élevé à $3,96 \pm 0,03$ par rapport aux cheptels n'en contenant pas. Ce qui signifie que si la proportion de primipares est supérieure à 30% de renouvellement, alors il y a quasiment 4 fois plus de chance d'observer des troubles respiratoires. (Bouet et al., 1999).

La temporalité des vêlages semble également avoir un impact sur l'incidence des MRB. En effet, les cheptels ayant une proportion de 0 à 30% de vêlage d'automne, ayant un *odds ratio* égal à 1, n'ont pas d'augmentation de l'incidence des MRB par rapport à des élevages ne pratiquant pas de vêlage d'automne., les cheptels ayant une proportion de 30% à 70% de vêlages d'automne, (qui représentait 44% des élevages) avaient un *odds ratio* élevé à $3,22 \pm 0,06$ et au dessus de 70% de vêlages d'automne, l'*odds ratio* est égal à $3,48 \pm 0,07$. Cela signifie que plus la proportion de vêlages d'automne est grande, et plus la probabilité d'observer une augmentation de l'incidence des troubles respiratoires : un peu plus de 3 fois, au-dessus d'une proportion de 30%, et jusqu'à 3,5 fois au-dessus de 70% de vêlages d'automne.(Bouet et al., 1999)

- Facteurs environnementaux

Période de l'année et conditions climatiques

Le complexe respiratoire bovin est associé à plusieurs agents pathogènes ubiquitaires, dont certains sont commensaux dans les voies respiratoires des bovins. De ce fait, les troubles sont enzootiques avec des bouffées épizootiques qui peuvent se manifester régulièrement. C'est le cas, notamment pendant la saison automne-hiver qui correspond aux mois les plus froids en Europe, comme de nombreuses études l'ont montré. Dans cette étude, les auteurs ont analysé les pathogènes impliqués dans le déclenchement des épisodes de MRB. Même s'il est difficile d'incomber aux virus ou aux bactéries l'apparition des signes respiratoires, notamment à cause de leur caractère commensal, on note tout de même une augmentation significative de leur identification pendant les mois d'hiver.



BRSV = virus respiratoire syncytial bovin ; BCV = coronavirus bovin ; PI-3 = virus parainfluenza bovin de type 3

Figure 53 : Graphique radar représentant le nombre mensuel d'épidémies positives pour les agents pathogènes viraux (A) et bactériens (B) – Source : Pardon 2020

L'une des études ayant étudié l'apparition des troubles respiratoires a montré que 80% des exploitations enrôlées étaient atteintes entre novembre et février, avec un pic en décembre. (Gay & Barnouin, 2009)

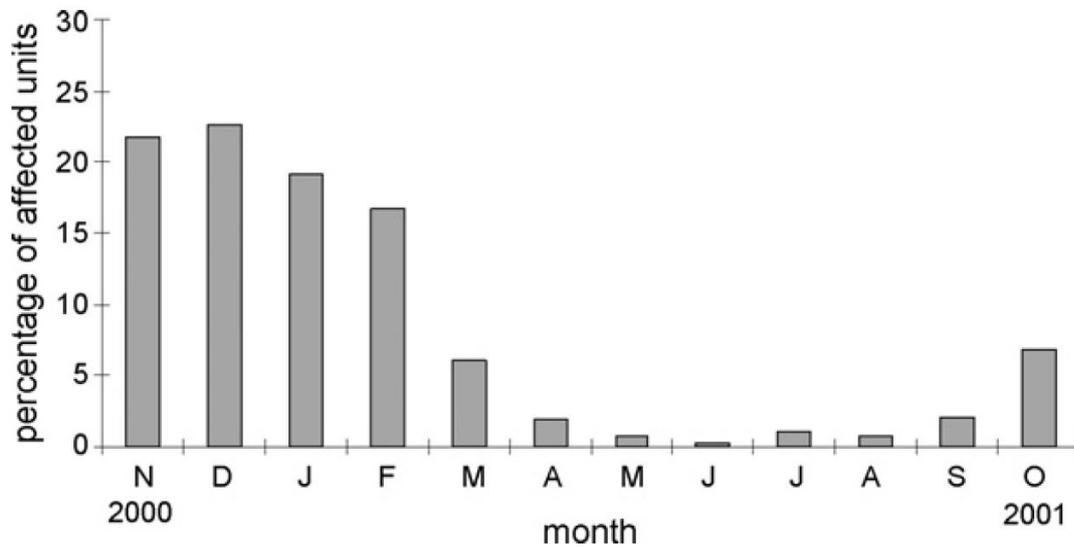


Figure 54 : Distribution temporelle des MRB en France entre Novembre 2000 et Octobre 2001

– Source : Barnouin 2009

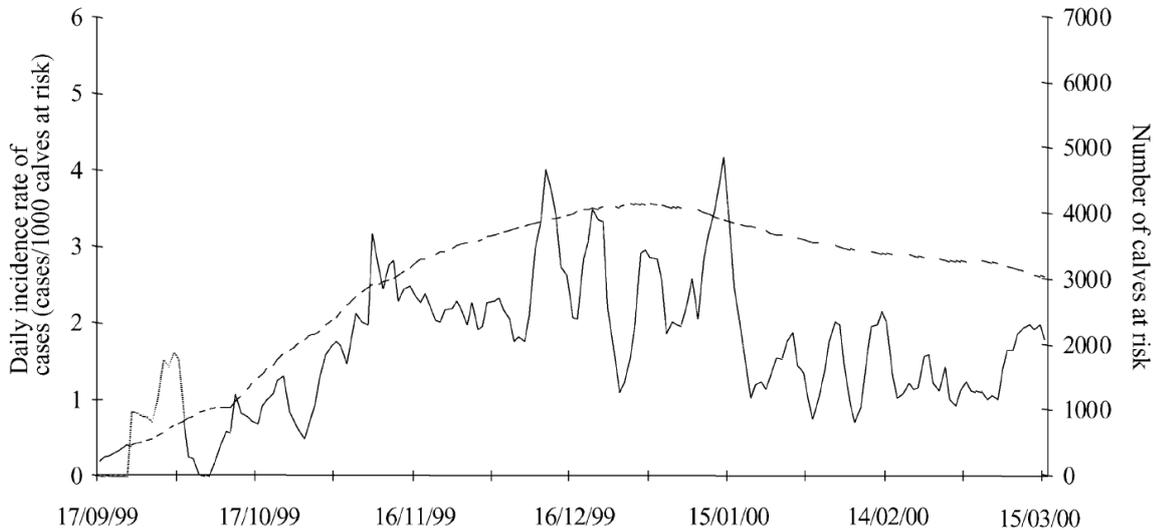


Figure 55 : Répartition annuelle des cas de MRB entre Septembre 1999 et Mars 2000 – Source

: Assie 2004

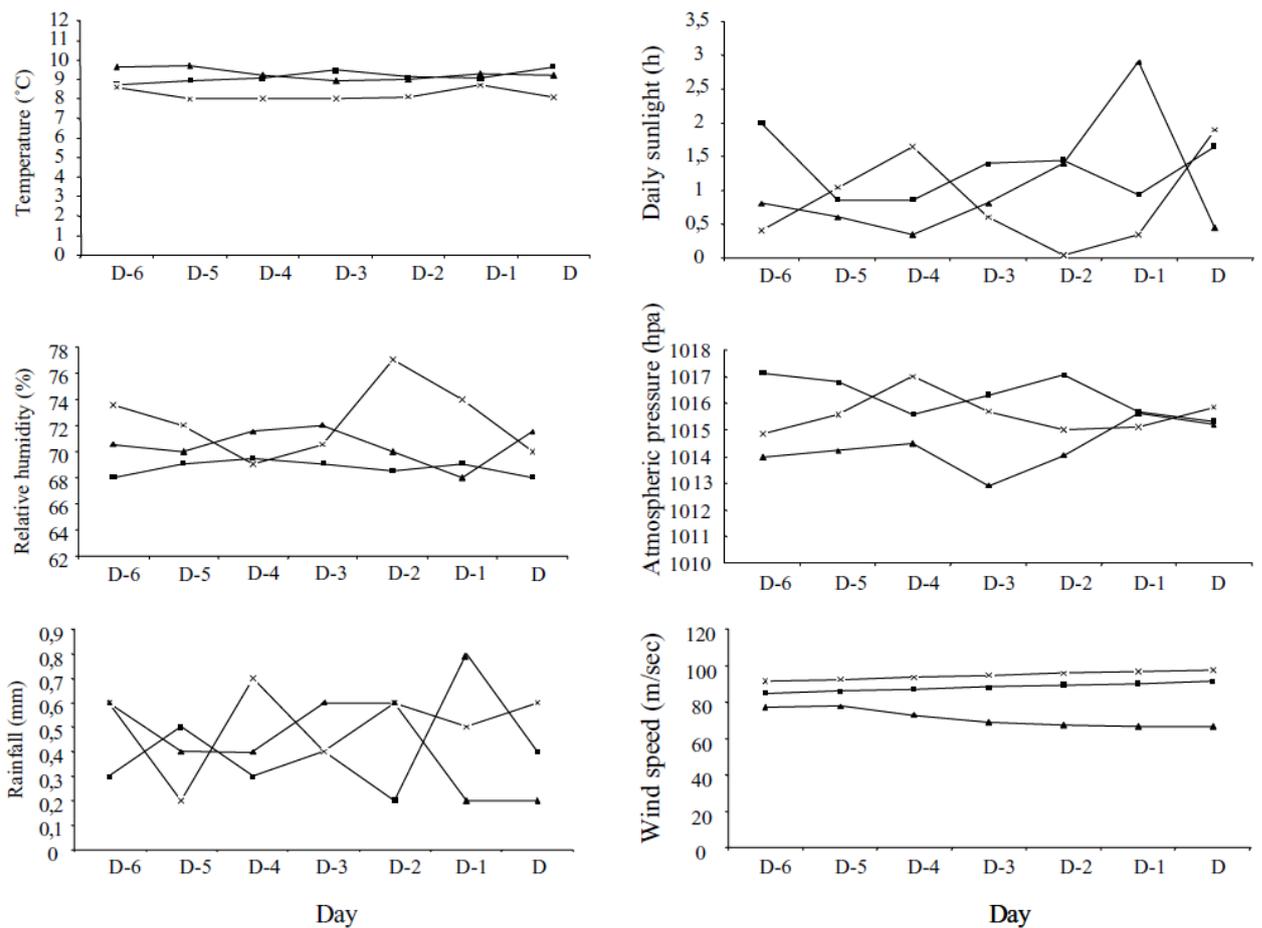


Fig. 6. Median of daily temperature, daily wind-speed, daily atmospheric pressure, daily sunlight and daily rainfall (calculated each day from day $d - 6$ to day d) for the three groups ((▲) low; (×) medium; (■) high) of daily incidence rate of cases based on tertiles of its distribution (defined on day d).

Figure 56 : Moyenne des températures quotidiennes, de la vitesse du vent, de la pression atmosphérique, ensoleillement et des précipitations – Source : Assie 2004

Outre la valeur des températures, il semble que sa variation exerce une influence, même si toutes les études ne concordent pas sur ce point, avec même l'obtention de résultats contraires dans certaines études. Récemment des auteurs ont mis en évidence que la baisse de la température serait favorable à l'apparition des troubles respiratoires. Cette observation serait attribuable à l'expression des signes cliniques, plus qu'à une réelle augmentation du risque infectieux respiratoire.

En affinant l'étude des facteurs impliqués, les auteurs ont pu mettre en évidence plusieurs facteurs jouant un rôle contributif sur l'augmentation de la prévalence des troubles respiratoires en hiver : la température, l'ensoleillement, la pression atmosphérique, la vitesse du vent, les précipitations et l'humidité, et l'effet de la poussière. (Taylor et al. 2010)

Cependant, toutes ces études sur l'influence des conditions météorologiques sont à replacer dans le contexte des études et à considérer avec prudence. En effet, en Europe comme aux Etats-Unis, pays où sont réalisées la majorité des études sur lesquelles nous nous appuyons, le sevrage et la commercialisation des bovins en vue de l'engraissement se déroule généralement en automne. Il faut aussi signaler que le facteur humain peut être impliqué dans la propagation des épidémies en parc d'engraissement. Face à l'augmentation de la charge de travail, la vigilance diminue et la détection moins précoce ou diminuée des animaux pourrait favoriser l'apparition et la diffusion des épizooties. (Taylor et al. 2010)

L'organisation de la filière, telle que nous l'avons décrite précédemment implique une entrée des animaux dans les bâtiments en hiver. Il faut donc pouvoir distinguer s'il y a un véritable effet saisonnier ou si les phénomènes sont liés à l'entrée en bâtiment et à l'augmentation de la densité animale et au regroupement.

Bâtiment

Pour évaluer l'influence de la stabulation et comparer l'apparition des troubles entre l'élevage en stabulation et celui à l'extérieur, une étude a placé 90 veaux, séparés en 3 groupes : en stabulation, en enclos à l'extérieur avec protection et à l'extérieur extérieur sans protection particulière. Les auteurs concluent que même si l'incidence des maladies respiratoires était plus élevée chez les veaux élevés à l'intérieur, presque tous les veaux ont été traités à cause de troubles respiratoires. (Ollivett, 2020)

Facteurs	Elevages	Comparaison entre incidences de la maladie : odds ratio (p)		
		Moyenne/ faible	Forte/moyenne	Forte/faible
Dispositif de ventilation	incomplet	55%	0,24 (0,00)	3,78 (0,008)
	complet	45%	1	1
Nombre de veaux exposés	≤26	33%	1	1
	26< <40	33%	2,95 (0,02)	5,17 (0,02)
	≥40	34%	NS	3,80 (0,04)

NS : non significatif

Figure 57 : Niveau d'analyse bâtiment, facteurs liés au risque de maladies respiratoires (modèle logistique) – Source : Bouet 1999

Les volumes d'air, les surfaces ventilantes et les flux d'air à l'intérieur du bâtiment d'élevage sont une des clés de la gestion des troubles respiratoires. La ventilation est souvent le premier facteur de risque à prendre en compte dans la gestion des incidents respiratoires à l'échelle collective.

Dans la publication de Bouet et al, le volume d'air par 100 kg de poids vif ne semble pas lié à une augmentation de l'apparition des troubles. Ceci s'explique par notamment, le respect des recommandations dans les dimensions du bâtiment. Les autres facteurs étudiés sont le dispositif de ventilation (complet ou incomplet) et le nombre de veaux exposés. On note que l'absence de système de ventilation pourrait correspondre à un fort accroissement du nombre de cas, en particulier par la stagnation de l'air lors d'épisode respiratoire et donc la transmission favorisée des pathogènes, à cause de l'augmentation de la contagiosité.

Cependant, l'étude n'a pas permis de mettre en évidence d'effet proportionnel de ces dispositifs, ni d'un effet seuil pour la durée d'exposition (Bouet et al., 1999). Concernant les mouvements de l'air, l'air chaud, réchauffé par la libération thermique des animaux, monte vers le sommet du bâtiment et les ouvertures situées en toiture. Ce mouvement que l'on appelle effet cheminée, permet non seulement d'évacuer l'air chaud mais aussi la vapeur d'eau dégagée par les animaux (transpiration, respiration), et avec elle la poussière et les gaz comme l'ammoniac. Ce dernier, lorsqu'il atteint des concentrations élevées (de 23 à 34 mg/m³), irrite les voies respiratoires supérieures et affecte le système immunitaire. Ce mouvement de convection utile au renouvellement de l'air nécessite deux conditions : une ouverture du faitage pour permettre l'évacuation et des entrées d'air pour permettre le remplacement de l'air évacué. Ces deux conditions sont les clés d'un mouvement d'air continu (Engelken, 2020). Il faut cependant être vigilant à ne pas créer de courants d'air qui peuvent dégrader l'ambiance et être à l'origine de troubles respiratoires. En somme, « de l'air, sans courant d'air ».

Le paillage, par ces deux aspects contraires, que sont la propreté de la litière d'un côté et l'aérosolisation de poussières de l'autre, est un facteur à prendre en compte quand on s'intéresse aux maladies respiratoires. Le paillage mécanique augmente la quantité de poussières dans l'air et diminue sa qualité favorisant l'apparition des troubles respiratoires (Bouet et al., 1999).

Contre toute attente, aucun avantage à augmenter le nombre de m² par veau n'a été constaté dans l'étude sur laquelle nous nous appuyons. En effet, les auteurs ont montré qu'une baisse de la densité était corrélée à de meilleurs scores auriculaires et oculaires, c'est-à-dire ne présentant pas de signes cliniques tels que des écoulements nasaux et oculaires, des éternuements, mais correspondait à une fréquence plus élevée d'écoulement nasal quand les veaux étaient en lots, et oculaire pour les veaux logés individuellement. (Ollivett, 2020). Une augmentation de la densité accroît surtout le risque de transmission entre les animaux, le taux

d'humidité ambiante, et de la température. Ces conditions réunies favorisent la transmission des pathogènes.

- Facteurs prédisposants liés à l'animal

L'anatomie des poumons des bovins, que ce soit par la compartimentation sans communications entre les alvéoles ou les bronchioles, associée au fait que le volume respiratoire rapporté aux besoins est déficitaire, entraîne des échanges gazeux plus grands. C'est la raison pour laquelle cet organe répond mal aux perturbations d'oxygénation, notamment en période de stress ou lors d'une infection pulmonaire. De plus, l'immunité anticorps des jeunes est tributaire de la prise colostrale (immunité passive), puisque les IgA ne sont pas détectables avant 3 semaines d'âge.

Génétique

Malgré une héritabilité faible de la sensibilité aux MRB, des différences entre les races ont été décrites. D'autres études, dont une étude australienne a comparé *Bos taurus* à *Bos indicus* et a montré que les premiers étaient plus à risque. L'hypothèse privilégiée est notamment des différences du lieu de vie. Avec des races élevées sous des climats froids et humides qui semblent plus réceptives et sensibles comparées à des races présentes sous des climats chauds et secs qui apparaissent aussi moins fréquemment touchées. Comme l'héritabilité de cette résistance au CRB s'avère faible, une hybridation entre les espèces pourrait être bénéfique pour réduire l'occurrence des troubles. C'est ce que confirme une étude qui rapporte une baisse de l'incidence des problèmes respiratoires chez les animaux issus de croisement interraciaux tels qu'ils sont pratiqués dans certaines régions du monde (Taylor et al. [2010])

Age et poids

Une corrélation entre l'âge/poids des animaux et le risque d'apparition des troubles respiratoires est rapportée. La distinction entre les deux facteurs pour savoir lequel est réellement impliqué a été faite dans une seule étude. Les auteurs ont pu trier les animaux en se basant sur l'écart à la moyenne des poids des groupes en fonction de l'âge. Ils ont mis en évidence que les veaux les plus légers avaient 1,4 fois plus de chance de présenter des troubles respiratoires que ceux dont le poids était proche de la moyenne.

Une autre étude, a montré qu'il y avait aussi une tendance ($p = 0,09$) pour les veaux en milieu de distribution à avoir moins d'événements respiratoires que ceux de la catégorie de poids les plus légers, selon le classement suivant : moins de 250 kg, entre 250 kg et 318 kg et supérieur à 318 kg. D'autres études contredisent ces résultats, mais les animaux y étaient plus légers (entre 150 kg et 300 kg) ce qui peut biaiser le résultat en déplaçant la moyenne du groupe d'étude vers des animaux à plus haut risque ; s'ils sont plus lourds (entre 335 kg et 659 kg) à l'inverse s'il s'agit d'animaux plus vieux. (Taylor et al., 2010)

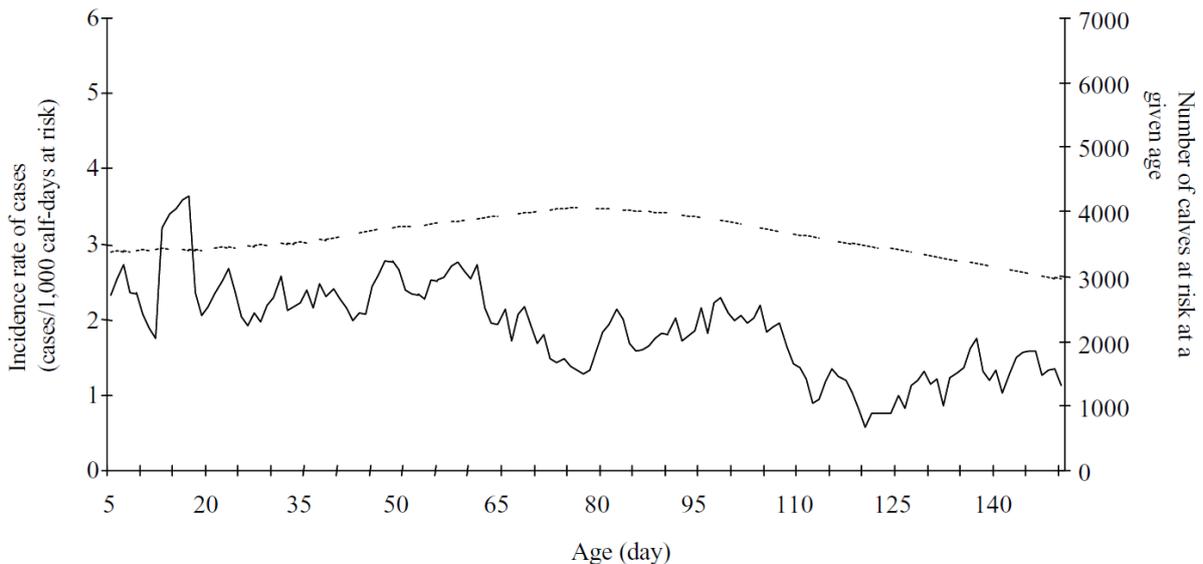


Figure 58 : Taux d'incidence de cas par rapport au nombre de veau-jour à risque (cas pour 1000) et nombre de veaux à risque à un âge donné – Assié 2004

Sexe

Les résultats sont encore une fois contradictoires. Plusieurs montrent que les mâles sont plus à risque de développer des troubles respiratoires, que ce soit de la naissance à l'entrée en engraissement ou après la mise en lots. *Contrario*, d'autres études, ne mettent pas en évidence d'effet du sexe ou alors, comme dans une étude sur plus de 21 millions de bovins, une mortalité plus élevée associée aux troubles respiratoires chez les génisses que les bouvillons. Dans ces études, d'autres facteurs peuvent biaiser ces résultats. Une des explications en faveur de la plus grande sensibilité des génisses pourrait être la plus faible taille des lots (car il s'agit des animaux écartés de la reproduction) et la multiplication des origines au moment de la mise en lots. De plus, les femelles sont engraisées plus longtemps, donc plus longuement exposées. Concernant les mâles, une des explications de la mortalité serait notamment une exposition plus forte aux facteurs de stress, qui seront développés ultérieurement (Taylor et al., 2010).

Alimentation

L'un des principaux facteurs de risque d'apparition des troubles respiratoires en lien avec l'alimentation est l'acidose. Il s'agit d'un déséquilibre entre les apports cellulose et la quantité d'amidon, le développement des papilles ruminales (taille, nombre) et la quantité de facteurs tampon (bicarbonates) du pH dans le rumen (salive dont la sécrétion est stimulée par les fibres longues de la ration) pour maintenir un pH supérieur à 5,5. C'est la raison pour laquelle, une maîtrise non seulement du sevrage, qui détermine le développement des papilles par une longue transition (de 6 à 8 semaines), mais aussi de la ration des taurillons à l'engraissement, est essentielle. Or, par définition, la composition de la ration des jeunes bovins à l'engrais est favorable au développement de l'acidose afin de permettre une croissance maximale.

L'acidose, qui évolue essentiellement de façon subclinique est difficilement détectable, et l'expression clinique et les conséquences immunitaires sont tardives. Outre l'équilibre acido-basique, d'autres éléments de la nutrition des jeunes bovins à l'engraissement est à prendre en compte, comme la nécessité d'apporter de l'énergie et des protéines principalement. Les besoins en UFV, PDIE, et PDIN d'un taurillon Rouge-des-Prés à l'engraissement en fonction du poids et du GMQ sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5 : Besoins d'un taurillon Rouge-des-Prés à l'engraissement en fonction du poids et du GMQ – Source : Guedon, 2009

Poids (kg)	GMQ (g/jour)	UFV	PDIE (g)	PDIN (g)
350	900	5,27	524	524
350	1400	5,99	643	643
400	1300	7,09	628	628

Le niveau des apports énergétiques de la ration est le facteur limitant de la croissance et de la productivité des ateliers d'engraissement. Une étude a mis en évidence que la mortalité globale et la performance n'étaient pas affectées par la concentration énergétique, mais que les veaux malades nourris avec des rations de faible densité énergétique avaient une plus faible excrétion de *Pasteurella multocida* et *Histophilus somni*.

En 2009, une étude s'intéresse à la morbidité en fonction de la proportion de fourrage dans la ration. Ils démontrent que la quantité ingérée diminue en fonction de l'apparition des troubles respiratoires. Or, certes la morbidité est légèrement diminuée mais l'analyse économique montre que cela ne compense pas la perte de profit liée à la baisse du GMQ permis par la ration fourragère. En conclusion, la nutrition des jeunes bovins à l'engrais est un équilibre fragile entre un apport suffisant en fourrage mais avec une densité énergétique élevée pour permettre la croissance et un atelier économiquement viable. L'étude de Krehbiel et al a montré que l'objectif est donc de limiter les rations à haute densité en énergie avec de grandes proportions de concentrés, notamment à base de sous-produits de maïs, et à faible teneur en amidon chez les bovins au moment de l'entrée en engraissement.

Une ration plus faible en énergie (0,99 Mcal de NE/kg de MS) améliorerait l'efficacité alimentaire de 22% par rapport à un régime riche en énergie (1,32 Mcal d'énergie nette [NE] / kg de MS). (Krehbiel, 2020)

L'apport protéique dépend en partie de l'apport en énergie. Chez les animaux nouvellement arrivés, le stress diminue l'ingestion. La comparaison des rations avec des teneurs en protéines brutes variables (12%, 14%, 16%, 18% et 20%) a été réalisée avec 120 veaux de 185 kg environ pendant 42 jours. On note que le GMQ avait tendance à augmenter en relation avec la quantité de protéines. La morbidité était quant à elle plus élevée chez les veaux consommant un régime avec 18% de protéines (morbidité égale à 68%), par rapport à celui à 16% (45%), à 14% (50%) ou à 12% (38%). Les auteurs ont conclu qu'une quantité de protéines brutes d'environ 14,5% est optimale et répondait aux besoins pour les animaux nouvellement entrants (Krehbiel, 2020).

Lors de situations inflammatoires, le métabolisme hépatique est modifié en réponse à la stimulation par les cytokines pro-inflammatoires et l'augmentation systémique du cortisol en faveur d'une production accrue des protéines de phase aigue (protéine C réactive, fibrinogène, α -glycérophosphate, α 1-antitrypsine, SAA et haptoglobine). Le besoin en acides aminés est alors augmenté pour la synthèse des protéines c'est le cas notamment des acides aminés (AA) dits aromatiques (à savoir la phénylalanine, la tyrosine et le tryptophane). En cas d'apport insuffisant, ces AA sont apportés par le catabolisme musculaire. En somme, l'interrogation est de savoir si les MRB et leurs conséquences sur la croissance pourraient être prévenues par un apport adéquat d'AA et de substrats énergétiques, dans le but de satisfaire les besoins du foie pendant l'inflammation (Krehbiel, 2020).

Des études supplémentaires sont nécessaires pour évaluer les changements du métabolisme hépatique et des tissus périphériques lors de MRB, ainsi que les mécanismes immunitaires et leur conséquence sur la diminution de l'expression du potentiel de croissance et d'autres fonctions physiologiques des animaux lors d'affections respiratoires.

Les oligo-éléments à savoir le cuivre, le zinc, l'iode et le sélénium sont essentiels pour différentes fonctions, dont la croissance chez les veaux. Le sélénium joue un rôle dans le statut anti-oxydant de l'animal. Or, cet élément s'avère être peu disponible dans certains sols, et en conséquence dans les prairies et pour finir dans les fourrages. La complémentation en sélénium est donc nécessaire pour assurer un apport suffisant. La différence de la qualité des apports en sélénium par une source organique ou minérale a été évaluée. Les chercheurs ont étudié trois groupes de 84 jeunes bovins, avec un poids initial de $434,2 \pm 31,9$ kg, un lot témoin complétement avec 0,3 mg/kg de MS de sélénium via une source minérale (NaSe), un second avec une source organique (Alk1) pendant 210 jours, et un dernier avec une source minérale pendant 140 jours, puis une source organique jusqu'à la fin de l'étude (Alk2).

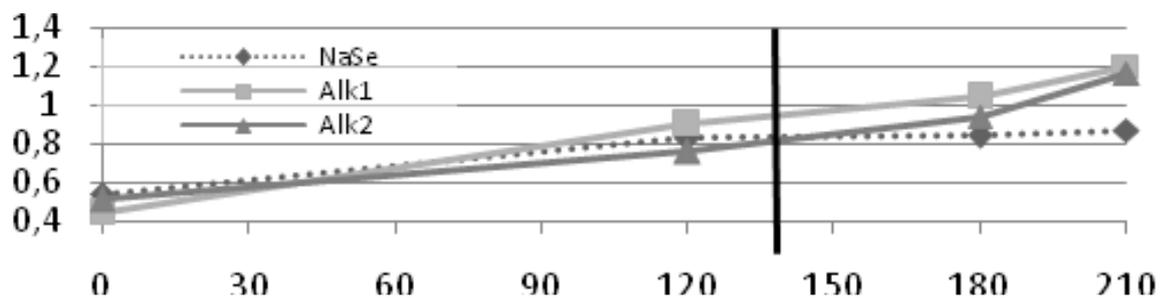


Figure 59 : Evolution de la concentration plasmatique de Se (µmol/L) pendant l'engraissement (jours) (t = jour 140j) – Source : Cozzi 2012

L'étude montre qu'à partir du 120^{ième} jour, la concentration plasmatique de Se est significativement plus élevée lorsque l'apport se fait sous forme organique (Alk1) plutôt que sous forme minérale (NaSe). La concentration pour le lot « Alk2 » demeure supérieure à celle du groupe témoin. Entre 180 et 210 jours, c'est-à-dire après le changement du type de Se distribué pour le lot Alk2, nous observons la même tendance sauf pour celui-ci qui présentait des valeurs plus élevées que celle du lot témoin. Dans les trois lots, l'activité de la glutathion peroxydase (GSHpx) dans le sang n'est pas significativement différente. Les résultats démontrent que la complémentation doit se faire en prenant en compte le statut anti-oxydant des animaux. Le sélénium apporté sous forme organique améliore significativement le statut

anti-oxydant des animaux. S'il est substitué à un apport minéral en fin d'engraissement les résultats sont intermédiaires. (Cozzi, 2012)

- Facteurs favorisant l'apparition des MRB

Stress

Le stress qu'il soit physique, physiologique ou biochimique induit des changements fonctionnels à l'échelle de l'organisme. Une étude a analysé les interactions potentielles entre plusieurs facteurs de stress (sevrage, transport), à la suite d'une infection par le BoHV-1 et une surinfection par *Mannheimia haemolytica* chez des veaux. La mortalité est alors deux fois plus grande. L'immunodépression associée à l'accumulation des facteurs de stress est à l'origine d'une plus grande prolifération des agents pathogènes et une plus grande sévérité des troubles.

Le sevrage, en agissant outre comme facteur de stress après séparation de la mère, peut déjà accroître les troubles sanitaires. Le sevrage, s'il est retardé de 45 jours, afin de garantir aux veaux plus de temps chez le naisseur, réduit le risque de troubles respiratoires. Au fur et à mesure de leur croissance, la compétition pour l'accès à l'eau et à la ration augmente. En effet, à l'âge de 3 mois, les veaux consomment 1% de leur poids en matière sèche contre 1,5% au sevrage et jusqu'à 3,5 L de lait par jour. Avec la production d'urine et de fèces de plus en plus grande avec l'âge, les conditions sanitaires se dégradent si l'entretien n'est pas amélioré et l'incidence des troubles sanitaires augmente. (Engelken, 2020)

Le transport, parfois sur de longues distances est un facteur de stress physique et psychique surtout pour des animaux récemment séparés de leurs mères (Mounier et al., 2004). Le lien entre transport et trouble respiratoire est sans équivoque, comme l'indique la désignation des bronchopneumonies pasteurelliques sous les termes de « fièvre des transports ». Plusieurs études ont cherché à identifier quel aspect du transport affecte les veaux et favorise l'apparition des troubles respiratoires. Des études montrent que des veaux transportés sur une distance de 240 km avaient moins de risque de développer des troubles respiratoires que ceux transportés sur une distance supérieure et jusqu'à 320 km. La méthode de transport est elle aussi une variable pouvant affecter les animaux.

La littérature rapporte qu'il n'existe pas de relation linéaire avec l'augmentation des troubles respiratoires. En effet, pour des distances courtes (<80 km), les animaux avaient un risque de développer des signes cliniques de MRB plus élevé que ceux transportés sur des

distances de 160 à 240 km. D'autres n'ont pas montré de lien entre distance et mortalité en augmentant les distances. Les résultats sont variés et ne mettent pas en évidence un effet isolé du transport, ni de la distance en elle-même. Les conclusions des nombreuses études, seraient que la manutention, le chargement et le déchargement seraient générateurs de stress. De plus, la déshydratation liée au transport serait aussi un facteur favorisant l'apparition des troubles (Taylor et al., 2010).

Une étude française, plus proche des conditions de transport rencontrées dans notre pays, avec des distances 10 fois inférieures à celles observées en Amérique du Nord ou en Australie, a montré un impact significatif de la distance alors qu'elles sont relativement plus faibles. En effet, plus la distance est grande, plus le GMQ pendant l'engraissement est faible (-11 g/j par km supplémentaire parcouru au-delà de 120km).(Morel-Journel, 2020). Le transport, outre son effet comme facteur de stress, est une première forme de mélange des animaux, entre des animaux venant de différents élevages, de statut sanitaire et vaccinal variable dans un espace réduit (wagon ou camion-bétaillère).

Comme pour les autres facteurs de stress, la relation entre facteur et morbidité est difficile à établir. En revanche, la castration, notamment sans anesthésie, induit une baisse du GMQ, alors qu'une augmentation des protéines de phase aigüe et du cortisol a été rapportée. Etant donné ses conséquences, la castration pouvons augmenter le risque de développer une MRB. L'écornage, doit aussi être considéré en plus de la castration car il représente un risque accru de développer des MRB de 30% dans des lots de veaux écornés avec une diminution du GMQ.(Taylor et al., 2010).

La question de la gestation est peu souvent abordée. En effet, une seule étude a évalué sa relation avec l'incidence des troubles respiratoires. Cependant, certaines génisses, parfois sevrées tard ou précocement pubères peuvent être gravides à l'entrée en engraissement. Ces génisses ne sont pas gérées indépendamment d'un point de vue alimentaire et technique, comme le sont les vaches gravides. De plus, une gestation précoce si elle est identifiée à l'arrivée en centre d'engraissement peut être interrompue. Aucune différence significative n'a été mise en évidence en fonction du statut gestationnel, concernant l'apparition d'éventuels problèmes de santé. Cependant, ces deux facteurs de risque (gestation et avortement) pourraient être à l'origine d'une augmentation de l'incidence de près de 5% des MRB chez les génisses ayant avorté, notamment si on extrapole les conséquences négatives d'un vêlage dystocique.

Lors du passage de l'élevage naisseur vers le centre d'engraissement, les veaux sont allotés vers 3, 6 ou 9 mois pour les veaux allaitants. Un lot contient en général 20 à 50 brouards. Ces animaux issus de fermes différentes sont porteurs d'une grande diversité de pathogènes commensaux. La constitution de lots expose donc les autres animaux à des pathogènes vis-à-vis desquels ils n'ont ni anticorps synthétisés en propre ou d'origine colostrale car ils n'ont jamais été en contact avec eux (Autio et al., 2007). De plus, le statut sanitaire des élevages varie beaucoup. En effet, la vaccination (BVD, entérite, ...etc.) est pratiquée de façon très aléatoire en fonction des élevages. Des études ont étudié la prévalence des troubles respiratoires en fonction de la taille des lots. Les résultats montrent une corrélation positive entre les deux variables, tout comme avec le nombre de traitements administrés (Engelken, 2020).

Outre l'aspect sanitaire à la mise en lot, les interactions sociales doivent aussi être considérées. En effet, lors du mélange d'animaux, une nouvelle hiérarchie doit être établie, avec notamment le syndrome du « *buller* », terme anglais qui signifie que certains animaux « intimident » d'autres moins lourds, plus fragiles, ou plus soumis. Cela entraîne une disparité d'accès aux ressources (eau, ration), et même des blessures physiques sur les animaux les plus faibles. (Taylor et al., 2010)

BVDV

Il s'agit d'un virus à ARN monocaténaire positif, de la famille des Flaviviridae. Il peut résister dans le milieu extérieur pendant deux semaines, maximum. Il existe deux génotypes différents : les génotypes 1 (le plus fréquent en Europe) et 2. Il a la particularité de permettre un portage et une excrétion chez des animaux séronégatifs, qui sont viropositifs à vie lorsque la première infection se produit *in utero*. Ces individus ne se sont pas capables d'éliminer le virus et sont les principaux vecteurs responsables de sa diffusion. Ils sont qualifiés d'infectés permanents immunotolérants et sont des super-excréteurs.

Ce virus est capable de provoquer une baisse de l'immunité impliquant les cellules de l'immunité, les organes lymphoïdes (altération de la lignée blanche, neutropénie, thrombocytopénie) et d'inhiber la synthèse d'interférons.

Les signes cliniques sont frustes et l'infection est la plupart du temps inapparente, assez rarement clinique. Dans ce cas-là, les animaux présentent des lésions ulcératives, des troubles respiratoires, de la diarrhée. La principale voie de transmission est oro-nasale.

Le virus est éliminé en 2-3 semaines. Des anticorps neutralisants (IgM, IgG) sont produits 3 à 4 semaines après l'infection et les individus peuvent rester séropositifs pendant 3 ans.

1.2.3 Facteurs déterminants

La diversité des agents étiologiques, qu'ils soient primaires, ou secondaires et responsables de surinfections, rend le diagnostic et le traitement des MRB complexe. D'un côté, les virus avec notamment le virus respiratoire syncytial bovin (BRSV) comme agent étiologique majeur, provoquent des pneumonies chez le jeune, de l'autre, les pasteurelles ou les mycoplasmes jouent un rôle non négligeable lors d'atteinte respiratoire des bovins plus âgés (Thomas, 2003)

	RSV	BVD	IBR	PI3-V	B Co-V	<i>M. haemolytica</i>	<i>P. multocida</i>	<i>H. somni</i>	<i>M. bovis</i>
Prévalence vivants (%)	0-80 (Ax) 0-25 (lots)	0-55 (Ax) 0-90 (lots)	2 à 7 (Ax)	2-55 (Ax) 5-80 (Lot)	?-60 (Ax) 0-10 (lots)	5-50 (Ax) 0-90 (lot)	4-40 (Ax) 20-30 (Lot)	0-14 (Ax) 0-2 (Lot)	0-100 (Ax) 0-90 (Lot)
Prévalence sur autopsie (%)	8-25 9	5-22 26-35	2-6 7	1,5 1-3	1,5-10,8	5-14-25 68	11-26	2-13 15	30-52 59-82
Clinique parfois associée	Œdèmes sifflements, emphysème sous-cutané	Cas de Maladie des Muqueuses	Jetage, « chandelles », cornage, conjonctivite	∅	Diarrhée associée	Pleurésie, forte hyperthermie	∅	Pleurésie, puis myocardite, encéphalite	Arthrites, chronicité et récurrences, otites
Lésion la plus caractéristique	Emphysème Pneumonie interstitielle	∅	Rhino-trachéite congestive à nécrotique	BP interstitielle	BP interstitielle	BP – PP fibrineuse, nécrotique	BP suppurative	BP – PP fibrineuse, micro-thrombi	BP caséo-nécrotique
Délai de séroconversion	5-14 j	7-21 j	8-12 j	10-28 j	10-21 j	14-28 j	∅	14-28 j	14-21 j
Laboratoire, Technique	Ag, RT-PCR	Antigénémie, PCR	Ag ou PCR,	PCR, culture	PCR, culture, Ag	Culture, ABG, PCR	Culture, PCR	Culture, PCR	Culture, PCR
Prélèvement	ENP, LBA, poumon	Sang (ENP, poumon)	ENP, Gg trijumeau	ENP, ATT, LBA	ENP, ATT, LBA	ATT, LBA, poumon	ATT, LBA, poumon	ATT, LBA, poumon	ATT, LBA, poumon
Délais de conservation	12-24 h ou congélation	1-5 j ou congélation	24-48 h ou congélation	24 h ou congélation	24 h ou congélation	24 h ou congélation	48 h ou congélation	12 h ou congélation	3-4 jours ou congélation
Délai pour prélever	1-8 j	1-∞ (IPI)	1-8 j sauf gg	1-5 j	< 5 j	sauf AB	sauf AB	sauf AB	Jusque 30 j sauf AB

Tableau VI.2. Caractéristiques épidémiologiques, cliniques et lésionnelles des agents des BPIE. Prélèvements et analyses disponibles pour le diagnostic et délais de prélèvement entre l'infection et l'analyse

Ax : Animaux ; Gg : ganglion ; Ag : antigènes ; BP : Broncho-Pneumonie ; PP : PleuroPneumonie ; ENP : Écouvillon Nasal Profond ; ATT : Aspiration TransTrachéale ; LBA : Lavage Broncho-Alvéolaire ; PCR : Réaction de polymérisation en chaîne ; ABG : antibiogramme, AB : antibiotique ; ? : résultats non fiables pour la valeur inférieure car peu d'écrits avec mise en évidence du virus et aucun par séroconversion.

Les différentes prévalences varient avec les méthodes choisies ; les analyses sérologiques sont tardives, les prélèvements nasaux peuvent entraîner une confusion entre portage et agent pathogène, les aspirations profondes sont des prélèvements précoces, alors que les autopsies sont tardives, sur des formes graves ou chroniques.

Figure 60 : Caractéristiques épidémiologiques, cliniques et lésionnelles des agents de MRB –

Source : Francoz, 2014

- Virus

Les infections virales créent une réaction inflammatoire et une dépression des mécanismes de défense qui sont propices au développement d'infections par des bactéries. La

réaction immunitaire et inflammatoire initiée par l'intermédiaire des lymphocytes et des macrophages localisés dans les alvéoles, qui produisent des cytokines recrutent de nouvelles cellules qui amplifient la réponse et sont susceptibles de provoquer des lésions. Les agents viraux impliqués dans les broncho-pneumonies sont :

- l'herpès-virus bovin de type 1 (BoHV-1)
- le Virus Respiratoire Syncytial Bovin (BRSV)
- le virus Para Influenza de type III (BPI3V),
- le Coronavirus bovin (BCoV).

Ce sont principalement des virus à ARN sauf pour le BoHV-1. Étant donné leur structure, à savoir la présence d'une enveloppe constituée d'une bicouche lipidique, ils sont dits enveloppés, ce qui réduit généralement leur survie dans le milieu extérieur. Ils sont facilement détruits par la chaleur, la dessiccation, les désinfectants usuels, les détergents, et les ultra-violets.

BoHV-1

Il appartient à la famille des herpesviridae, plus précisément des alphaherpèsvirus. De nos jours, il est rarement impliqué dans les MRB en France. Il peut établir une latence chez les individus infectés, principalement dans les neurones des ganglions trijumeaux, et de façon moindre dans le sang, les organes lymphoïdes (rate, nœuds lymphatiques périphériques, les amygdales). Lorsque la latence s'interrompt, il est parfois réexcrété notamment en lien avec une baisse de l'immunité (stress, mise bas).

Son caractère pathogène associé à une baisse de l'immunité par inhibition de la synthèse d'interféron gamma (IFN γ).

A la phase clinique de l'infection, les animaux ont une trachéite nécrotico-suppurée, un jetage nécrotico-purulent, une conjonctivite. Il est transmis par voie oro-nasale majoritairement. La réponse immunitaire contre ce virus est autant humorale que cellulaire par la production d'INF de type I dans les cavités nasales. La détection par PCR du virus peut se faire à partir de 1 à 6 jours post-infection dans le ganglion trijumeau. Des anticorps neutralisant (IgM, IgG) sont

produits 8 à 12 jours après l'infection et les individus restent séropositifs à vie. La réponse cellulaire est effective dans le même laps de temps.

BRSV

Il se classe dans le genre Pneumovirus au sein de la famille des Paramyxoviridae. Du fait de sa forte prévalence et distribution ubiquiste, il est le principal virus impliqué dans les MRB.

Il infecte les cellules épithéliales, et notamment les cellules ciliées. La réplication du virus est possible dans le tractus nasal, trachéal et alvéolaire. L'atteinte des voies supérieures en fait un virus hautement transmissible. La diffusion se fait par aérosols ou contact oro-nasal direct. Nous observons une mortalité qui peut aller jusqu'à 20% au sein d'un groupe, notamment chez les animaux de 2 à 4 mois. L'infection entraîne une forte réaction inflammatoire avec une hyperthermie marquée (>40°C). Les signes cliniques respiratoires associés à l'infection sont une bronchiectasie, parfois un emphysème pulmonaire voire sous-cutané qui n'est cependant pas spécifique.

La réponse immunitaire est associée à une faible production d'IFN γ de type I et une activation cellulaire. La détection du virus par PCR est possible à partir de 1 à 6 jours post-infection dans les cavités nasales et le parenchyme pulmonaire. La production d'anticorps est très rapide : moins d'une semaine pour les IgM, IgA, et environ deux semaines pour les IgG. Les individus restent séropositifs pendant de courtes périodes et une ou plusieurs réinfections sont possibles.

BPI3V

Il appartient au genre Respirovirus dans la famille des Paramyxoviridae. Il est fragile et survit seulement quelques heures dans le milieu extérieur. Ce virus est fréquemment impliqué dans les MRB, malgré un pouvoir pathogène faible à modéré.

Possiblement impliqué comme facteur favorisant l'apparition des MRB, l'infection serait propice au développement des infections bactériennes notamment par inhibition de la phagocytose. Il agit aussi sur les muscles lisses de la trachée par médiation inflammatoire entraînant une bronchoconstriction.

La réponse immunitaire est maximale autour de 5 à 10 jours. Les anticorps sont produits au bout de 5 jours post infection et persistent relativement longtemps.

BCoV

Responsable de diverses formes cliniques chez les bovins (respiratoire, digestive), sa prévalence est maximale pendant la période hivernale. Son rôle dans les MRB est encore mal défini, que ce soit comme facteur initiateur, ou bien un facteur favorisant ou aggravant. En effet, malgré l'expression de symptômes pneumo-entériques, le virus est fréquemment retrouvé lors de diarrhée néonatale ou de broncho-pneumonie infectieuse enzootique.

Son caractère pathogène est caractérisé par une adhérence du virus non seulement aux cellules épithéliales nasale mais aussi aux entérocytes. Les animaux présentent des troubles respiratoires (jetage, toux) et quelquefois aussi digestifs (diarrhée). Il est transmis par voie féco-orale ou féco-nasale.

La réponse immunitaire est rapide et fruste. L'infection se résout en 5 jours en moyenne. Des anticorps de tous les isotypes (IgA, IgM, IgG) sont produits en 21 jours après l'infection et confèrent aux individus une protection contre les signes cliniques.

- Bactéries

Les agents bactériens impliqués dans les MRB sont principalement des pasteurelles et des mycoplasmes. D'autres bactéries à l'origine de surinfections comme *Trueperella* ou des champignons comme *Aspergillus* sont également décrits mais nous n'aborderont pas leur contribution.

Les pasteurelles

Ces bactéries appartiennent à la famille des Pasteurellaceae. Elles sont aéro-aérobies, c'est-à-dire qu'elles peuvent se développer aussi bien en présence qu'en l'absence d'oxygène. Pour les cultiver, nous pouvons utiliser des géloses au sang dans des enceintes éventuellement enrichies en CO₂. Elles sont relativement fragiles à l'extérieur et sensibles au froid (sauf *P. multocida*). Cependant, elles ont la capacité de persister dans les biofilms, empêchant ainsi l'action des désinfectants et antibiotiques, ce qui les rend plus difficiles à éliminer.

On les retrouve comme commensales de l'appareil respiratoire haut des bovins. Or, en cas de rupture de l'équilibre avec la réponse de l'hôte, ou si les conditions sont favorables, elles peuvent coloniser les régions plus distales et les poumons. Elles s'y multiplient et sont à l'origine de lésions parfois sévères.

Concernant *Mannheimia haemolytica*, il existe de nombreux sérotypes de cette bactérie en fonction des antigènes capsulaires. Il en existe 12 (1,2,5,6,7,8,9,12,13,14,16 & 17) dans le groupe A. C'est le groupe le plus fréquemment isolé chez les bovins. A2 est prépondérant et souvent retrouvé dans les cavités nasales d'individus sains contrairement au groupe A1 et A6 qui sont plutôt isolés des lésions chez les animaux malades. Son caractère pathogène est consécutif à l'action de facteurs de virulence dont les mécanismes d'action sont relativement bien décrits. La bactérie adhère à l'épithélium respiratoire grâce à ses antigènes de capsule et colonise les voies respiratoires. Certains facteurs permettent l'évitement de la phagocytose par échappement au Complément. Elle possède un lipopolysaccharide externe (LPS) à activité endotoxinique qui provoque une inflammation (œdème, congestion) locale des épithéliums, mais aussi des signes généraux (fièvre, , hypotension, ...). Elle possède de plus une leucotoxine qui est une exotoxine, qui inhibe l'action des leucocytes et diminue la réponse immunitaire. Enfin, à forte dose, elle entraîne l'apoptose cellulaire. Son adhésion aux muqueuses est permise par des protéines d'adhésion (adhésines) qui permettent l'interaction et l'attachement de la bactérie aux cellules de l'hôte ou à la matrice extracellulaire. Elle peut aussi synthétiser des enzymes permettant la libération de la bactérie (neuraminidase), et sa diffusion vers d'autres sites. Ces deux mécanismes entraînent une infection des voies respiratoires distales, et notamment du poumon. Elle est très fréquemment impliquée dans les MRB. La synergie la plus fréquemment rencontrée serait avec *M. bovis* et le BVDV, comme cela a été décrit dans d'autres études. Par ses capacités invasives, l'infection par *Mannheimia* entraîne une pleurésie fibro-fibrineuse sévère. Chez le jeune, elle peut être à l'origine d'embolie ou à l'origine d'une bactériémie causant arthrite ou septicémie. La réponse immunitaire est dirigée envers les protéines de la membrane externe et la leucotoxine, avec une production d'Ac qui sont partiellement protecteurs.

Pour *Pasteurella multocida*, on retrouve là aussi plusieurs sérotypes même si A3 est le plus fréquemment isolé lors de maladies respiratoires. Elle est peu fragile et sa conservation à 4°C est possible pendant 48h. Son caractère pathogène est lié à la présence d'une capsule, d'adhésines, de diverses protéines et de LPS, de la même façon que *Mannheimia*, à la différence

qu'elle ne produit pas de leucotoxine. Les anticorps dirigés contre les protéines de surface sont *a priori* protecteurs.

Histophilus somni est parfois isolée lors d'atteinte respiratoire, notamment aux Etats-Unis, mais plus rarement en Europe. Les signes cliniques associés à cette infection sont une pleurésie séro-fibrineuse marquée. Chez le jeune, elle peut migrer à la faveur d'embols ou par bactériémie, et provoquer des foyers secondaires. De type arthrite, voire myocardite ou endocardite après atteinte de l'épithélium vasculaire sous action des lipooligosaccharide (LOS). En effet, en agissant comme immunostimulateurs et immunomodulateurs, ils permettent à certaines souches bactériennes de présenter un mimétisme moléculaire et ainsi d'échapper au système immunitaire de l'animal qu'elles infectent. Pour sa culture, il est nécessaire d'utiliser des milieux riches (gélose chocolat), avec atmosphère enrichie en CO₂. Sa conservation à 4°C est possible pendant moins de 24h. C'est le LOS qui lui confère l'essentiel de son pouvoir pathogène. Ce dernier provoque l'apoptose des cellules endothéliales à l'origine de lésions vasculaires (vascularite, thrombose, hémorragies, inflammation). Elle possède elle aussi des protéines d'adhésion qui interfèrent avec la phagocytose. Enfin, la production d'histamine crée des lésions pulmonaires (vasoconstriction, augmentation de la perméabilité bronchiolaire), mais aussi systémiques (réaction allergique).

Depuis 2012, quelques études s'intéressent à l'implication de *Bibersteinia trehalosi* dans l'occurrence du complexe respiratoire bovin. Cette bactérie est historiquement considérée comme un agent pathogène des ovins, à l'origine notamment de septicémies chez les agneaux. Isolée chez d'autres espèces de ruminants, notamment les bovins, les chèvres et les bisons, elle a été isolée de cas de pneumonie. C'est une pasteurelle non mobile, capable de produire une leucotoxine. Les signes cliniques sont respiratoires, à savoir toux, dyspnée, écoulements nasaux muco-purulents et généraux (fièvre, abattement). comme pour les autres pasteurelles (Hanthorn, 2014).

Les mycoplasmes

Les mycoplasmes sont fréquemment incriminés dans les troubles respiratoires en élevage bovin. La difficulté à les isoler conduit à une sous-estimation de leur fréquence et de leur implication dans le CRB.

Mycoplasma bovis fait partie des Mollicutes et appartient à l'ordre des *Mycoplasmataceae*. Il a été isolé pour la première fois aux Etats-Unis dans les années 60. Il

s'agit du mycoplasme le plus pathogène du tractus respiratoire bovin en zone occidentale, notamment dans les pays indemnes de péripneumonie contagieuse du bovin, même si il est présent dans le monde entier. Plusieurs auteurs ont décrit sa distribution en Europe et l'apparition de résistances à certains antibiotiques. Aujourd'hui, aucun vaccin n'étant encore commercialisé, la prévention et le traitement des broncho-pneumonies causées par cette bactérie sont donc des enjeux majeurs dans la gestion des MRB. (Thomas, 2003). La fréquence d'identification de *M. bovis* dans les troubles respiratoires dépend du lieu et du type d'échantillon, mais aussi de l'âge des animaux prélevés. En effet, les animaux de 4 mois à un an d'âge semblent être plus fréquemment infectés. Elle dépend aussi du pays, et de l'état de santé de l'animal. *M. bovis* est rarement retrouvé chez des individus sains.

M. bovis interagit avec les neutrophiles et les macrophages, en neutralisant leur activité, à l'origine de son caractère pathogène chez les bovins. La bactérie adhère de façon non spécifique aux cellules épithéliales de la trachée et à la surface des lymphocytes via la protéine P26 ; il existe probablement d'autres récepteurs cellulaires. De plus, elle entraîne une apoptose des cellules de l'immunité, et elle empêche sa phagocytose selon deux mécanismes : l'évitement et l'inhibition. Ces deux phénomènes favorisent donc sa multiplication. Des auteurs ont montré que la bactérie produit aussi une toxine qui exacerbe la réponse inflammatoire en augmentant la perméabilité capillaire et en activant la cascade du Complément. L'expression clinique de la maladie est une pleurésie faiblement fibrineuse, une bronchopneumonie exsudative et subaiguë avec hyperplasie lymphoïde et infiltration de cellules mononucléées dans les voies respiratoires. La transmission est oro-nasale et l'évolution est rapide à l'échelle d'un lot. Les signes cliniques lors d'infection par *Mycoplasma bovis* sont divers. D'abord, nous observons des signes généraux comme de l'hyperthermie, de l'apathie, de l'anorexie, et progressivement un amaigrissement. Cette atteinte de l'état général est associée à des symptômes respiratoires spécifiques tels que le jetage, la toux et la dyspnée. Outre les troubles respiratoires, nous pouvons observer des signes associés comme une ou plusieurs arthrites chez le veau, une mammite, une infection du tractus génital, pouvant provoquer l'avortement chez la vache, mais aussi plus rarement une otite, un abcès méningé ou une kérato-conjonctivite chez le veau. La réponse immunitaire est principalement de type cellulaire avec une forte proportion de granulocytes neutrophiles dans l'espace broncho-alvéolaire. La détection du portage par sérologie reste controversée, mais peut se faire à partir de 10 à 14 jours.

1.2.4 Réponse à l'infection respiratoire

- Signes généraux

Les agents pathogènes respiratoires induisent des signes cliniques généraux non spécifiques comme de la fièvre, une baisse de la durée d'ingestion et de la quantité ingérée, un abattement, une augmentation du temps de couchage. Ces signes sont variables selon les pathogènes. Par exemple, l'infection par *M. haemolytica* va provoquer de la fièvre le jour de l'infection qui diminue les jours suivants malgré l'infection en cours. Ces signes sont consécutifs à la libération de cytokines. (Buczinski & Pardon, 2020)

L'augmentation de la température corporelle peut être mesurée par thermographie infrarouge. Cependant cette méthode peut être affectée par les conditions ambiantes et météorologiques. Une étude a enregistré la température de 110 taurillons à l'engraissement. Durant la période d'étude, 449 épisodes d'hyperthermie ont été enregistrés parmi lesquels 74% n'étaient pas associés à des signes cliniques. Parmi eux, 75% des épisodes étaient transitoires (moins de 47h) contre 25% dont la durée était prolongée. Des thermomètres réticuloruminaux permettent d'enregistrer en continu la température ruminale ; ils permettent d'identifier un changement de 0,5 à 5,7 jours plus tôt que l'apparition des signes respiratoires ou que l'observation humaine parvienne à le détecter. Ils sont donc utiles dans la détection précoce des troubles respiratoires. Une étude a mesuré les températures glissantes sur des pas de temps de 4 jours et les résultats suivants ont été obtenus.

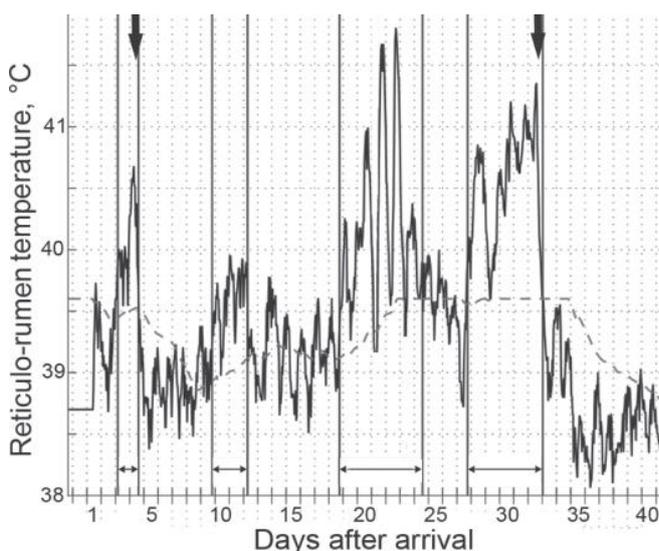


Figure 61 : Evolution de la température réticulo-ruminale mesurée chez un broutard au cours des 40 premiers jours après l'entrée en atelier d'engraissement – Source : Timsit 2011

La température de référence du réticulo-rumen (ligne pointillée), calculée comme la moyenne des températures prétraitées qui ont été enregistrées au cours des 4 jours précédents, est également indiquée. Quatre différences significatives (flèche horizontale) entre les températures prétraitées et la température de référence (c-à-d, correspondant à un épisode d'hyperthermie réticulo-ruminale) ont été identifiées à l'aide d'une méthode basée sur le test de la somme cumulative. Des traitements des maladies respiratoires bovines (flèches verticales) ont été administrés aux jours 4 et 32 après l'arrivée. Ils ont ensuite été mis en parallèle avec la prévalence du BRD et donne le graphique suivant :

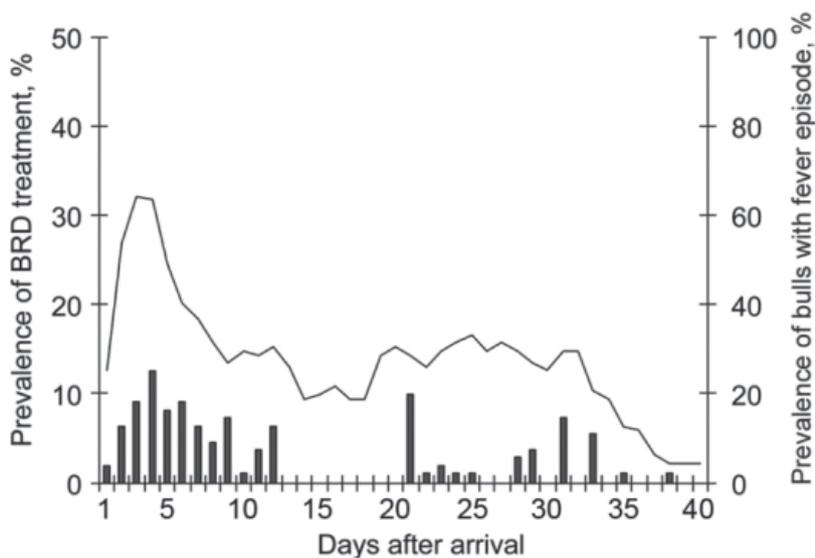


Figure 62 : Prévalence quotidienne (%) du traitement de la maladie respiratoire bovine (BRD) (histogramme ; nombre de traitements BRD par jour / 112 × 100) et prévalence quotidienne (%) des bovins avec un épisode de fièvre (courbe ; nombre de bovins qui ont eu de la fièvre épisode le jour indiqué / 112 × 100) chez 112 broutards équipés de bolus de mesure de la température du réticulo-rumen – Source : Timsit 2011

A noter que cette méthode est entachée de nombreuses détections faussement positives ; aussi, d'autres examens, cliniques notamment et l'établissement d'un diagnostic sont primordiaux avant d'initier un traitement (Buczinski & Pardon, 2020; Timsit et al., 2011).

- Signes cliniques respiratoires

Outre les signes généraux, nous observons des signes respiratoires lors de broncho-pneumonie. Nous pouvons observer de la toux, du jetage, une dyspnée.

	3 semaines	13 semaines	2 semaines avant abattage
Resp. anor.,%	3,7 ± 0,38	1,2 ± 0,10	0,7 ± 0,09
Jetage,%	6,3 ± 0,50	5,0 ± 0,45	6,8 ± 0,64
Toux,%	4,7 ± 0,30	4,2 ± 0,30	3,2 ± 0,31

Resp. anor. : Respiration anormale

Figure 63 : Prévalence des trois signes cliniques observés lors de troubles respiratoires (n=174) – Source : Lecruste 2010

A l'auscultation thoracique, l'augmentation de la fréquence respiratoire et l'identification de bruits respiratoires surajoutés sont les signes de référence. Or, l'examen clinique est soumis à la variabilité individuelle liée à l'opérateur. En effet, une étude a montré une faible fiabilité de l'auscultation (Krippendorff $\alpha = 0,18$ [0,01 ; 0,38]). Pour des animaux présentant des signes, l'auscultation devient plus sensible (0,929) et spécifique (0,896). (Lecruste, 2010)

- Réponse immunitaire et inflammatoire

Lors d'une infection par des agents pathogènes, l'organisme détecte leur présence via un certain nombre de composés dont des protéines de surface (appelés PAMPs pour Pathogen-Associated Molecular Patterns). Ces molécules, qui sont souvent propres aux agents microbiens, se lient à des récepteurs spécifiques appelés Pattern Recognition Receptors (ou PRR). Ces récepteurs peuvent être présents à la membrane de toutes les cellules de l'organisme ou le plus souvent, exprimés plus spécifiquement par les cellules de l'immunité innée dite non spécifique (macrophages, cellules dendritiques (DC) et mastocytes).

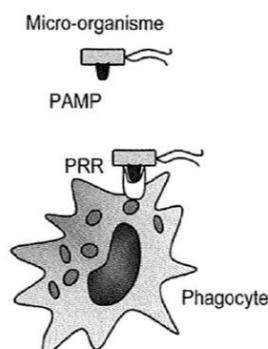


Figure 64 : Schéma de l'interaction PAMP-PRR lors d'une infection par un micro-organisme – Source : H. Daniels

Certains PRR sont intra-cellulaires, d'autres transmembranaires (comme les TLR) voire éventuellement être sécrétés. Ils sont aussi spécifiques des PAMPs avec lesquels ils interagissent : ainsi, TLR4 reconnaît le LPS des Gram -, TLR7 l'ARNsb des virus...etc. Leur engagement va ensuite activer les effecteurs cellulaires du système immunitaire pour initier l'élimination du pathogène (par la phagocytose par exemple) et la réponse inflammatoire par l'activation de gènes et la sécrétion de cytokines qui ont une action sur les autres cellules immunitaires et quelquefois sur tous les types cellulaires de l'organisme et des chimiokines (qui provoquent le chimiotactisme, c'est-à-dire le recrutement dirigé de cellules du sang vers le foyer de l'infection dans les tissus). Par l'augmentation de l'activité du facteur NF-kb qui induira la sécrétion de cytokine pro-inflammatoire (comme IL6 et TNF- α) et parfois d'interférons de type I (surtout pour les virus).

Les cytokines ont pour rôle de participer aux fonctions effectrices du système immunitaire, à la différenciation des cellules du sang, au développement des organes lymphoïdes. Elles ont un effet pro-inflammatoire : réponse pyrétique, vasoconstriction locale, adhérence vasculaire, augmentation de la phagocytose, coagulation, , synthèse des protéines de la phase aigüe (APP), augmentation de la production de glucocorticoïdes tels que le cortisol . Ce dernier entraîne à son tour une augmentation de la production d'haptoglobine et d'IL6. Les chimiokines sont impliquées dans les processus de migration et d'activation des granulocytes neutrophiles (GNN) qui réalisent la phagocytose, complétée par l'action des macrophages. Ce dernier sécrète alors différentes molécules pro- ou anti-inflammatoires (comme IL10, TGF β) selon la phase d'initiation ou de réparation de la réponse inflammatoire.

L'immunité acquise, qui permet une réponse spécifique de l'agent pathogène, nécessite plus de temps pour se mettre en place lors d'un premier contact. Les cellules présentatrices d'antigène (comme les cellules dendritiques et les macrophages) migrent vers les organes lymphoïdes secondaires et présentent l'antigène aux lymphocytes T qui le reconnaissent via le récepteur TCR (pour T-cell receptor). Deux types principaux ont été décrits : les lymphocytes CD4 dont le rôle est de coordonner la réponse, et les lymphocytes CD8 qui ont une activité cytotoxique, c'est-à-dire qu'ils sont capables de lyser la cible cellulaire qui présente l'antigène. Ils vont à leur tour activer les lymphocytes B, producteurs d'immunoglobulines (les anticorps) spécifiques de l'antigène (de différents isotypes : IgG, IgM, IgA, IgE et IgD) et qui sont solubles dans les fluides biologiques (plasma, lymphe, liquide interstitiel).

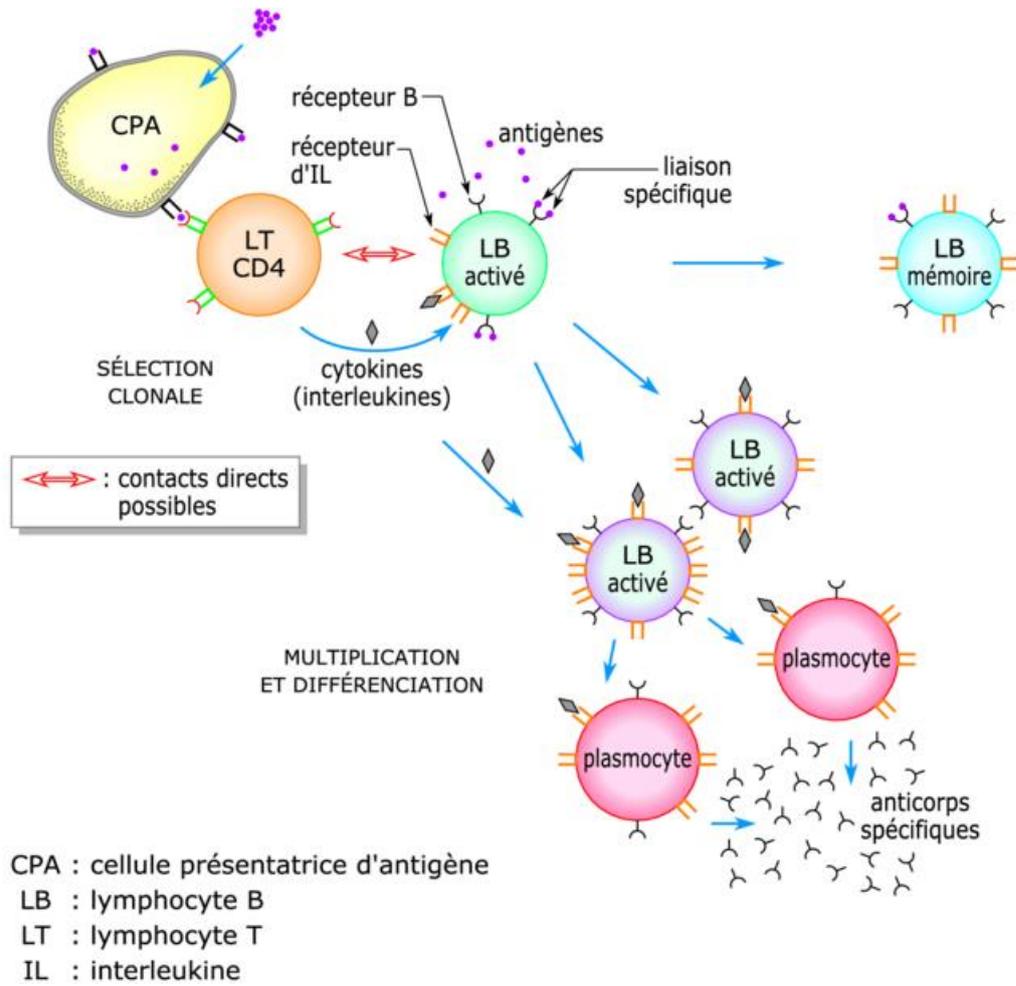


Figure 65 : Schéma du mécanisme de stimulation antigénique et production d'anticorps –
Source : H. Daniels

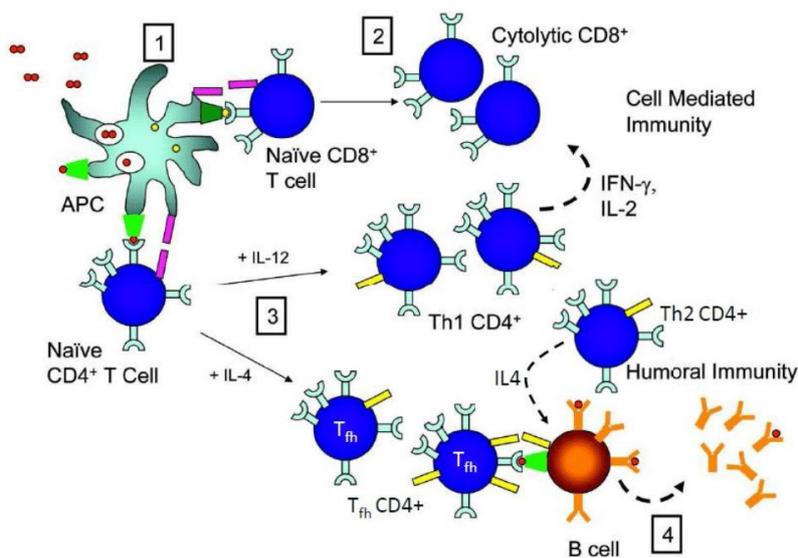
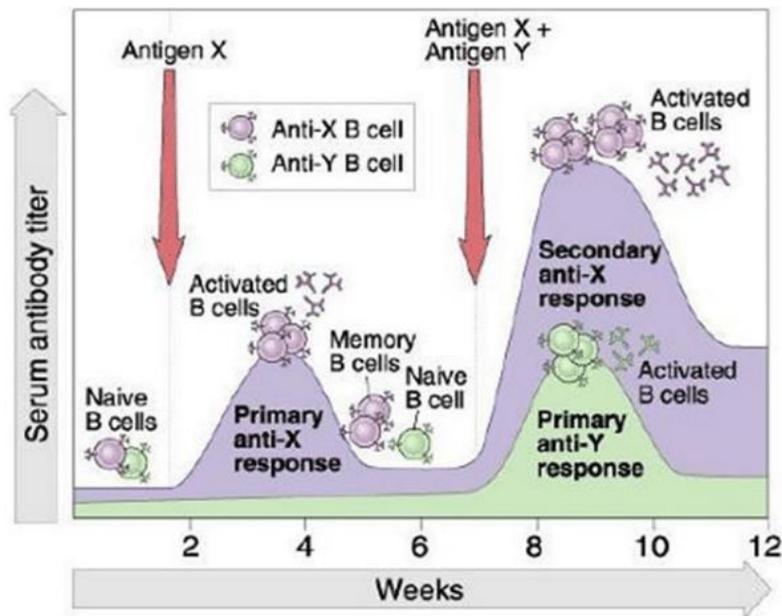


Figure 66 : Schéma du mécanisme d'activation des lymphocytes – Source : H. Daniels

Enfin, une partie des LT et des LB va être conservée sous forme de cellules dites mémoire soit dans la moelle (plasmocytes mémoire) qui sécrètent des Ac en permanence pour une réponse rapide, soit dans les organes lymphoïdes (nœuds lymphatiques, rate) pour garantir une réponse spécifique sur le long terme. Cette réponse est plus rapide en cas de nouveau contact avec un agent pathogène, en particulier au niveau des portes d'entrée de l'organisme. C'est le principe sur lequel repose la vaccination (Krehbiel, 2020).



*Figure 67 : Evolution du titre en anticorps sériques en fonction du temps après infection –
Source : H. Daniels*

- Examens complémentaires

Plusieurs catégories d'examen complémentaires sont à notre disposition, que ce soit l'imagerie médicale ou les dosages sanguins de diverses molécules.

Méthodes directes

L'échographie thoracique s'avère être une mesure objective (sensibilité : 0,63, spécificité : 0,46). Cette méthode, non invasive relativement précise et utilisable en routine, permet d'améliorer la qualité du diagnostic (Buczinski et al., 2014). Nous pouvons observer une modification des images pulmonaires avec notamment des images en queues de comètes, signant une pleurésie (figure 68), qui correspond à une accumulation sérique ou fibrineuse, ou un territoire qui n'est pas aéré, un abcès pulmonaire (figure 69) ou un épanchement (figure 70).

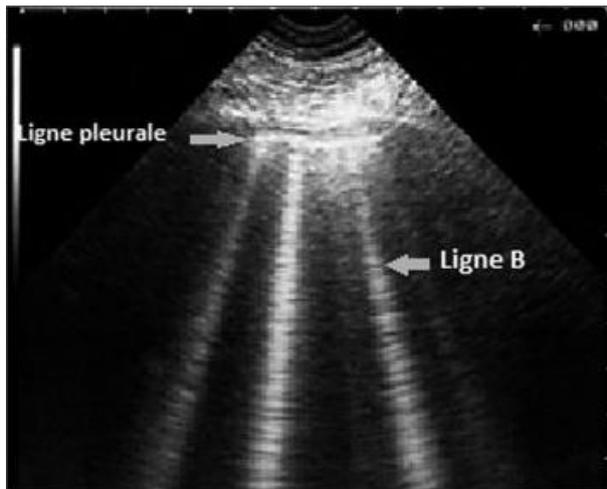


Figure 68 : photo d'une échographie pulmonaire chez un bovin avec une pleurésie ; image en queues de comète - Source : Noirez 2017



Figure 69 : photo d'une échographie de poumon chez un bovin avec des abcès pulmonaires

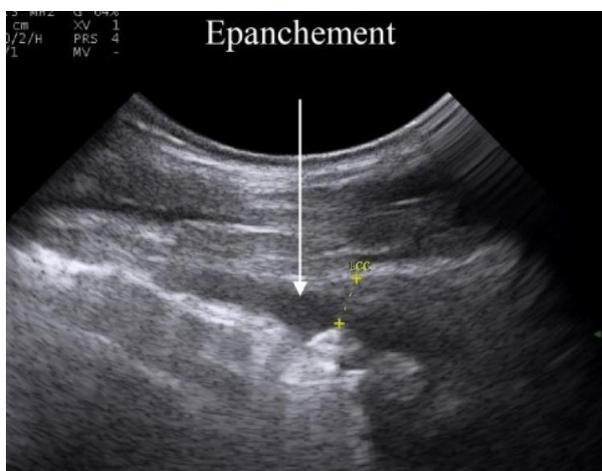


Figure 70 : photo d'une échographie de poumon bovin avec un épanchement pulmonaire

L'échographie a cependant des limites. Les caractéristique de la paroi (couche graisseuse, taille de l'animal, présence d'un emphysème, etc.) peuvent perturber l'observation (Noirez, 2017).

Plus récemment, l'utilisation de la thermographie infrarouge (IRT) de l'œil des bovins ou du planum nasale (la surface pigmentée, glabre et la plus rostrale du nez externe) permet d'identifier précocement l'apparition de troubles respiratoire. les scans thermographiques infrarouges de permet l'acquisition et l'analyse d'informations thermiques provenant de dispositifs d'imagerie sans contact (Schaefer et al., 2007). En effet, le dispositif détecte le rayonnement émis dans la gamme infrarouge du spectre électromagnétique et relève des valeurs anormales (Kim, 2014). Puis un algorithme assisté par ordinateur donne des résultats de 1 à 5 avec un score considéré comme anormal au-dessus d'une valeur de 2,65 (Buczinski & Pardon, 2020).

Méthodes indirectes

Des marqueurs sanguins, peuvent être utilisés pour le diagnostic des MRB. Tout d'abord, la modification de la numération/formule par l'augmentation du nombre des globules blancs (GB), dont les neutrophiles, permet de détecter une infection, mais la nature de l'infection ne peut pas être indiquée. A l'inverse, les protéines de la phase aiguë telles que l'haptoglobine, le fibrinogène, la sérum amyloïde A ou la protéine C réactive sont des molécules d'intérêt dans les troubles respiratoires.

L'haptoglobine et la sérum amyloïde A (SAA) sériques ont été décrites comme corrélées à une inflammation. Leur dosage permet de renseigner sur la présence d'un phénomène inflammatoire. Des auteurs comparant les deux molécules indiquent que la SAA est produite en présence d'une infection virale alors que l'haptoglobine est plutôt associée à une infection bactérienne. Cette même étude a montré que les variations de concentrations en SAA entre les animaux malades et les animaux sains seraient moins importantes par rapport à la variation des valeurs de l'haptoglobine. L'haptoglobine, aurait selon certaines études une sensibilité comprise entre 61% et 100%, et une spécificité de 80% à 100% ; pour d'autres, la sensibilité serait de 46% et la spécificité de 82% dans une étude réalisée sur des veaux laitiers. En conclusion, La SAA est plus sensible et varie plus précocement, mais l'haptoglobine apparait être un meilleur marqueur de la maladie sur le terrain car sa variation est plus grande et plus prolongée (Ollivett 2020 ; Buczinski, Pardon 2020).

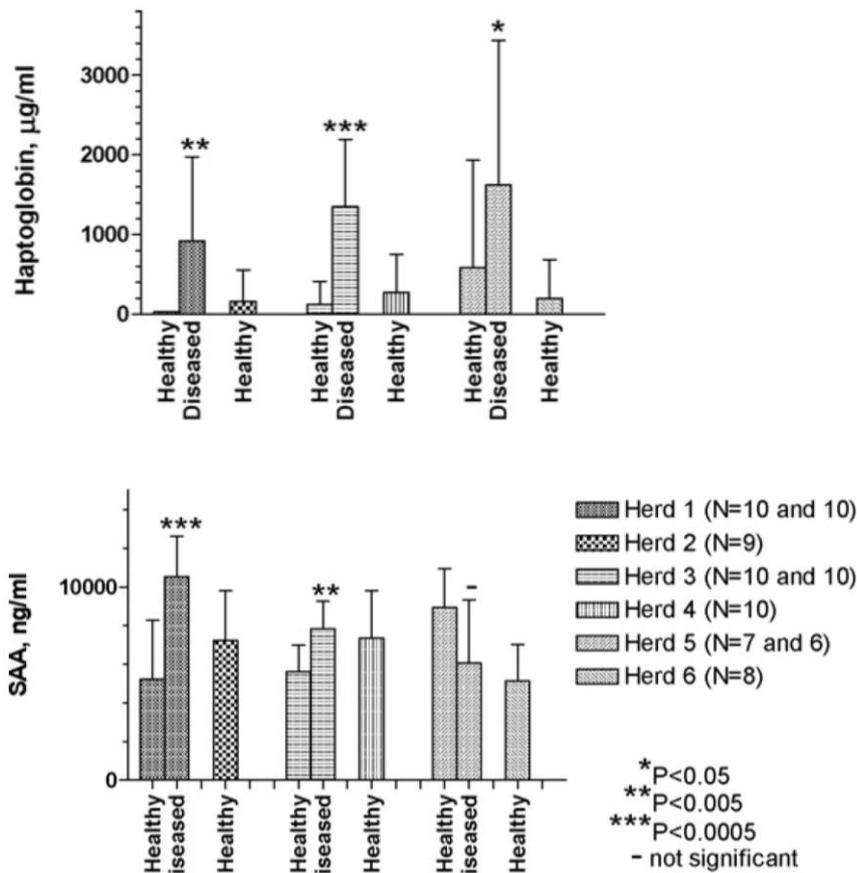


Figure 71 : Concentrations de l'haptoglobine et de la SAA dans les différentes populations animales échantillonnées dans plusieurs fermes – Source : Angen 2009

Enfin, la recherche du ou des agents pathogènes impliqués peut se faire après prélèvement d'échantillons biologiques dans les voies respiratoires. Il s'agit notamment de la réalisation d'écouvillons nasaux ou nasaux-pharyngés, et du lavage broncho-alvéolaire.

Ils sont pertinents pour la mise en évidence des virus dans les voies respiratoires hautes. A l'inverse, pour les bactéries, l'intérêt du prélèvement respiratoire proximal est réduit puisque des études ont montré que 63% des veaux en bonne santé étaient porteurs de bactéries commensales parmi celles responsables du CRB. Les analyses réalisables à partir de ces échantillons sont des isolements bactériens, des analyses par qPCR, un examen sur frottis après coloration, et l'utilisation de l'immunohistochimie.(Buczinski & Pardon, 2020)

- Signes lésionnels

Les BPIE provoquent l'apparition de lésions pulmonaires qui sont identifiables à l'autopsie ou à l'abattoir. La proportion d'animaux porteurs de lésions identifiées à l'abattoir

est supérieure à celle des animaux vus malades. En effet, une méta-analyse a révélé que seulement 3 à 56% des jeunes bovins à l'engraissement présentant des lésions pulmonaires, avaient été détectés malades sur la base de l'examen clinique. Il y a donc une sous-estimation forte des BPI du vivant de l'animal (Assié et al. 2009 ; Buczinski, Pardon 2020).

L'examen nécropsique est donc fondamental dans l'analyse prospective, mais aussi rétrospective du CRB. Il permet non seulement de suspecter les agents pathogènes responsables des troubles si la mort est récente et que des prélèvements sont réalisés dans de bonnes conditions de conservation, mais aussi pour des animaux récemment vus malades et qui n'ont pas reçu de traitement. En effet, lorsque la pneumonie est chronique, l'agent étiologique ne peut le plus souvent pas être identifié. Seuls les germes de surinfection sont alors présents, ce qui peut fausser l'interprétation de l'étiologie des troubles et la prise en charge thérapeutique des animaux restants ou du lot suivant.

Ces examens permettent aussi d'évaluer le niveau d'exposition des animaux afin de mettre en place des mesures correctrices à l'échelle d'un atelier ou d'une filière. Une échelle de score a été proposée avec une note comprise entre 0 (absence de lésion) et 3 (lésions sévères) pour faciliter l'exploitation de ces données. Dans une étude, $50,7 \pm 1,4\%$ des veaux avaient des lésions à l'abattage, parmi lesquels, $29,1 \pm 0,8\%$ avec des lésions légères, $13,9 \pm 0,6\%$ avec des lésions modérées, et $7,7 \pm 0,7\%$ avec des lésions sévères. Ces lésions n'étaient corrélées de façon significative (0,21 à 0,49) à l'observation de signes cliniques respiratoires que si elles étaient modérées à sévères, confirmant la meilleure sensibilité diagnostique de l'observation lésionnelle par rapport à l'examen clinique (Lecruste, 2010).

1.3 Le pré-conditionnement des bovins avant l'entrée en atelier d'engraissement

1.3.1 Définition

La maîtrise et la prévention du CRB est l'un des principaux enjeux sanitaires de l'élevage bovin allaitant, et en particulier dans la phase d'élevage en atelier d'engraissement, tant d'un point de vue médical, économique qu'éthique. Dans cette partie, nous allons voir que le pré-conditionnement ou préparation à cette phase d'élevage propose de nombreuses pistes d'amélioration pour la prévention des troubles respiratoires.

Même si de plus en plus d'études visent à encourager les producteurs (que ce soit en élevage naisseur ou engraisseur) à adopter une série de bonnes pratiques, il faut toutefois rester vigilant sur les limites de chacune d'entre elles. En effet, il convient certes d'identifier

clairement les facteurs de risques mais surtout de préciser leur contribution dans chaque situation d'élevage, et presque au cas par cas (Chassan, Vanbergue [2020]).

Cet ensemble de mesures préventives débute dès la naissance du veau, alors que le pré-conditionnement s'adresse principalement aux broutards avant l'entrée en engraissement, le plus souvent la suite de la vente en vif, et donc à la suite d'un changement d'élevage et de propriétaire. Cet élément est une contrainte, voire un obstacle depuis longtemps, au développement des mesures qui visent à préparer le jeune bovin à la période d'engrais.

Pour l'essentiel, il s'agit de réduire les facteurs de risques de bronchopneumonie qui ont été décrits précédemment : facteurs liés au système d'élevage, à l'environnement, à l'animal, et plus globalement au stress produit par le changement des conditions d'élevage.

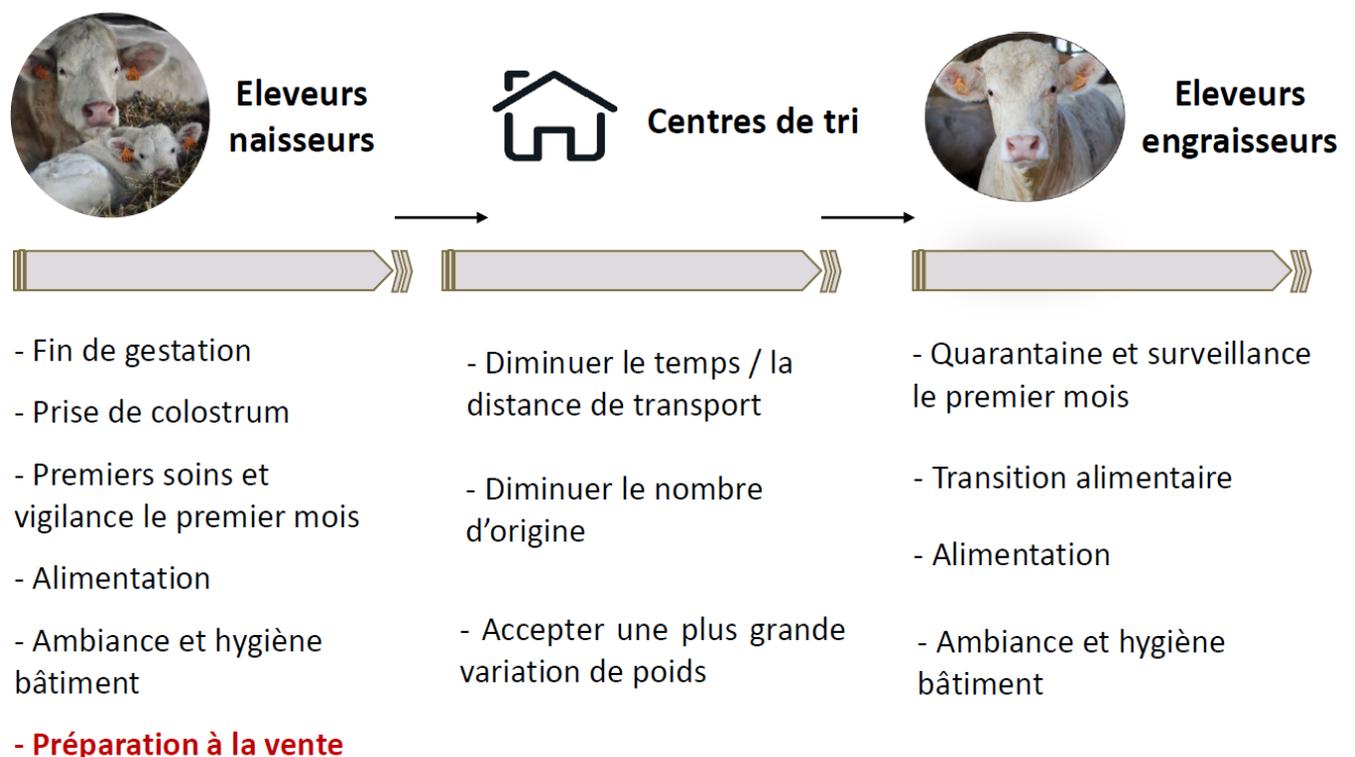


Figure 72 : points clés des facteurs zootecniques à prendre en compte pour réduire le risque de BPIE dans les élevages naisseurs, les centres de tri et les élevages engraisseurs – Source : Mounaix 2020

Améliorer le statut sanitaire des broutards pour prévenir les troubles respiratoires en engraissement est une préoccupation actuelle forte tant des acteurs de la filière d'élevage bovin que du domaine du conseil en élevage et de la recherche. C'est pour cela que de nombreuses

études françaises ou internationales ont pour objectif d'optimiser le pré-conditionnement. C'est aussi un engagement de toute la filière. Récemment, INTERBEV a mis en place un cahier des charges visant à définir et à encadrer une forme de préparation en attribuant la mention « *broutards préparés* » aux animaux respectant ce cahier des charges. Cette préparation est essentiellement centrée sur la vaccination et la traçabilité de cette dernière. De plus, ce cahier des charges prévoit une gratification (du cout de la préparation) pour l'élevage naisseur qui commercialise un animal pré-conditionné.

Les différentes interactions entre les principaux chainons de cette filière sont présentées dans le graphique ci-dessous. Les flèches bleues correspondent aux effets favorables alors que celles en rouge ciblent ceux qui sont défavorables dans ce contexte (Richeson & Falkner, 2020)

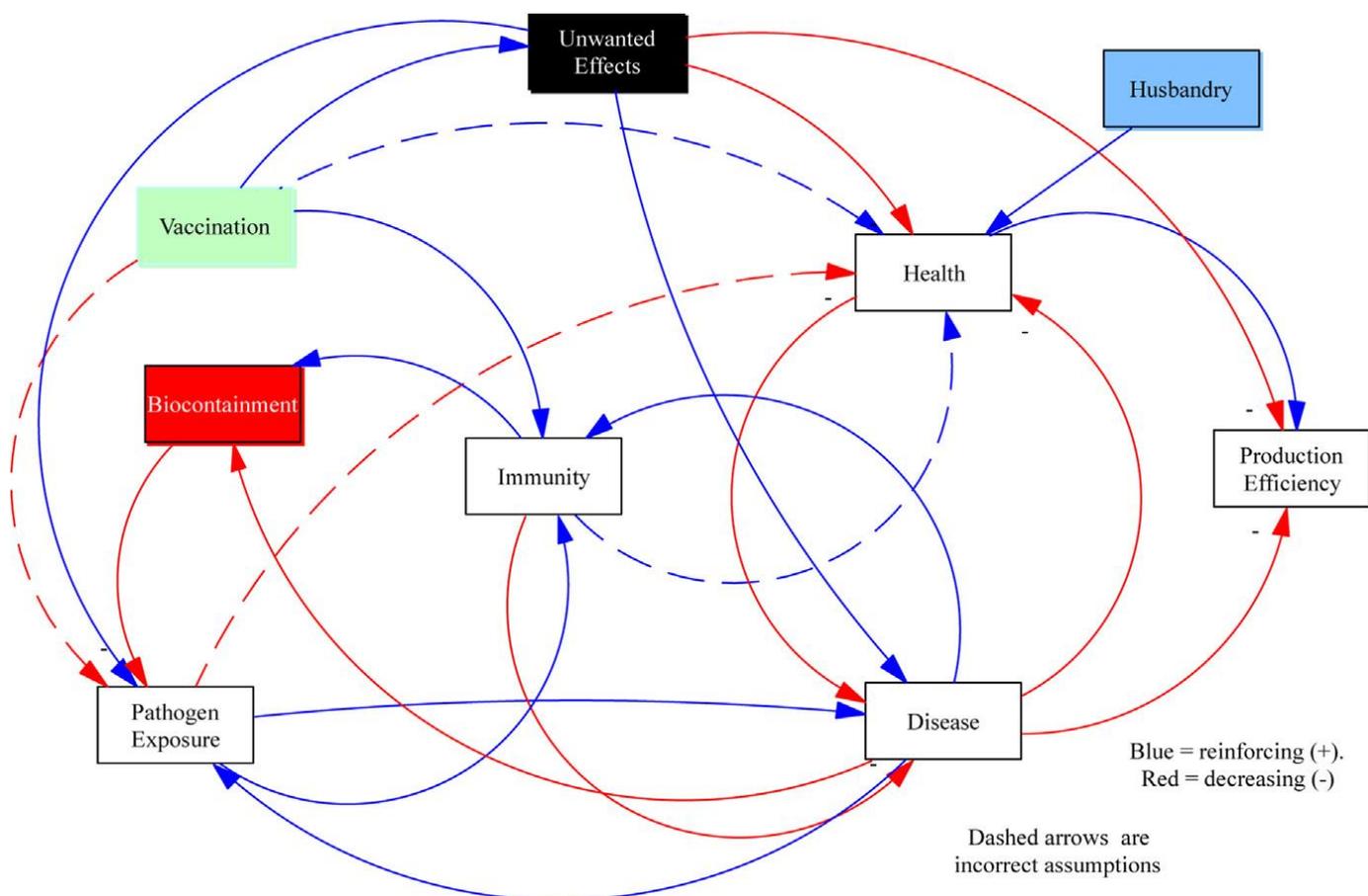


Figure 73 : Schéma des interactions entre les différents facteurs (humains, sanitaires, zootechniques, immunitaires) intervenant dans l'apparition des troubles respiratoires (Version simplifiée)

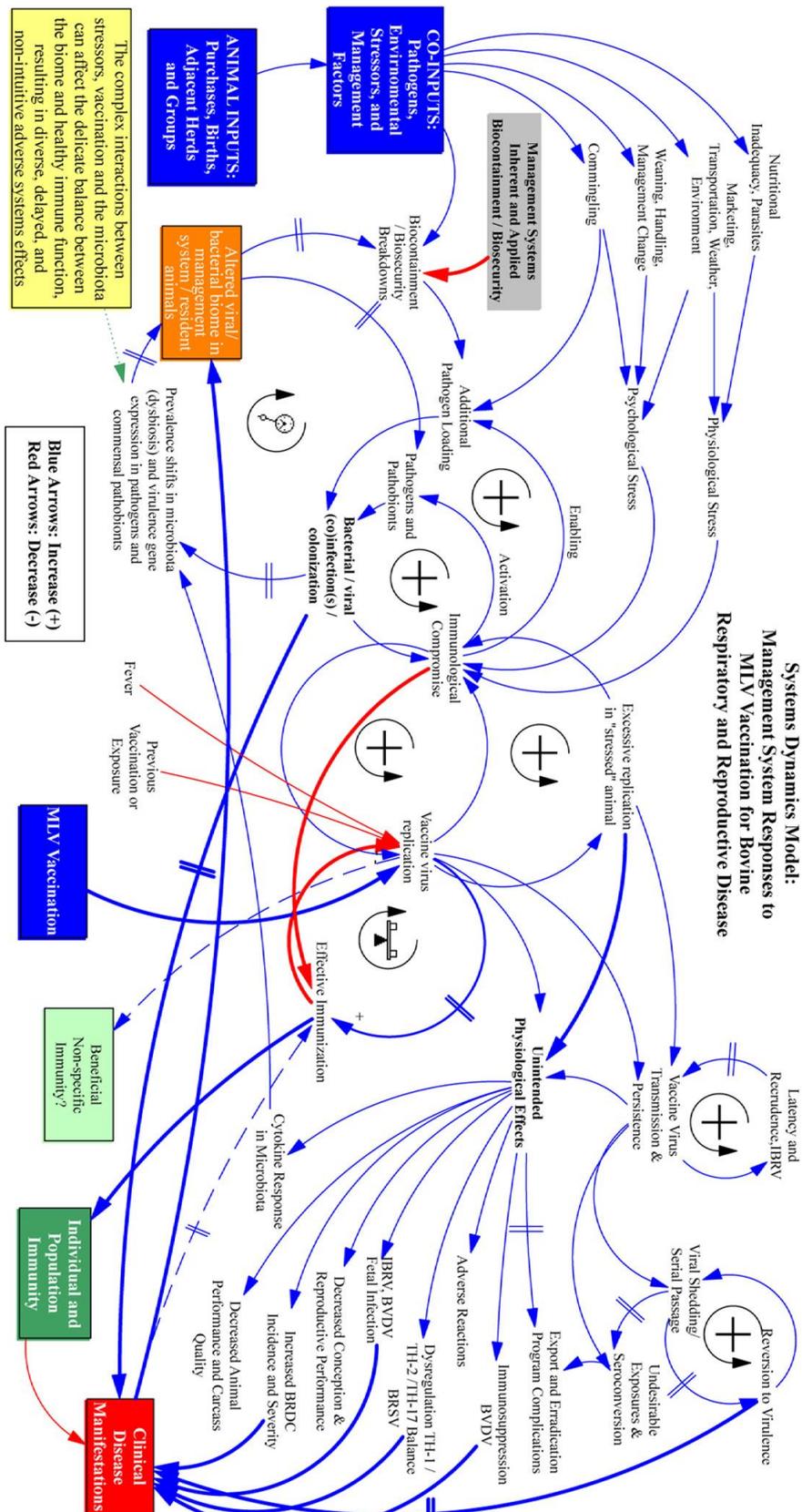


Figure 73 bis : Schéma des interactions entre les différents facteurs (humains, sanitaires, zootechniques, immunitaires) intervenant dans l'apparition des troubles respiratoires (Version complète)

En somme, les enjeux du pré-conditionnement sont de placer l'animal dans des conditions favorables pour lui permettre d'avoir un équilibre entre statut immunitaire renforcé, apports alimentaires suffisants et adaptés pour une croissance optimisée tout en limitant l'exposition aux agents pathogènes dans le contexte de la phase d'engrais.

1.3.2 Objectifs et intérêts du pré-conditionnement

Les enjeux du pré-conditionnement sont multiples. Comme l'apparition du CRB a des causes multiples, il convient d'associer les mesures préventives alors que l'objectif est global et vise à diminuer le nombre d'animaux malades. Le premier but est de diminuer les pertes économiques induites par la mortalité, le déclassement des carcasses en lien avec la réduction du GMQ, et le recours à des traitements notamment avec des antibiotiques. En même temps il permet d'améliorer le bien être animal en réduisant les périodes de stress intense et en évitant l'apparition de signes cliniques, dont des difficultés respiratoires. Les pratiques visant à réduire les facteurs de stress comme la gestion du sevrage ou la réduction du temps de transport semblent aussi efficaces que la vaccination contre les agents respiratoires.

Une étude a comparé deux lots issus du même élevage avec ou sans vaccination. Il n'y avait pas différence significative entre les lots mais les animaux sevrés et engraisés sur place avaient de meilleurs résultats zootechniques que ceux qui avaient été transportés dans des centres d'engraissement (Richeson & Falkner, 2020)

- Le bien-être animal

Le pré-conditionnement et la vaccination permettent non seulement d'améliorer les performances des animaux, mais aussi de diminuer les conséquences cliniques d'une infection par le CRB. Le bien-être animal est aujourd'hui un enjeu important des productions animales, non seulement à cause du développement des méthodes d'évaluation du bien-être animal, mais aussi à cause d'une demande sociétale forte et des prises de position des éleveurs et de la filière en réponse à cette demande. Cela s'accompagne notamment par un durcissement de la réglementation, mais aussi le recours à des images de marque avec des labels.

A titre d'exemple, INTERBEV porte un pacte pour un engagement sociétal. Ces initiatives bien que motivées par un but marchand, promeuvent une démarche d'amélioration des pratiques. Cela conduit notamment à l'utilisation d'une grille d'évaluation du bien-être des animaux de race à viande. La filière d'engraissement des bovins est favorable à l'apparition de

troubles susceptibles d'affecter le bien être animal, aussi bien d'un point de vue sanitaire (maladies respiratoires), des interactions entre congénères (regroupement d'un grand nombre d'animaux d'élevages différents), du mode d'élevage (croissance rapide en claustration à des fins d'abattage et de production d'aliments carnés).

A l'inverse, les méthodes d'évaluations sont difficiles à mettre en place, étant donné l'effectif d'animaux à évaluer, l'organisation en parcs d'animaux sans contention, et le peu d'études scientifiques sur ce sujet. C'est la raison pour laquelle des projets comme le projet BeBop vise à déployer des méthodes d'évaluation selon des indicateurs de bien être propres aux jeunes bovins à l'engraissement. Cette évaluation passe par le développement de modèles d'analyse du comportement via des systèmes d'enregistrement vidéo comme des caméras mais aussi, de mettre en place des protocoles de récolte d'indicateurs basés sur l'évaluation de l'état corporel, sanitaire, de la relation homme-animal et entre les congénères, la répartition spatiale des animaux pour évaluer la qualité des conditions de logement. (IDELE, 2020)

- Réduction des pertes économiques

Le poids du CRB pour les élevages est aussi financier. Quelques chiffres permettent de décrire cet impact. Le coût d'un épisode de maladie respiratoire chez un veau allaitant coûte en moyenne 125€ dans l'élevage naisseur, et plus de 60% des éleveurs déclarent observer au moins quelques cas de veaux avec des troubles respiratoires. Chez l'engraisseur, le phénomène s'intensifie avec près de 70% des taurillons avec des signes respiratoires. (Mounaix, 2020a)

Outre la réduction de la croissance, le coût des traitements et autres frais vétérinaires, ainsi que la mortalité, pèsent lourd sur un budget déjà fragile à cause des fluctuations du marché. En effet, dans un élevage sur 8, 20% du revenu est perdu à cause des troubles respiratoires. Une étude a fourni des informations sur l'impact économique des maladies respiratoires des veaux non sevrés dans le système naisseur charolais des pays de la Loire. Le tableau ci-dessous présente la diminution du revenu en fonction de l'incidence des BPIE.

Critère de résultat	Ecart au groupe Incidence nulle (kF)			
	Incidence faible	Incidence modérée	Incidence élevée	Conséquences graves
Réduction d'EBE (avant MSA)	-3,3	-3,8	-3,5	-34,9
Réduction de revenu	-2,5 -2,0 ‰	-2,8 -2,2 ‰	-2,6 -2,1 ‰	-26,2 -20,8 ‰

*Figure 74 : Réduction des revenus annuels en fonction de l'écart à l'incidence de BPIE nulle –
Source : Assié 2001*

On remarque donc que plus le nombre d'animaux atteints est élevé, plus la perte de revenu est grande dans une fourchette comprise entre 2 et plus de 20%. De plus, dans cette étude, seules les charges opérationnelles ont été incluses. Les charges de structure, les couts liés à l'occupation improductive des bâtiments, au temps passé pour les soins aux animaux malades n'ont pas été pris en compte. Nous pouvons supposer que les pertes économiques sont donc encore plus élevées que celles décrites dans cette étude. La connaissance de l'ensemble des facteurs de risque et leur anticipation (la vaccination et le pré-conditionnement) permettent de réduire les conséquences économiques. D'autres études ont fait la même estimation avec des pertes estimées jusqu'à 26% du revenu.

La diminution des performances des animaux semble être le facteur qui a le poids le plus lourd sur la réduction de budget d'un atelier d'engraissement en lien avec les troubles respiratoires (Assié et al., 2001).

- Croissance et gain moyen quotidien

Des essais ont permis d'évaluer l'impact de la vaccination sur le GMQ en engraissement. Trois groupes ont été constitués : un groupe vacciné chez le naisseur (V1), un groupe avec une injection de primo-vaccination chez le naisseur et la seconde en centre de tri (V2), et le troisième groupe ayant été vacciné en centre et une fois arrivé dans l'atelier d'engrais.

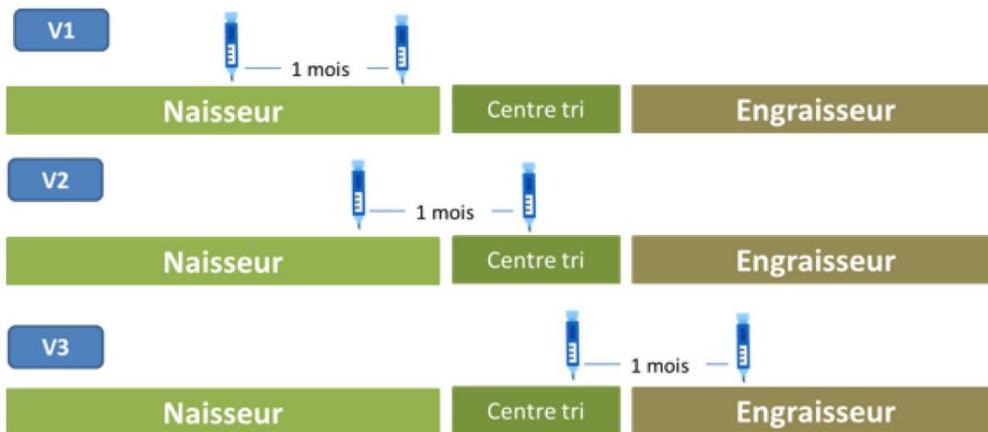


Figure 75 : Schémas des différents protocoles vaccinaux (V1, V2, V3) – Source : Chassan 2020

Les résultats montrent que le GMQ est significativement plus élevé si les animaux sont vaccinés précocement ; la durée d’engraissement était en conséquence plus faible.

Tableau 6 : GMQ (en kg/j) et durée d’engraissement (j) en fonction des différents protocoles vaccinaux (V1, V2, V3) – Source : Chassan 2020

Modalité vaccinale	V1	V2	V3
GMQ (Kg/J)	1.54*	1.42*	1.36
Durée d’engraissement (j)	207	241	277

Le bilan sur 15 735 jeunes bovins allotis est sans équivoque : les animaux obtiennent en moyenne une croissance supérieure de 28g/jour si une proportion de 50% à 100% de l’effectif est vaccinée. (Chassan, Vanbergue, 2020)

Une autre étude indique que les valeurs de GMQ semblent décroître dans les lots vaccinés tardivement dans 4 des 6 élevages engraisseurs suivis dans l’étude.

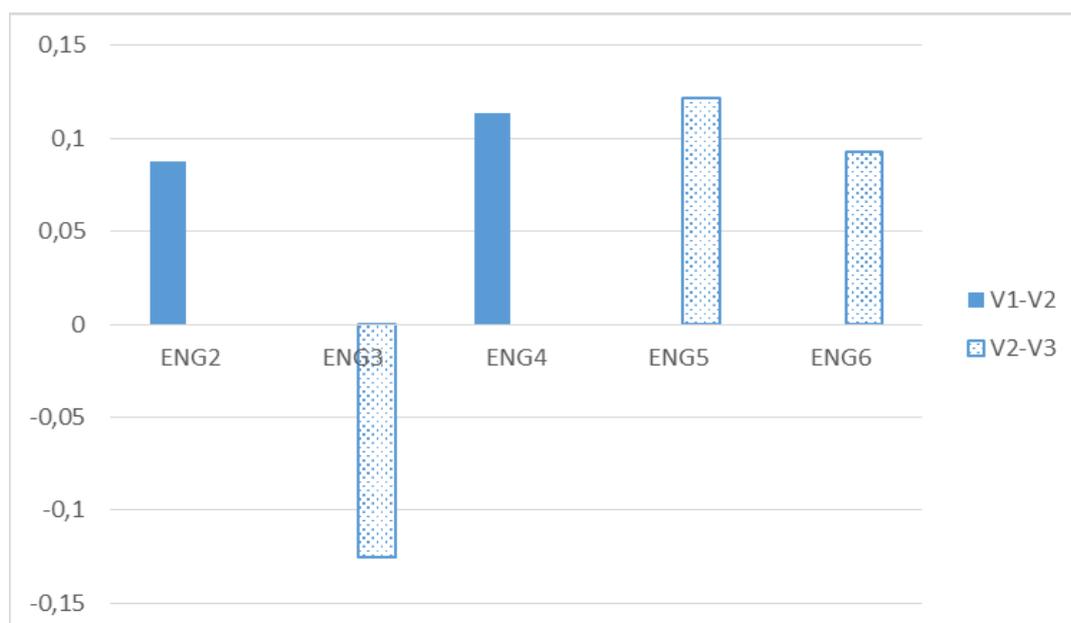


Figure 76 : Ecart de GMQ moyens entre animaux d'un même élevage engraisseur selon le protocole vaccinal (données brutes non corrigées) avec V1-V2=différence entre les lots V1 et V2 et V2-V3=différence entre les lots V2 et V3 – Source : Mounaix 2018

Tableau 7 : Résultats zootechnique globaux (données brutes non corrigées) – Source : Mounaix 2018

	V1	V2	V3
GMQ moyen (Kg/J)	1.54	1.42	1.36
Poids carcasse moyen (Kg)	447	437	432
Durée d'engraissement moyenne (jours)	207	241	277

En prenant en compte les effets Elevage, Atelier et Lot, aucun effet du protocole vaccinal n'a été mis en évidence en considérant la proportion d'animaux vus malades ou ceux traités par les éleveurs. Enfin, l'examen lésionnel des 29 animaux à l'abattoir indique la présence de lésions pulmonaires chez un plus grand nombre d'animaux parmi ceux vaccinés tardivement (Mounaix, 2018)

La conclusion semble être que la vaccination n'empêche pas l'apparition des signes cliniques mais qu'elle diminue l'expression clinique, la fréquence ou la sévérité des lésions pulmonaires. Elle est associée en outre à un GMQ plus élevé.

- Réduction de l'utilisation des antibiotiques

La réduction de la consommation d'antibiotiques en élevage est la conséquence de plusieurs facteurs. D'un côté, la diminution de la prévalence des troubles respiratoires permet de réduire la transmission entre animaux et l'apparition des MRB. La proportion d'animaux avec des troubles cliniques est capitale car au dessus du seuil de 15%, le recours à la métaphylaxie, c'est-à-dire l'administration d'un traitement antibiotique à tous les animaux d'un lot, qu'ils expriment ou pas des signes cliniques, devient possible dans le but d'enrayer une épizootie respiratoire.

La métaphylaxie, au moment de l'entrée en centre d'engraissement ou si un nombre élevé d'animaux est malade était une pratique jusque-là très courante ; elle permet de réduire significativement la mortalité. Cette pratique, peut se justifier non seulement d'un point de vue sanitaire mais aussi d'un point de vue du bien être animal, dans le but de prévenir l'apparition des troubles. Elle est encore très fréquemment utilisée en engraissement. Elle doit dans tous les cas être raisonnée et tenir compte de facteurs tels que l'état sanitaire des animaux, des caractéristiques de l'exploitation (taille, qualité du bâtiment, ...), de la technicité de l'éleveur et du contexte épidémiologique.

Cependant, outre le coût, ces pratiques ont été pointées par l'ANSES comme à risques car susceptibles de favoriser le développement d'antibiorésistances. Il convient donc de travailler sur la prévention des troubles plus que dans la gestion des troubles cliniques une fois qu'ils sont apparus. Cela passe notamment par la mise en place de protocoles à l'échelle de la filière tout entière pour réduire les facteurs de risque, et ce, avant même l'entrée en engraissement.

Plus la vaccination est précoce, moins les animaux sont vus malades. De plus, cela abaisse aussi le nombre d'animaux traités ce qui suggère que même malades, certains animaux ne présentent pas de signes cliniques conduisant à l'administration d'un traitement par l'éleveur. La vaccination diminue donc doublement le recours à un traitement. (Mounaix 2018 ; Taylor et al. 2010 ; Fanuel 2012).

Tableau 8 : Résultats sanitaires globaux (données brutes non corrigées) – Source : Mounaix 2018

	V1	V2	V3
Animaux observés malades par les éleveurs	16%	17%	29%
Animaux traités par les éleveurs	4%	8%	5%

1.3.3 Alimentation

- Transition alimentaire

Parmi les aspects majeurs de l'alimentation des bovins destinés à l'engraissement, un des avantages du pré-conditionnement est le respect de la transition alimentaire. En effet, les aliments d'engraissement sont généralement très différents de ceux distribués ou consommés avant le sevrage. En effet, les veaux ne sont généralement pas habitués à consommer des aliments préparés et riches en concentrés. L'avantage de la préparation est d'apporter ces aliments de façon progressive afin de préparer le microbiote ruminal, et plus généralement digestif à cette nouvelle ration. La transition alimentaire doit se faire sur une durée de 3 à 4 semaines. Réalisée correctement, elle permet un meilleur démarrage de la croissance des jeunes bovins et réduit le risque d'acidose ruminale. La ration doit bien sûr être adaptée en fonction du contexte, de l'animal, et de ses besoins pour maintenir une cinétique de croissance optimale (Mounaix 2020).

Outre l'aspect physiologique digestif, la préparation permet aussi d'adapter le comportement alimentaire. Cela est possible par exemple par l'introduction d'animaux plus âgés, habitués aux parcs comme des vaches de réforme à l'engrais par exemple, pour éduquer les jeunes. Une étude a montré des améliorations significatives de ce genre de méthodes en début de phase d'engrais.

- Abreuvement

Un autre point important en engraissement est l'abreuvement. En effet, un jeune bovin consomme entre 50 et 60L d'eau par jour lorsqu'il est dans sa zone de confort. L'accès à l'eau est donc primordial. Il est recommandé de mettre à disposition un abreuvoir pour 15 animaux

de plus d'un an, puis au plus 13 entre 1 et 2 ans. Les abreuvoirs à niveau constant (ou idéalement le même type que dans l'élevage naisseur) permettent une adaptation facilitée. (Mounaix 2020).

- Oligo-éléments et vitamines

Les apports nutritionnels en oligo-éléments et vitamines sont importants à considérer chez les jeunes bovins en croissance et en raison de leurs rôles dans l'immunité vis-à-vis des infections respiratoires. Des études ont évalué l'intérêt des apports de potassium, de thiamine et de vitamines (A, B, C, D et E) et de protéines non dégradées dans le rumen. Il ne s'avère qu'aucun de ces compléments ne réduit la fréquence des troubles respiratoires de façon significative. Les apports des vitamines au-delà des recommandations n'ont pas de bénéfice sur la réduction de la morbidité liée au CRB, à l'exception de la vitamine C, en complément et simultanément à un traitement qui semble réduire la mortalité. D'autres études ont évalué l'apport de cuivre, zinc, vitamine E et sélénium. L'impact de ces apports d'oligo-éléments et vitamines sur l'occurrence du CRB a aussi été évalué mais les résultats obtenus ne sont pas concluants. Par contre, les deux derniers composés (Se et Vit E) ont une action sur la réponse immunitaire, et notamment la réponse anticorps après vaccination (Taylor et al. 2010).

1.3.4 Immunité anti-infectieuse

- Eviter les comorbidités

Pour une réponse immunitaire optimale, il faut veiller à ce que le statut infectieux et parasitaire, nutritionnel, et immunitaire soit bon (Richeson & Falkner, 2020). Dans cette étude, les auteurs rapportent que la population de veaux étudiée après l'inoculation de toxines bactérienne de *Clostridium* avait 3,2 fois plus de chance d'être traités pour le CRB et avait une mortalité 8,3 fois supérieure par rapport au lot témoin négatif. De plus, le gain de poids sur les 85 jours de l'étude était inférieur de plus de 4,6 kg par rapport aux animaux témoins.

- Vaccination contre les maladies respiratoires

Des études montrent un effet significatif de la vaccination sur les performances de croissance des jeunes bovins. La prise de poids des animaux vaccinés précocement est supérieure de 40 kg, et la durée d'engraissement inférieure d'environ 2 mois. Une baisse de la morbidité et une diminution du nombre de traitements sont des motivations supplémentaires pour acheter des animaux préalablement vaccinés. (Mounaix, 2018)

Cependant, les valences vaccinales utilisées sont à prendre en compte, en fonction du contexte et des risques infectieux préalablement identifiés.

A l'inverse, les agents dont la variabilité antigénique est réputée grande sont susceptibles de ne pas fournir une protection globale contre tous les isolats après vaccination. La vaccination permet de réduire la fréquence des infections, l'expression clinique ou la durée d'excrétion, mais en aucun cas, elle ne peut se substituer aux bonnes pratiques zootechniques qui visent à diminuer l'exposition et la transmission des pathogènes (Callan & Garry, 2002). En somme, il faut considérer le vaccin comme faisant partie d'un système de gestion des maladies respiratoires.

De plus, le stockage et l'administration des vaccins doivent être réalisés selon les recommandations du fabricant. Les animaux doivent être en bonne santé, non soumis à des facteurs de stress et être immunocompétents pour prévenir un échec de la vaccination et obtenir des réponses de bonne qualité. Enfin, une deuxième injection est nécessaire chaque fois qu'un vaccin inactivé est utilisé pour assurer une bonne réponse vaccinale.(Callan & Garry, 2002)

L'évaluation de la vaccination contre le CRB est souvent réalisée dans des conditions expérimentales, mais une fois confrontée aux conditions terrain, les résultats sont parfois différents. Cela est lié à un ensemble de facteurs liés non seulement à la vaccination elle-même (calendrier des injections vaccinales, modalités), d'exposition aux agents pathogènes, de la présence de facteurs de risque majeurs et d'organisation, qui peuvent avoir globalement des effets et conduire à des conclusions différentes de celles présentées dans les études ayant permis l'autorisation de commercialisation du vaccin (Richeson & Falkner, 2020).

- Effet de l'immunité des vaches

Une étude a montré que la vaccination des mères contre les maladies respiratoires avant la mise bas offrait une protection des jeunes via l'immunité colostrale, notamment dans les premières semaines de vie de l'animal. Les auteurs ont comparé des veaux de boucherie issus de vaches « tout-venant » par rapport à des vaches vaccinées.

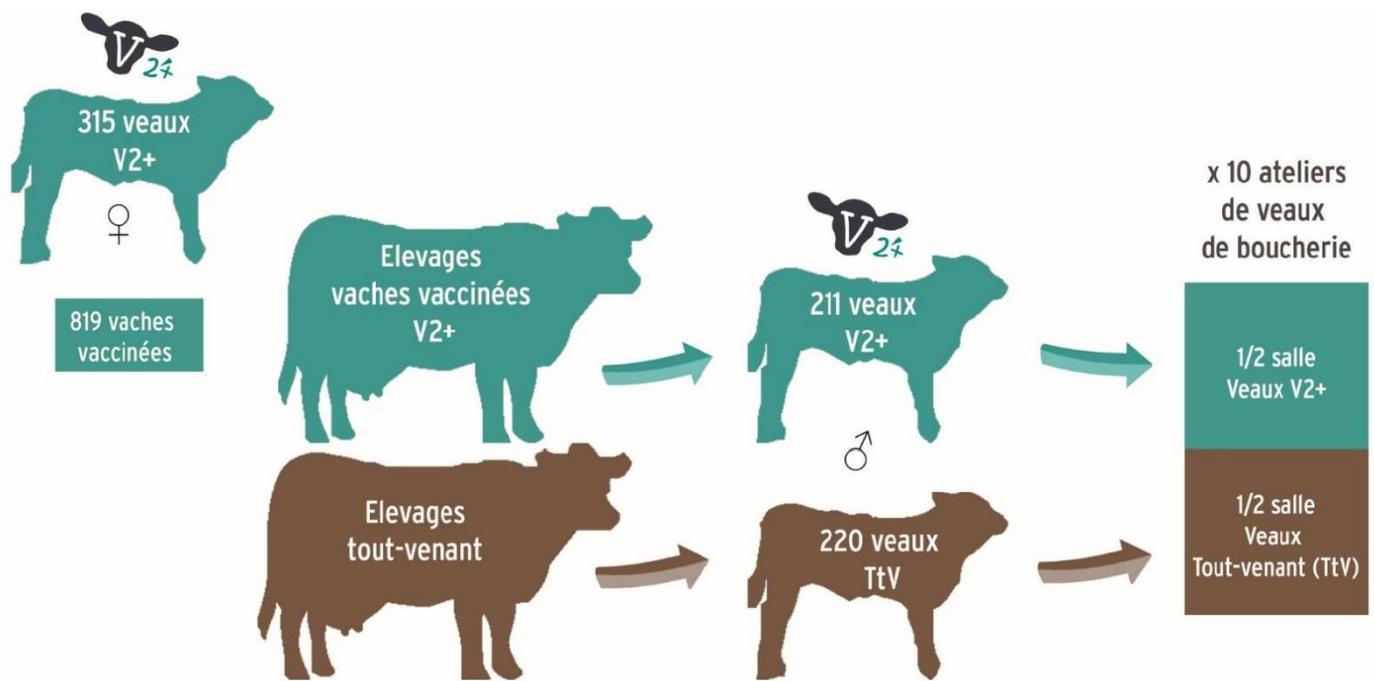


Figure 77 : Schéma de présentation de l'étude de comparaison des veaux issus de vaches vaccinées ou tout venant – Source : Mounaix 2019

L'étude montre que sur 431 veaux mâles, la mortalité des veaux issus de mères vaccinées était de 2,8% ($6/211 \times 100$) contre 11,8% ($26/220$) pour les veaux issus de mères tout-venant, soit une différence d'un facteur quatre. Malgré des causes de mortalité qui ne sont pas totalement imputables au CRB, les auteurs rapportent que les autopsies faites sur ces cas indiquent qu'une majorité de veaux sont morts à cause de troubles respiratoires sans donnée précise. Les auteurs rapportent que les taux de mortalité sont très variable d'un élevage à l'autre.

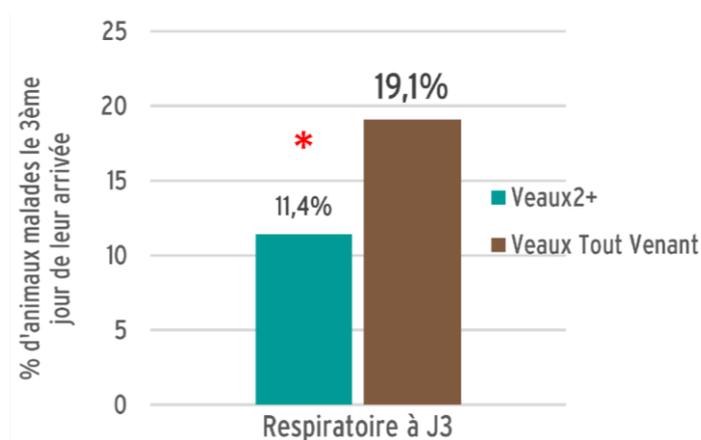


Figure 78 : Pourcentage d'animaux vus malades (signes externes : toux, écoulements) par des étudiants vétérinaires au troisième jours après l'arrivée en atelier d'engraissement – Source : Mounaix 2019

De même pour la morbidité à 3 jours, l'étude montre (figure 78) une meilleure protection des veaux issus de vaches vaccinées (Mounaix, 2019).

- Vaccination des veaux non sevrés

La vaccination dans l'élevage naisseur induit un meilleur statut immunitaire à l'entrée en engraissement et réduit le risque d'apparition des troubles respiratoires en atelier d'engraissement. Une étude a comparé trois protocoles vaccinaux différents avec le même vaccin (Bovilis Bovigrip®, MSD, France). Les conclusions sont que pour tous les protocoles, la prévalence des troubles respiratoires est inférieure au seuil de mise en œuvre de la métaphylaxie (15%) lorsque les animaux sont vaccinés. L'enregistrement des signes cliniques est un facteur subjectif dans ce genre d'étude car il dépend fortement de l'observateur.

Or, les auteurs ont mis en évidence une baisse significative du nombre de traitements. De plus, les tendances vont dans le sens d'une diminution d'un facteur deux du nombre d'animaux avec des signes cliniques lorsqu'ils étaient vaccinés précocement par rapport à une vaccination tardive. De même, les auteurs ont noté une baisse significative de la mortalité. Cependant, ces conclusions sont à pondérer en parallèle par un effet lié à l'élevage naisseur, notamment un effet zootechnique (surveillance, bâtiment, immunité colostrale, soins néonataux, etc.).

Dans cette étude, certains veaux étaient préalablement vaccinés par le naisseur notamment contre les maladies respiratoires, et ces variables n'ont pas été prises en compte. Les trois protocoles sont les suivants : une vaccination précoce (V1) chez le naisseur comprenant la réalisation des 2 injections au moins 15j avant le départ ; une vaccination intermédiaire (V2) avec une première injection chez le naisseur et une deuxième injection en centre de rassemblement ; une vaccination tardive (V3) avec une première injection au centre de tri et la deuxième injection dans l'atelier d'engraissement de destination.

Tableau 9 : Comparaison des protocoles vaccinaux 2 à 2 par engraisseur et par protocole vaccinal. Les valeurs moyennes des variables de résultat ont été calculées par lot d'animaux (logés dans la même case) – Source : Mounaix 2018

	ENG1		ENG2						ENG3		ENG4		ENG5		ENG6	
Protocole	V2	V3	V1	V1	V2	V2	V2	V3	V2	V3	V1	V2	V2	V3	V2	V3
Nb Ax	12	12	20	17	15	15	20	10	10	10	21	20	10	10	12	12
Pent (kg)	429,8	434,9	423,1	515,8	397,7	433,6	450,4	410,4	335	317,6	490,4	506,2	329,9	323,8	378,6	381,1
Pcarc. (kg)	440,2	443,8	443,8	443,6	430	455,2	413,2	DM	423,5	425	453,1	450	443	424	430,2	432,8
GMQ (g/j)	DM	DM	1,67	1,31	1,50	1,60	1,26	DM	1,39	1,52	1,52	1,41	1,43	1,31	1,37	1,28
Durée Eng. (j)	225,9	215,6	217,4	196	236,5	228,4	215,8	DM	295,1	285,6	201,2	201,2	311,4	323,5	251,5	293
%mal.	8%	8%	30%	0%	20%	25%	0%	50%	30%	30%	DM	DM	20%	10%	8%	40%

Pent = poids d'entrée ; Pcarc = poids carcasse ; Durée Eng. = durée d'engraissement ; %mal = proportion d'animaux observés malades par les éleveurs (traités ou non traités) ; DM : donnée manquante

Les auteurs concluent à un meilleur GMQ en atelier d'engraissement du fait de la vaccination : l'écart entre valeurs moyennes est de 8% entre les protocoles V1 et V2, et de 11% entre V2 et V3.

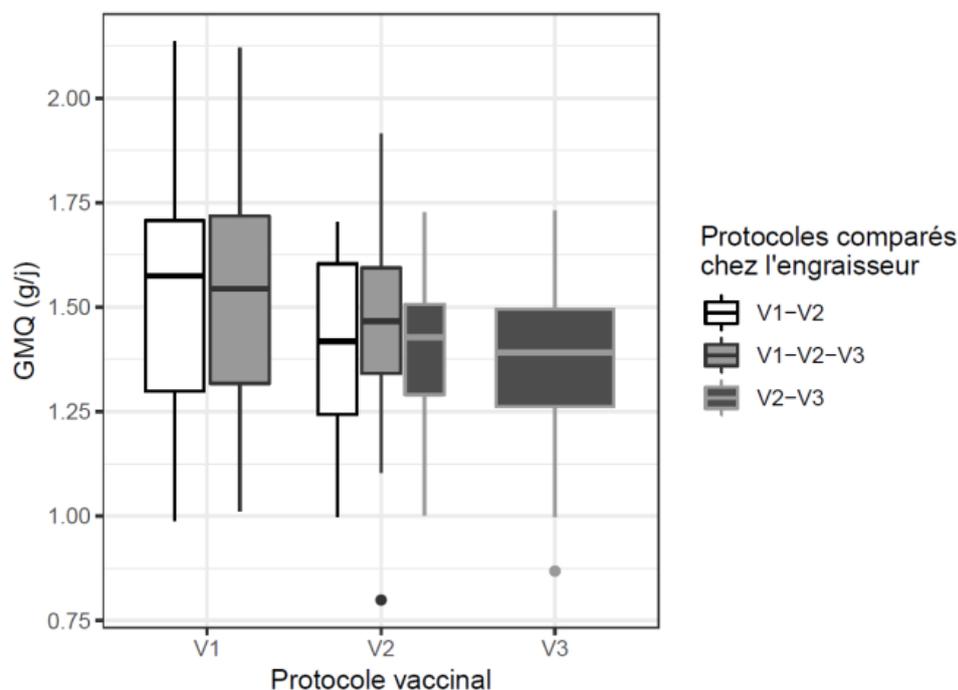


Figure 79 : Distribution des GMQ observés en fonction des protocoles vaccinaux (données brutes, non corrigées des effets engraisseurs, lots et poids d'entrée) – Source : Mounaix 2018

Les lésions pulmonaires observées sur 29 animaux au moment de l'abattage indiquent un plus grand nombre de poumons atteints (c'est-à-dire avec des signes de pneumonie, de bronchopneumonie ou de pleurésie) chez les animaux vaccinés tardivement, mais la différence n'était pas significative (test exact de Fisher, $p > 0.1$).

Cette étude conclut à un intérêt de la vaccination (GMQ, lésions pulmonaires) d'autant plus qu'elle est réalisée précocement, avant même l'entrée en centre d'engraissement.

Chez les bovins pré-conditionnés, ayant reçu la première injection avant l'entrée en atelier, le titre des anticorps contre le BVDV semble être suffisamment élevé pour permettre la protection vis-à-vis de cette infection (Richeson & Falkner, 2020).

- Vaccination des broutards avant l'entrée en engraissement

Malgré une grande variabilité du recours à la vaccination en fonction des pays et des systèmes, la plupart des broutards sont vaccinés au moment de l'entrée en centre d'engraissement et le pourcentage des animaux vaccinés contre les pathogènes respiratoires augmente au fur et à mesure que les jeunes bovins progressent dans les segments du système de production. Richeson et al rapporte qu'aux Etats-Unis, seulement 39 % des veaux sont vaccinés chez le naisseur avant la vente ; en revanche, 96 % des jeunes bovins arrivant en centres d'engraissement reçoivent un vaccin à visée respiratoire. Notamment 93% d'entre eux sont vaccinés contre BVDV, et BHV-1. C'est aussi le cas contre les autres agents pathogènes respiratoires : BRSV (89,5%), BPI3 (85,1%), *M. haemolytica*, *Pasteurella multocida* et *Histophilus somni* (environ 60-70%) (Richeson & Falkner, 2020)

Or, cette période n'est pas favorable à une bonne réponse vaccinale en lien avec les nombreux facteurs de stress auxquels les animaux sont exposés et le développement fréquent des troubles respiratoires (sevrage, manutention, transport, période de séroconversion). Cependant l'idée selon laquelle toute forme de stress réduit la réponse immunitaire doit être considérée avec recul et nécessite d'être évaluée dans le contexte précis de l'organisation de cette filière (Richeson & Falkner, 2020).

Une étude américaine montre qu'à la suite de la vaccination, le pourcentage de génisses traitées en seconde intention (2 et 3^{ème} traitement) pour une broncho-pneumonie était significativement réduit dans les deux premiers mois d'engraissement.

De même, la mortalité globale était inférieure dans les 116 premiers jours pour les groupes vaccinés, et d'autant plus lorsque la vaccination avait été réalisée précocement. La mortalité due au CRB est tout de même légèrement diminuée même lorsque la vaccination était réalisée tardivement (Richeson & Falkner, 2020)

1.3.5 Transport et gestion du stress

Lors de l'entrée en atelier d'engraissement, le sevrage, l'allotissement, parfois itératif, et le transport sont des sources de stress avérées pour le jeune bovin. Cela entraîne des conséquences sur sa capacité de réponse. Toute réduction ou étalement de ces facteurs stressants est susceptible de réduire les conséquences et le développement ultérieur de BPIE.

Une étude a tenté d'évaluer l'intérêt d'une phéromone d'apaisement produite par les glandes sudoripare des vaches. Celle-ci est détectée par l'organe voméro-nasal du jeune et permet l'attachement du petit à la mère et augmente des comportements sociaux, diminuer le rythme cardiaque et les comportements de peur. Le but était de vérifier si son utilisation pouvait réduire le stress et ses conséquences sur l'apparition des troubles respiratoires en engraissement. Cette étude comportait 265 jeunes bovins d'environ 370 kg, non vaccinés, à l'entrée en engraissement. Deux lots ont été formés : un lot placebo (témoin : T) et un lot traité (lot P). Le comportement, les performances de croissance et la qualité de la carcasse ont été évalués à J0, J8 et J30. Malgré une tendance favorable, l'étude n'a pas mis en évidence de différence significative de la durée moyenne d'engraissement, ni sur l'impact économique ou l'activité (alimentation, repos, rumination).(Guiadeur, 2018)

- Transport

Des auteurs ont évalué l'effet du transport et son optimisation afin de réduire la distance sur laquelle les jeunes bovins étaient transportés avant l'entrée en engraissement, et son impact sur l'occurrence des maladies respiratoires. Leur étude s'effectuait sur 129 756 brouards répartis dans 13 centres de tri et allotis en 9383 lots distincts. Cette étude a permis de diminuer la distance parcourue de 29 km par bovin en moyenne, et jusqu'à 84 km au-delà de 300 km. D'un point de vue du bien-être, de la santé et des performances, cette étude permet d'apporter une solution au problème du transport. A l'heure actuelle, cette organisation ne semble pas correspondre à celle mise en place, puisque le choix des animaux pour la composition des lots se porte plutôt sur des critères de poids (Morel-Journal, 2020).

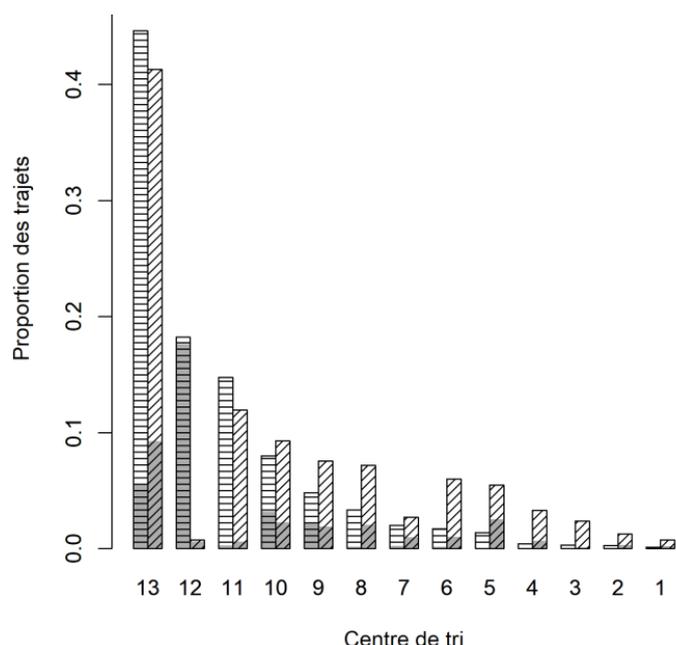


Figure 80 : Proportion de la totalité des trajets et des trajets à longue distance (de plus de 300 km, foncé) passant par chaque centre de tri (numérotés de 1 à 13), pour les données historiques (hachures horizontales) et les données optimisées (hachures obliques) – Source : Morel-Journal 2020

Tableau 10 : Comparaison de la distribution des distances de trajets historiques (selon la répartition fournie par la base de données) et optimisées (selon l’algorithme) – Source : Morel-Journal 2020

	Données historiques	Données optimisées
Distance moyenne de transport	218 km	189 km
Proportion de trajets à longue distance (> 300 km)	0,295	0,225
Distance moyenne des trajets à courte distance (< 300 km)	132,2 km	128,7 km
Distance moyenne des trajets à longue distance (> 300 km)	431,5 km	347,5 km

Les auteurs préconisent de minimiser la durée et la distance du transport, de favoriser les transports directs entre élevages naisseur et engraisseur sans passer par le centre de tri, ce qui, certes facilite l’organisation de la filière, mais qui est délétère d’un point de vue sanitaire.

Outre le bien-être animal, l’optimisation permet d’inclure l’engraissement dans une démarche plus agroécologique en diminuant la distance parcourue. En outre, la démarche portée sur le bien être, l’utilisation de ce type d’algorithme pourrait servir de support à des changements de pratique pour promouvoir la santé et le bien être des animaux.

- Allotissement

Dans cette même étude, les auteurs ont aussi abordé la question de la modification de l'allotissement en tentant de minimiser le mélange d'animaux. En effet, les résultats obtenus remettent en cause la mise en lot sur la base du poids à l'arrivée.(Morel-Journel, 2020) Le fait d'allotir des animaux provenant du même élevage ou d'une même zone géographique, pour regrouper entre eux des animaux partageant le même microbiote, devrait être privilégié.

- Biosécurité et traçabilité

La biosécurité constitue l'ensemble des mesures d'hygiène qui réduisent l'introduction, l'exposition, et la transmission des maladies infectieuses. La traçabilité permet un suivi et une gestion du parcours de l'animal. Ces deux notions permettent une meilleure gestion et un meilleur contrôle des troubles sanitaires.

Concernant la biosécurité, cinq aspects se dégagent pour diminuer l'exposition des bovins au BPIE. Il s'agit de la vaccination stratégique, la conduite de l'élevage des veaux, le logement et la ventilation, le mélange et le contact entre animaux et la lutte contre le virus BVD. Un certain nombre de mesures bien identifiées permettent, dans chacun de ces domaines, de diminuer la fréquence d'apparition des troubles respiratoires. La vaccination, le logement, l'allotissement ont déjà été cités. Nous allons nous concentrer sur les mesures d'hygiène dont le nettoyage et la désinfection des locaux et des moyens de transport. La désinfection de l'équipement utilisé pour la distribution des aliments (lait ou ration) est souhaitable. Le matériel doit être autant que possible soit réservé à des cases, soit nettoyé et désinfecté entre chaque utilisation, afin de réduire les possibilités de transmission entre lots physiques ou bâtiments. Cela va de pair avec le respect des mesures de biosécurité par les opérateurs qui peuvent servir de vecteurs d'agents infectieux, en respectant les protocoles d'hygiène (dont l'utilisation de vêtements à usage unique ou réservés à des secteurs préalablement identifiés, désinfection des bottes, lavage des mains (Callan & Garry, 2002).

De plus, une zone de quarantaine devrait être aménagée dans le centre d'engraissement afin d'isoler les animaux à leur arrivée, de faciliter la surveillance pendant les premières semaines. En effet, il s'agit de la période à risque pour l'apparition des BPIE. Un local d'infirmerie permettant d'isoler les animaux malades et contagieux devrait aussi être présent.

2. Etude expérimentale

2.1 Contexte de l'étude

Comme nous l'avons décrit précédemment, les BPIE sont le principal problème rencontré en atelier d'engraissement. Réduire la prévalence des troubles respiratoires, c'est réduire leur impact économique et l'utilisation d'antibiotiques, améliorer le bien-être des animaux et leurs performances zootechniques. Cela passe par une réduction des facteurs de stress (sevrage, transport, allotissement, stabulation), de la fréquence ou de la sévérité des maladies infectieuses et parasitaires, en optimisant la réponse immunitaire vis à vis d'agents pathogènes respiratoires reconnus comme prépondérants (vaccination, complémentation en vitamines et en oligo-éléments). Pour optimiser la réponse par la vaccination, il est nécessaire d'intervenir plusieurs semaines avant la période à risque, correspondant à la durée nécessaire pour le développement d'une réponse protectrice.

L'étude expérimentale que nous présentons vise à évaluer l'intérêt du pré-conditionnement ou préparation sur les performances zootechniques, la réponse immunitaire générale et spécifique, et les conditions sanitaires des jeunes bovins pendant la phase d'engraissement.

2.1.1 Le projet WELHBEEF

Le projet s'articule autour de l'évaluation de l'effet de la préparation des jeunes bovins à la phase d'engraissement, en comparant deux groupes d'animaux : un lot témoin (TEM) et un lot préparé (PREP). Pour le premier groupe (témoin), les jeunes broutards restent en pâture avec les mères selon les mêmes modalités qu'avant le sevrage.

Pour le groupe préparé, les jeunes bovins sont séparés de leurs mères, et placés en bâtiment dans des cases collectives dans l'élevage naisseur. Leur ration est adaptée. Ils sont en outre vaccinés contre certains agents responsables de maladies respiratoires. L'objectif était de maîtriser le plus possible les sources de biais pour identifier le bénéfice, si tel est le cas, de cette préparation.

Il s'agit donc d'une étude cas/témoins dans laquelle neuf élevages naisseurs et quatre ateliers engraisseurs sont impliqués. Ces élevages ont été recrutés sur la base du volontariat. Ensuite, différentes mesures ont été réalisées : un suivi clinique, une évaluation comportementale, des mesures de la réponse immunitaire et de divers facteurs zootechniques.

- Les acteurs impliqués

Différents acteurs de la filière ont été impliqués dans ce projet qui visaient à identifier des solutions pour faire évoluer les pratiques. Pour cela, le projet a été conduit en partenariat entre plusieurs organismes : l'Institut de l'élevage (Idèle), des équipes associant Oniris et ENVT avec INRAE, le groupement de nutrition animale Deltavit et la coopérative agricole EMC2. Clément Boudenne et moi-même avons réalisé les prélèvements d'échantillons destinés à évaluer la réponse immunitaire des jeunes bovins au moment de l'entrée dans les ateliers d'engraissement. Ce travail a été le support expérimental de notre thèse de Doctorat vétérinaire.

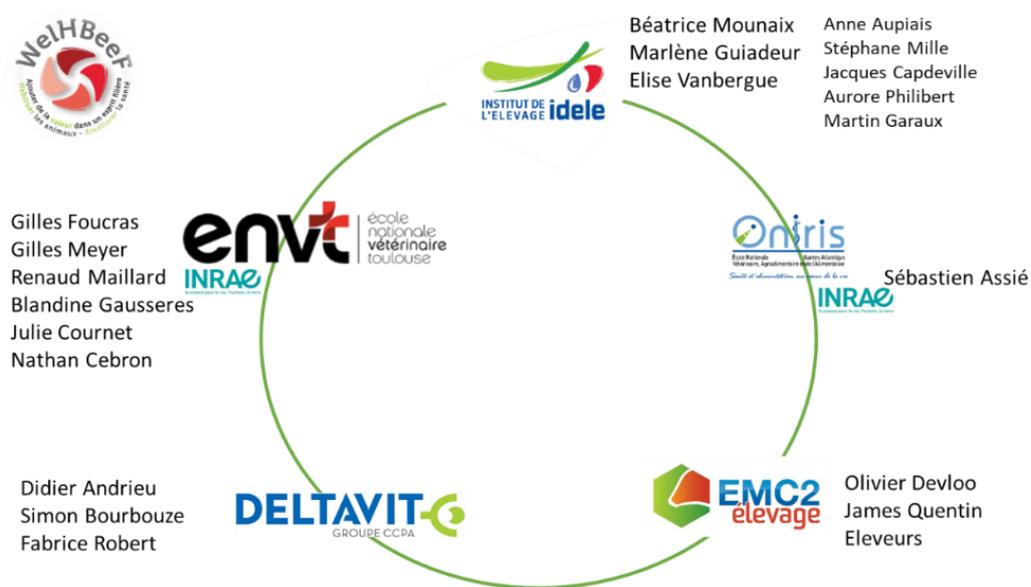


Figure 81 : Présentation des différents acteurs du projet WelHBeef – Source : auteurs

La date P0 correspond à la date d'entrée en préparation et la durée prévue dans cette étude était de 50 jours (P50). Ensuite, les animaux entrent en engraissement à J0 et la durée d'engraissement était d'environ 180 jours (JM180).

2.2 Matériels et méthodes

2.2.1 Animaux

- Origine (élevage naisseur) et destination (atelier d'engraissement) des animaux

Les animaux ayant fait l'objet d'un suivi renforcé sont issus de cinq élevages naisseurs parmi les neuf ayant fourni des jeunes bovins, avec un effectif de 2 à 20 animaux par élevage. Certains facteurs varient entre les élevages comme la conduite, l'alimentation, les protocoles vaccinaux avant le sevrage, le microbisme...etc.

Parmi les neufs élevages naisseurs ayant fourni les 168 jeunes bovins, deux pratiquent l'écornage des veaux à l'âge de 1 à 1,5 mois. La configuration des bâtiments et leurs caractéristiques, notamment ceux où sont préparés les animaux, est aussi très variable entre les élevages. Afin de prendre en compte ces facteurs de variation, le même nombre de bovins de chaque élevage a été affecté de façon aléatoire dans chacun des deux lots, préparé et témoin.

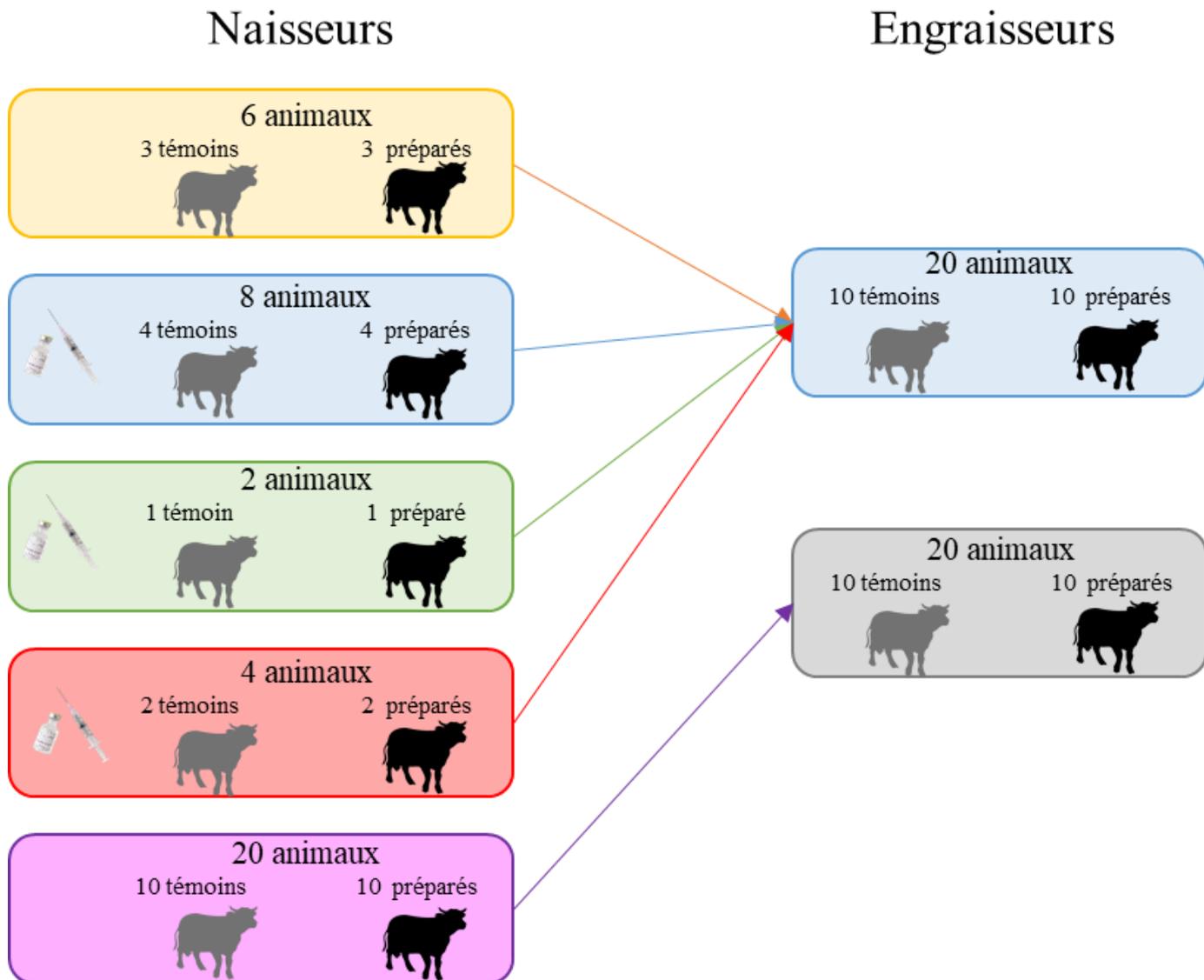


Figure 82 : Schéma de présentation des animaux recrutés dans l'étude, leur origine (élevages naisseurs) et leur destination (élevages engraisseurs) – Source : Auteurs

Les ateliers d'engraissement, sont au nombre de deux, chacun ayant accueilli la moitié de l'effectif étudié.

- Effectifs et durée de l'étude

Parmi l'effectif total des animaux enrôlés dans l'étude (168), 40 jeunes bovins ont fait l'objet d'une étude approfondie. Pour cela, des mesures ont été réalisées et comparées entre les deux groupes : un groupe témoin et un groupe préparé. Les animaux étaient nés entre le 11 novembre 2017 et le 22 février 2018. Voir annexe numéro 1.

- Âge des animaux au moment du recrutement

Les bovins recrutés sont âgés de 220 à 348 jours au moment du premier prélèvement (moyenne 290 jours, \pm 29 jours).

- Poids

A P0, les bovins pèsent en moyenne 312 kg ; l'écart-type est de 40 kg.

- Protocole vaccinal

Les animaux présents dans les ateliers d'engraissement sont répartis de sorte que la moitié d'entre eux (n=10) ont été préparés, alors que l'autre moitié est composée de bovins témoins (n=10).



Figure 83 : Répartition des animaux entre les lots (vaccinés ou non) chez l'engraisseur –

Source : Auteurs

Pour les animaux qui avaient été préalablement vaccinés, on note une grande hétérogénéité des protocoles vaccinaux dans les élevages naisseurs (Tableau 11).

Tableau 11 : Vaccination (spécialité utilisée, protocole vaccinal réalisé) des veaux dans les élevages naisseurs – Source : Auteurs

Naisseur	« jaune »		« bleu »	« vert »	« rouge »
Nom commercial du vaccin utilisé	<i>RISPOVAL® RS + PI3 Intranasal - Zoetis</i>	<i>Bovilis Bovigrip - Intervet</i>	<i>RISPOVAL® RS - Zoetis</i>	<i>RISPOVAL® 3 BRSV PI3 BVD - Zoetis</i>	<i>RISPOVAL® RS - Zoetis</i>
Voie d'administration	Intranasale	Injectable			
Pathogènes ciblés	PI3 (souche RLB 03, [105,0 ; 108,6] DICC50*) BRSV (souche 375, [105,0 ; 107,] DICC50*)	PI3 (souche SF-4 Reisinger, inactivé) BRSV (souche EV 908, inactivé) M. Hae (sérotipe 1, inactivée)	BRSV (vivant atténué, souche RB94 \geq 105,5 DICC50*)	BRSV (souche 375 vivante atténuée ; [105,0 ; 107,2] DICC50*) ; BVD (type I souches 5960 (cytopathique) et 6309 (non cytopathique) inactivées) ; PI3 (souche RLB 103, vivante atténuée entre [105,0 ; 108,6] DICC50*)	BRSV (vivant atténué, souche RB94 \geq 105,5 DICC50*)
Protocole vaccinal	> 9jours	> 2 semaines	[1s ; 4 mois d'âge]	> 12 semaines	[1s ; 4 mois d'âge]

	1 dose unique	2 injections à 4 semaines d'intervalle, à partir de 2 semaines.	Primovaccination : 2 injections à 4 semaines d'intervalle, puis 1 injection à 4 mois et au moins à 15 jours d'intervalle avec la deuxième injection.	Primovaccination : 2 injections à 3 à 4 semaines d'intervalle	Primovaccination : 2 injections à 4 semaines d'intervalle, puis 1 injection à 4 mois et au moins à 15 jours d'intervalle avec la deuxième injection.
Age de la primo-vaccination	10 jours	1 mois et demi	9 jours	8 jours	10 jours
Age du rappel	ABS	2 mois	3-4 mois	3 mois	ABS

DICC 50 : 50% de Dose Infectante en Culture Cellulaire

- Protocole de préparation

Dans le but de réduire l'influence des différents facteurs de risque décrits dans la partie introductive, le protocole de préparation suivant a été mis en place. Les broutards ont été sevrés environ 45 jours avant l'entrée en atelier d'engraissement. Les animaux sont entrés dans un bâtiment, placés dans des lots physiques de 7 ou 14 broutards. La vaccination a été réalisée dans l'élevage naisseur avec le vaccin inactivé BOVALTO RESPI 3 (Boehringer Ingleheim) qui contient trois valences antigéniques : *Virus Respiratoire Syncytial Bovin (BRSV)*, *Parainfluenza de type 3 (BPIV3)*, et *Mannheimia haemolytica*. Ces animaux ont reçu une vaccination complète avec deux injections : la première entre les 5^e et 7^e jours (P5 et P7) et la deuxième entre 32 et 34 jours (P32 et P34) après le sevrage.

Une vermifugation a été réalisée pour les deux lots indifféremment à l'entrée dans le centre d'engraissement à J0. Néanmoins les animaux témoins ont été traités contre la douve et les strongles, alors que les animaux préparés ont reçu uniquement un douvicide.

Une transition alimentaire a été appliquée. La ration permet de couvrir les besoins et contient en outre des oligo-éléments (Zn ; Se), et des vitamines. Les brouards recevaient une alimentation à base de fourrage (paille et foin à volonté) et un aliment BuffloWB spécialement confectionné pour l'étude. Cet aliment contenait en outre un extrait de plantes à propriétés antioxydantes et immunitaires (CCPA, Deltavit).

2.2.2 Mesures

De nombreuses mesures cliniques pour l'enregistrement de l'état de santé, du comportement, des résultats zootechniques (pesée) et de divers facteurs immunitaires ont été réalisées pour comparer les deux groupes.

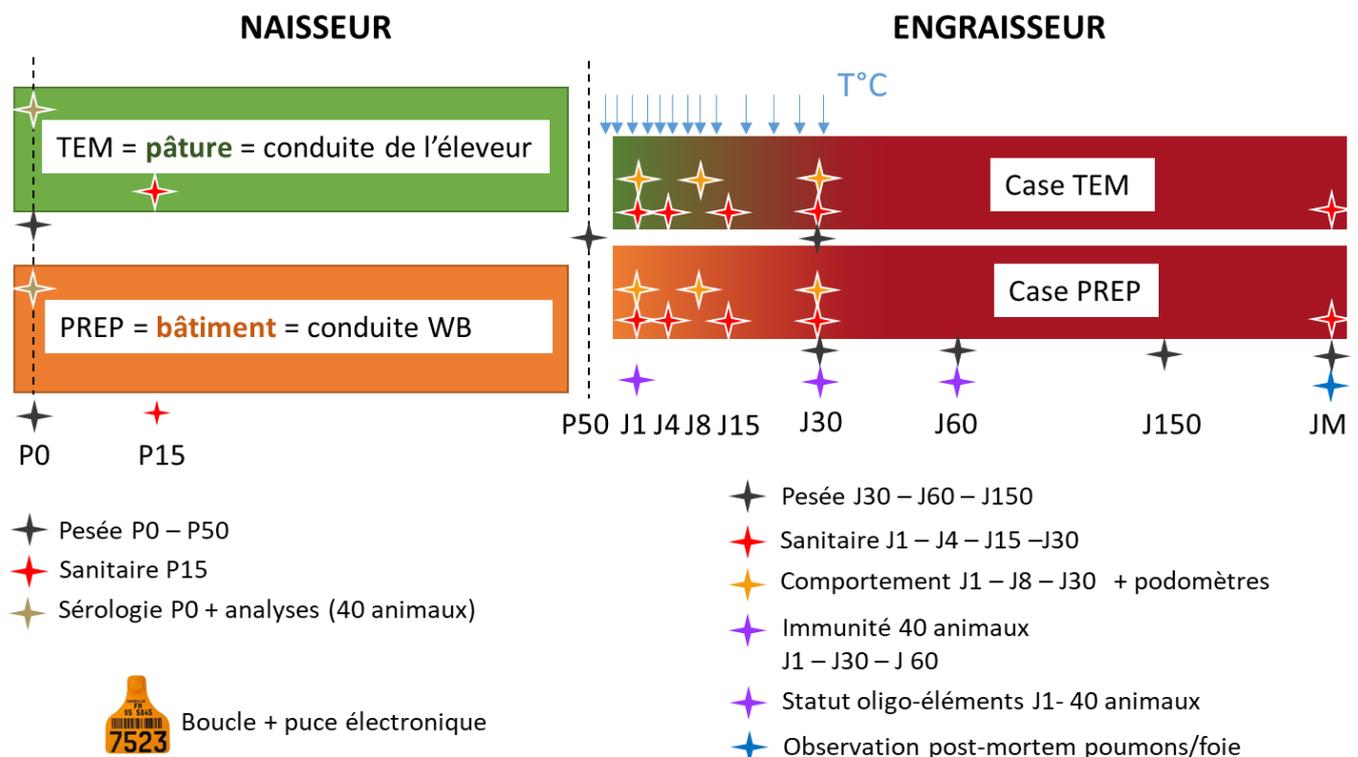


Figure 84 : Protocole du projet WelHBeef, examens et prélèvements réalisés – Source : Auteurs

Pour l'évaluation des troubles de santé, les éleveurs remplissaient un cahier sanitaire spécifique au projet, afin d'assurer un suivi sanitaire quotidien avec une prise de la température rectale, ainsi qu'un suivi de l'ingestion.

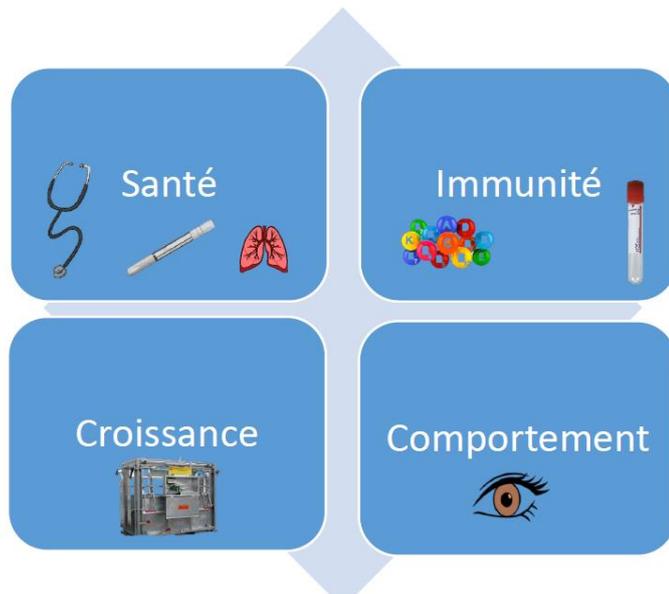


Figure 85 : Nature des données recueillies (sanitaire, immunitaire, zootechnique, comportementale) – Source : Auteurs

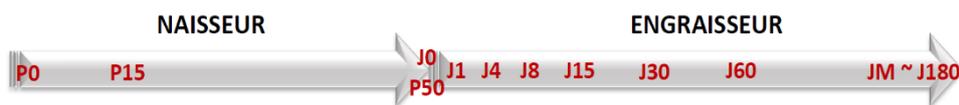


Figure 86 : Frise des évènements et dates clefs du suivi – Source : auteurs

- Evènements cliniques

Les examens cliniques des animaux ont été réalisés à différentes dates (P1, P15, J1, J4, J15 et J30) par un opérateur préalablement formé ; celui-ci n'était pas vétérinaire.

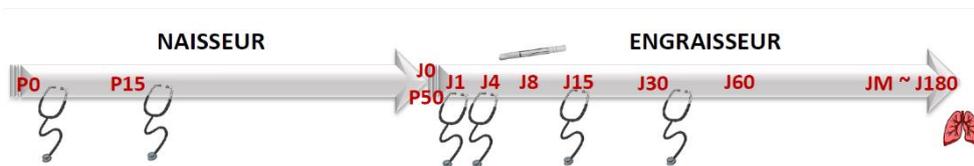


Figure 87 : Calendrier des dates des examens cliniques – Source : auteurs

Les observations cliniques permettent de connaître l'état de santé de l'animal. Elles sont réalisées en donnant une note à différents paramètres sur une échelle de 0 à 2, ou 3 selon les critères points (le score le plus élevé correspondant aux signes les plus marqués), pour établir *a posteriori* un score clinique. Pour le calcul ultérieur de ce score, l'état clinique (normal/malade/très malade), la présence de toux, de jetage (absent, séreux, abondant et/ou

muqueux, abondant et/ou muco-purulent), la fréquence et l'amplitude respiratoires (normale, fréquence augmentée et amplitude normale, fréquence augmentée et amplitude augmentée) ont été enregistrés.

La température rectale a été mesurée à plusieurs reprises (P0, P15, J0, J4, J15, J30).

Tableau 12 : Modalités de calcul du score clinique (état général, toux, jetage, fréquence et amplitude respiratoire) – Source : Auteurs

Etat général		Toux		Jetage		Fréquence et amplitude respiratoire	
Normal	0	Absente	0	Absent	0	Normal	0
Malade	1	Présente	2	Séreux	1	Fréquence + Amplitude =	2
Très Malade	2			Muqueux et/ou abondant	2	Fréquence + Amplitude +	3
				Muco-purulent	3		

Morbidité

On définit le taux de morbidité par le nombre d'animaux malades sur le nombre d'animaux présents. Pour cela, on considère comme malade un animal ayant un score clinique strictement supérieur à 1 à P15 au cours de la préparation, et à au moins une des dates suivantes : J1, J4 et J15 en engraissement et avec au moins une mesure de la température supérieure à 39,5°C entre 1 et 15 jours après l'arrivée.

En outre, afin d'identifier les agents pathogènes responsables des troubles respiratoires, des prélèvements par écouvillonnage nasal ont été réalisés pour une recherche étiologique par qPCR.

Traitements

Lors de l'apparition de signes cliniques, des traitements anti-infectieux pouvaient être administrés. Pour le traitement d'une bronchopneumonie, le protocole de soin suivant avait été indiqué :

- Traitement avec un antibiotique (oxytétracycline) pour les JB ayant une température supérieure à 39,5°C,

- Traitement avec un antibiotique (florfénicol) et un antiinflammatoire (acide tolfénamique) pour les JB ayant une température supérieure à 40°C et lors de récurrence.
- Analyses comportementales

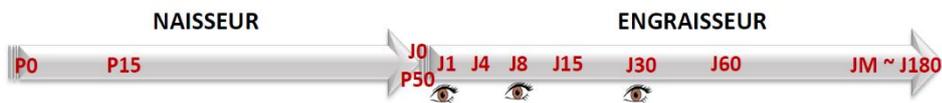


Figure 88 : Frise d'observation des évènements comportementaux et dates – Source : auteurs

L'observation comportementale a été faite en considérant l'activité et les événements à des dates fixes (J1, J8, et J30) sur l'ensemble des animaux (n=168), 35 d'entre eux ont été équipés de podomètres (IceCube®) afin de mesurer leur activité en continu. Les 40 jeunes bovins inclus dans notre étude font partie des 168 animaux étudiés.

- Résultats zootechniques

Gain Moyen Quotidien (GMQ)

Afin d'évaluer la croissance des animaux et calculer le GMQ entre les périodes, des pesées régulières ont été réalisées à P0 (entrée en préparation), à J0 (entrée en engraissement), puis pendant la phase d'engrais (J30, J60, J150), et la veille de l'abattage (J180 environ).



Figure 89 : Calendrier des dates de prises de poids – Source : Auteurs

Examen lésionnel à l'abattoir

La recherche des lésions pulmonaires et hépatiques a été réalisée à l'abattoir. La notation des lésions a été faite selon une grille pré-établie.

Les scores lésionnels sont calculés *a posteriori* en fonction de l'extension des lésions (lobes crâniens seuls, ou incluant moyens et caudaux), de la nature et de la sévérité (degré d'induration) des lésions. Leur valeur est comprise entre 0 et 52.

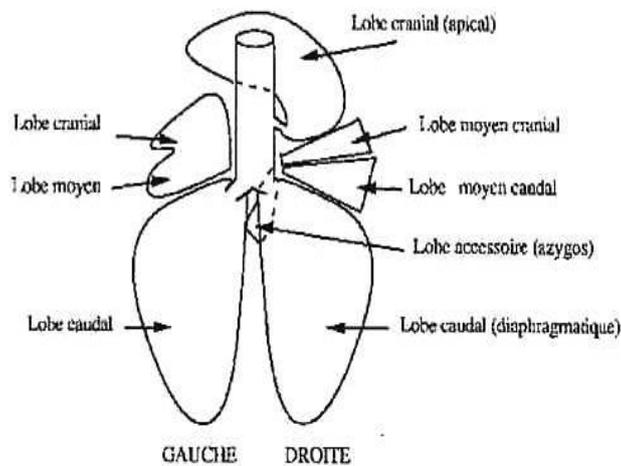


Figure 90 : Schéma de l'appareil pulmonaire bovin – Source : auteurs

$$\text{Score lésionnel} = \varepsilon \text{ LCD} + 2x \varepsilon \text{ LCG} + 2x \varepsilon \text{ LMD} + 2x \varepsilon \text{ LMD} + 3x \varepsilon \text{ LCG} + 3x \varepsilon \text{ LCD}$$

Localisation de la lésion dans l'arbre pulmonaire (coefficient)
 ε - Etendue de la lésion

Poids vif, poids à l'abattage et score carcasse

Les animaux ont été abattus à J180 à l'abattoir Bigard de Vitry Le François, leur poids à l'abattage et la conformation ont été évalués selon la grille communautaire de classement des gros bovins E.U.R.O.P établie en 1981 définissant 5 classes de conformation.

- Paramètres immunitaires



Figure 91 : Calendrier des dates de prises de sang pour le dosage des anticorps et des oligo-éléments – Source : Auteurs

Les jeunes bovins étaient placés dans une cage de contention et manipulés par des personnes formées à la contention. Après tonte et désinfection du sillon jugulaire dans la région

cervicale moyenne, nous avons réalisé deux types de prélèvements sanguins. Les échantillons ont été identifiés par le numéro du bovin concerné, la date et le moment du prélèvement par rapport au calendrier de l'étude.

Echantillons : Réponse anticorps

Le premier d'échantillon de sang prélevé est réalisé sur tube sec (rouge) et a servi à la préparation de sérum. Les animaux ont été prélevés à quatre dates jugées informatives : au début de la préparation (P0), à l'entrée en atelier d'engraissement (J0), puis 30 (J30) et 60 jours plus tard (J60). Nous avons réalisé des prélèvements de sang afin d'évaluer la réponse immunitaire et comparer le lot préparé au lot témoin. Les échantillons de sang prélevés sur tube sec ont été conservés au froid positif pendant le transport jusqu'au laboratoire, puis centrifugés pendant 10 minutes à 1500 tours/minute dans les 24h suivant le prélèvement. Le sérum a été séparé et conservé congelé à -80°C.

La réponse anticorps (IgG) contre différents agents pathogènes auxquels nous nous intéressons (BRSV, BPI3V, BAV3, *Mannheimia haemolytica* et *Mycoplasma bovis*) a été évaluée dans le sérum des animaux à différentes dates. Les anticorps ont été dosés à P0, J0, J30, J60 et J180 à l'aide de la technique ELISA en utilisant le kit BIO K 369, commercialisés par BioX diagnostics, Rochefort, Belgique.

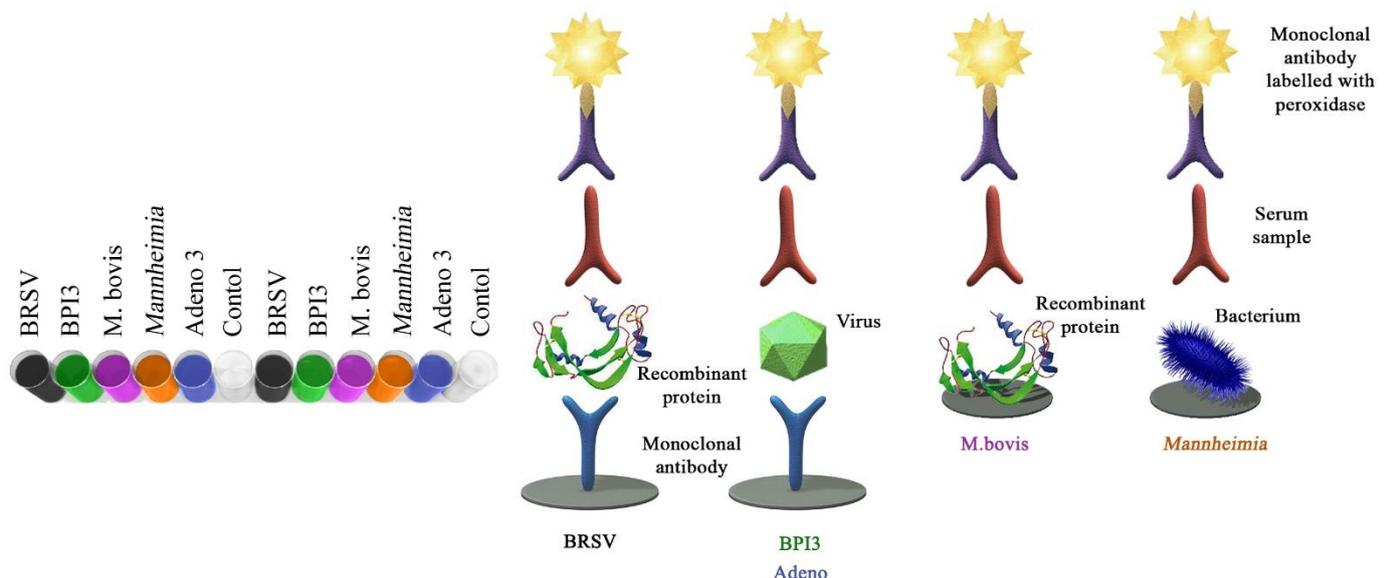


Figure 92 : Description du test ELISA pour le sérodiagnostic de BRSV, BPIV3, Mycoplasma bovis, Mannheimia haemolytica et Adénovirus 3 – Source : BioX Diagnosis

Echantillons : Réponse cellulaire et profilage de la production de cytokines en réponse à divers stimulants

La seconde série d'échantillons est destinée à l'évaluation de la réponse cellulaire et au profilage cytokinique. Elle a été réalisée à l'aide d'un prolongateur et d'un robinet trois-voies permettant de remplir plusieurs seringues Monovettes (Sarstedt) contenant des agents de stimulation, dans des conditions aseptiques. Le montage préparé dans des conditions aseptiques avait été rincé avec une solution héparinée afin de prévenir la coagulation. Ce système permet le remplissage en série de six monovettes. Pour évaluer la réponse cellulaire, nous avons utilisé des monovettes prétraitées avec de l'héparinate de lithium, chacune contenant un antigène de stimulation. Deux conditions de stimulation correspondaient aux antigènes vaccinaux BRSV, et *M. haemolytica*, et à *Mycoplasma bovis*, comme agent fréquemment impliqué dans l'apparition des maladies respiratoires. Deux conditions correspondent à des stimulations non spécifiques : l'une de la réponse innée par le lipopolysaccharide (LPS) et l'autre de la réponse adaptative lymphocytaire T par la concanavaleine A. Un témoin négatif (sans ligand, ni activateur) a également été inclus et complète la série.

Le LPS est reconnu par le récepteur Toll like TLR4 et il provoque une réponse inflammatoire. Lors de cette reconnaissance, le récepteur change de conformation ce qui active les voies de signalisation aboutissant à l'induction du facteur de transcription NF- κ B, et la sécrétion de cytokines pro-inflammatoires. La concanavaleine A est une lectine qui interagit avec divers récepteurs induisant la mitose des cellules T et leur activation associée à la production de cytokines.

Les monovettes ont été placées sur un bain sec équilibré à la température de 38,5°C pendant 24 h, avant d'être centrifugées à 2500 tours/min durant 15 min, puis conservées au froid positif pour arrêter les réactions cellulaires jusqu'au moment de la collecte du plasma. Les échantillons de plasma ont été conservés congelés à -80 °C jusqu'au moment de l'analyse.

Afin d'évaluer la réponse cellulaire, la concentration de 15 cytokines et chimiokines dans le plasma collecté après stimulation (agents pathogènes, ligands) a été mesurée. Un test multiplexe spécifique de l'espèce bovine, développé en collaboration entre l'équipe IALTA de l'unité de recherche IHAP (INRA/ENVIT) et l'entreprise Merck a été utilisé. Ce kit permet de doser simultanément les cytokines suivantes au sein d'un même échantillon : IL-1 α , IL-1 β , IL-1RA IL-2, IL-4, IL-6, IL-10, IL-17A, IFN γ , TNF- α , CXCL8, CXCL10, CCL2, CCL3, CCL4.

Il utilise la méthode Luminex et est commercialisé sous le nom de bovine cytokines/chemokines Milliplex xMAP (Merck-Millipore). Cette technique permet de détecter et de quantifier ces analytes grâce à des microsphères magnétiques qui portent des anticorps spécifiques de chaque analyte. Chaque bille porte un fluorochrome spécifique qui permet de connaître l'analyte détecté. Une fois que l'analyte a été reconnu par les anticorps spécifiques fixés sur la bille, l'ajout d'un anticorps biotinylé et d'un fluorophore (phyco-érythrine) couplé à la streptavidine permet la quantification de l'analyte capturé. L'appareil de mesure (MagPix) va donc quantifier la fluorescence émise par l'anticorps spécifique et la fluorescence émise par la bille qui indique l'identité de l'analyte correspondant.

L'intensité de la fluorescence est corrélée à la quantité d'analyte capturé par la bille. Le choix s'est porté sur cette technologie pour plusieurs raisons :

- Elle permet une bonne sensibilité analytique (de l'ordre de 1 pg/mL et une bonne spécificité,
 - Le volume d'échantillon nécessaire est très faible (25µL comparé à 100µL pour un test ELISA classique),
 - Le cout par analyse est réduit par rapport aux méthodes traditionnelles comme l'ELISA,
 - Elle permet d'élargir la gamme des cytokines analysées car certaines cytokines ne sont pas quantifiables par ELISA car les réactifs ne sont pas disponibles.
- Evaluation du statut en oligo-éléments (Cu, Zn, Se)

Lors de l'entrée en engraissement (J0), des prélèvements de sang sur tubes héparinate à billes ont été réalisés afin d'évaluer le statut en cuivre, zinc et sélénium. L'analyse des deux premiers a été réalisée par chromatographie pour déterminer la concentration plasmatique (en µmol/L) alors que pour le sélénium, l'activité de la glutathion peroxydase érythrocytaire (UA/g Hb) a été établie. Ces dosages ont été sous-traités dans des laboratoires spécialisés.

- Dosage de l'haptoglobine

L'haptoglobine est une protéine inflammatoire plasmatique qui est utilisée comme marqueur de l'inflammation aiguë. Lors d'inflammation aiguë, l'augmentation de sa concentration plasmatique est grande, précoce (après 24h environ). Le dosage a été réalisé par

la technique ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay) avec une trousse BIODAG commercialisée par l'entreprise BioX diagnostics, Rochefort, Belgique.

2.3 Analyse statistique

Le modèle que nous avons choisi pour analyser les données des différentes mesures réalisées est un modèle de variance à trois effets fixes : effet du Traitement (préparé vs témoin), de l'Élevage, et leur interaction. Le volet comportement dans lequel nous avons distingué des données des podomètres dans un premier temps, a été analysé par ANOVA (analyse de variance) avec trois effets fixes (Traitement, Date, Élevage) et leur interaction deux à deux. Les observations comportementales quant à elles, ont été analysées via le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis à chaque date, et pour chaque type de comportement enregistré. Enfin, pour l'analyse des paramètres immunitaires, nous avons utilisé un test de Wilcoxon-Mann-Whitney permettant de comparer les groupes 2 à 2 ou un test de Kruskal Wallis pour les études comparant les 4 sous-groupes établis sur la base de la vaccination pendant la phase d'élevage préalablement au recrutement.

2.4 Résultats

2.4.1 Observations cliniques

- Scores cliniques

Des observations cliniques ont été réalisées chez le naisseur pendant la préparation. Au jour 1 (P1), la moyenne des scores pour le groupe préparé est de $0,05 \pm 0,22$, contre $0,25 \pm 0,44$ pour le lot témoin. On ne note donc pas de différence significative du score clinique entre le lot témoin et le lot préparé (p-value : NS).

En revanche, à P15, les animaux préparés ont un score clinique plus élevé ($1,25 \pm 1,45$) que les témoins ($0,05 \pm 0,22$) ($p=2,1 \times 10^{-3}$). Cela signifie que les animaux préparés ont développé des signes cliniques respiratoires après l'entrée dans le bâtiment, contrairement aux témoins qui sont restés au pâturage avec les mères.

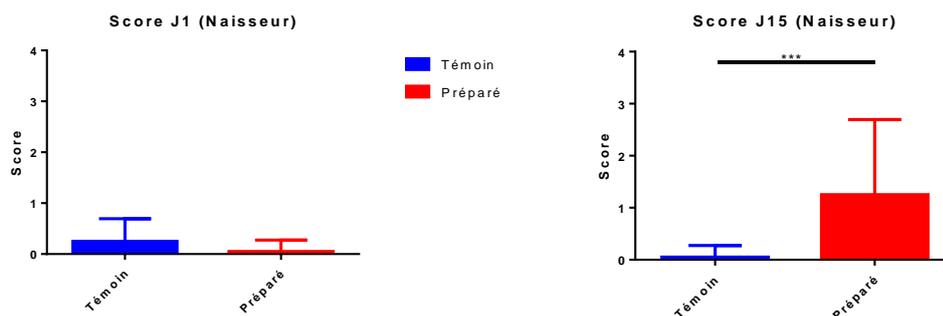


Figure 93 : Représentation graphique des scores cliniques à P1 et P15 en fonction des lots (témoins/préparé) - Source : Auteurs

Au premier jour après l'entrée dans l'atelier d'engraissement (J1), le score clinique du groupe préparé est de 0,75 ($\pm 1,07$) contre 0,25 ($\pm 0,44$) pour le lot témoin. Les observations cliniques ne montrent donc pas de différence significative entre les lots (p-value : NS).

Il en est de même pour les observations à J4 (moyenne égale à 1,00 $\pm 1,30$ contre 0,5 $\pm 0,83$) et à J15 (moyenne égale à 1,60 $\pm 1,70$ contre 1,15 $\pm 1,60$) (p-value : NS). Ces données concernent le groupe des 40 animaux de notre étude ayant eu un suivi plus détaillé.

Tableau 13 : Moyenne et écart-type des scores cliniques des jeunes bovins (préparés/témoins) à P1, P15, J1, J4, J15

Lots		P1	P15	J1	J4	J15
Préparés	Moyenne	0,05	1,25	0,75	1,00	1,60
	Ecart-type	0,22	1,45	1,07	1,30	1,70
Témoins	Moyenne	0,25	0,05	0,25	0,50	1,15
	Ecart-type	0,44	0,22	0,44	0,83	1,60

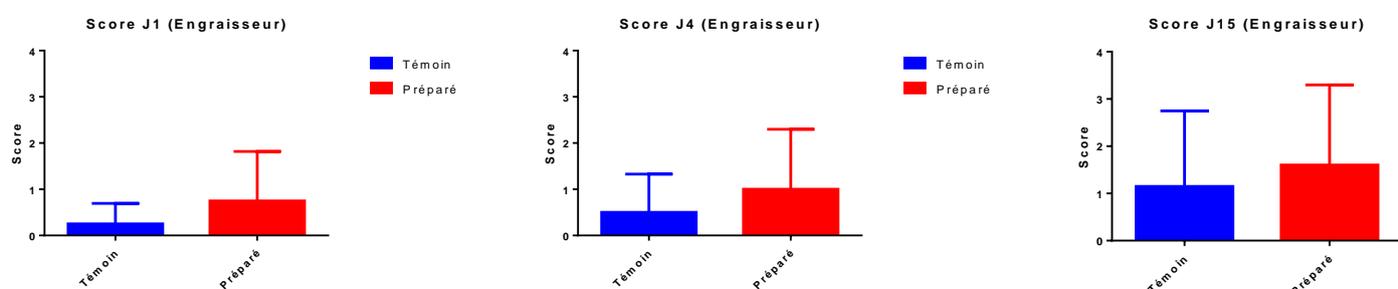


Figure 94 : Représentation graphique des scores cliniques à J1, J4, J15 en fonction des lots (témoins/préparé) - Source : Auteurs

- Morbidité, traitements et mortalité

En se basant sur l'ensemble des animaux du projet, le taux de morbidité moyen était de 26 $\pm 0,27$ %. En revanche, il y avait une forte variabilité en fonction de l'atelier d'engraissement, même si cette différence n'est pas significative (p-value=7,0*10⁻²). Les résultats sont présentés en annexe 4 .

En présence de signes cliniques évocateurs d'une broncho-pneumonie (toux, écoulements nasaux et oculaires, fièvre, abattement) un écouvillonnage nasal pour une recherche étiologique par qPCR a été réalisé. Les résultats montrent la présence du Coronavirus Bovin (BCoV) dans 81% des échantillons analysés, des pasteurelles comme *Pasteurella multocida* dans près d'un échantillon sur deux (47%) et *Histophilus somni* et *Mannheimia haemolytica* dans moins de 10% des échantillons analysés.

Aucun des deux lots n'a fait l'objet d'une métaphylaxie. Cependant, des traitements anti-infectieux pouvaient être administrés lors de l'apparition de signes cliniques.

- Lésions pulmonaires macroscopiques

Les scores lésionnels établis à partir des données collectées à l'abattoir chez les animaux préparés est de 19,3 ($\pm 12,8$) contre 2,8 ($\pm 5,69$) pour le groupe témoin. Notre étude met en évidence des atteintes significativement plus marquées chez les animaux préparés (p-value= $2,2 \times 10^{-3}$).

Tableau 14 : Moyenne et écart-type des scores lésionnels des jeunes bovins préparés à l'abattage – Source : Auteurs

Score lésionnel	Moyenne	Ecart-type
Préparés	19,3	12,8
Témoins	2,8	5,68

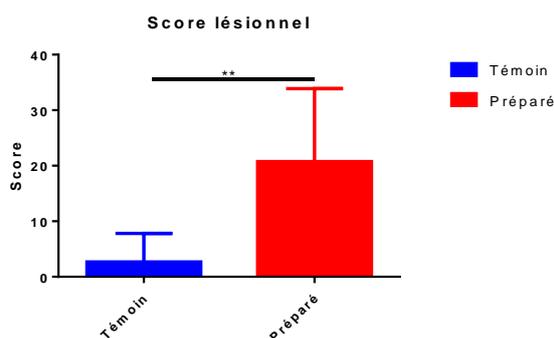


Figure 95 : Représentation graphique des scores lésionnels en fonction des lots (témoin/préparé) - Source : Auteurs

- Résultats comportementaux

Nous n'avons pas mis en évidence dans cette étude de différence significative concernant le comportement des animaux entre les lots témoins et préparés. Malgré cela, les

vocalisations par les jeunes bovins du lot témoin ont été plus fréquentes ($p\text{-value}=8,0*10^{-3}$) à l'entrée en engraissement (J1). De plus, les animaux du lot PREP semblent avoir montré plus de comportements autocentrés ($p\text{-value}=2,8*10^{-2}$ à J1 et $p\text{-value}=9,0*10^{-2}$ à J8), et plus d'interactions sociales (agonistiques, non agonistiques et sexuelles). De ce fait, il est possible de noter des tendances chez les animaux visant à conclure à une réduction du stress chez les animaux pré-conditionnés.

2.4.2 Résultats zootechniques

Plusieurs résultats zootechniques ont été enregistrés.

- Gain moyen quotidien

A l'entrée en préparation (P0), le lot préparé (en rouge) pèse en moyenne 310 ± 38 kg contre 315 ± 42 kg pour le lot témoin (en bleu). Il n'y a pas de différence significative de poids entre les deux lots.

A l'entrée en engraissement (J0), le poids moyen est de 407 ± 57 kg () et 385 ± 50 kg () dans le groupe préparé et le groupe témoin respectivement. Malgré une tendance favorable dans le groupe préparé, cette différence n'est pas significative ($p\text{-value}$: NS). Il en est de même à J30 (456 ± 53 kg vs. 430 ± 54 et J60 (499 ± 50 kg vs. 483 ± 53 kg). Cependant, la tendance s'inverse à J180 où le poids du groupe témoin est légèrement supérieur (750 ± 58 kg) par rapport à celui du groupe préparé (732 ± 77 kg) ($p\text{-value}$: NS).

Tableau 15 : Moyennes et écart-types des poids des jeunes bovins préparés et témoins de l'entrée en engraissement à l'abattage – Source : Auteurs

Lot		Poids J0	Poids J30	Poids J60	Poids 180
Préparé	Moyenne	407	456	499	732
	écart-type	57	53	50	77
Témoin	Moyenne	385	430	483	750
	écart-type	50	54	53	58

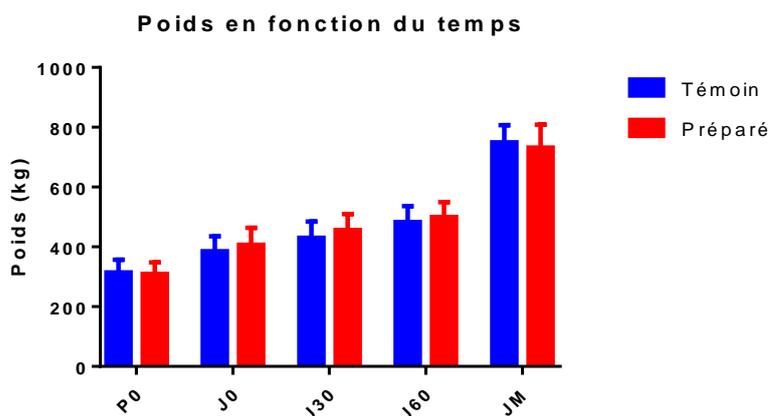


Figure 96 : Représentation graphique des poids au cours du temps en fonction des lots (témoin/préparé) - Source : Auteurs

Le GMQ moyen sur la durée de l'étude, soit de J0 à J180, était de 1470 ± 210 g/j. Pour le lot préparé, le GMQ moyen est de $1430 \text{ g/j} \pm 270 \text{ g/j}$, et pour le lot témoin de 1470 ± 270 g/j. Il n'y a pas de différence significative de la croissance des jeunes bovins pendant la phase d'engraissement entre les deux lots (p-value : NS). Nous pouvons donc conclure qu'en moyenne les performances des JB préparés ne sont pas meilleures que celles du lot témoin.

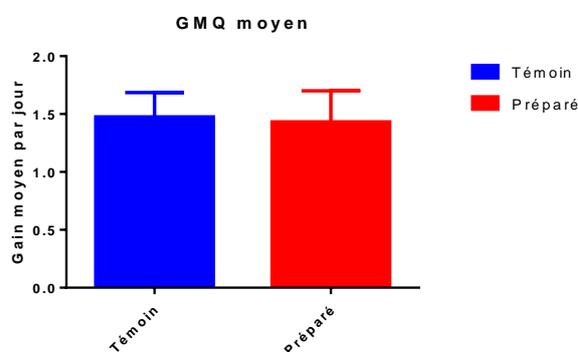


Figure 97 : Représentation graphique du GMQ moyen en fonction des lots (témoin/préparé) - Source : Auteurs

En revanche, l'évolution du GMQ en fonction du temps n'est pas la même dans les deux groupes. En effet, lors de la phase de préparation, entre P0 et J0, le groupe préparé a un GMQ significativement plus élevé que le lot témoin (1784 ± 455 g/j vs. 1306 ± 362 g/j; p-value= $7,0 \cdot 10^{-3}$).

Ce phénomène persiste au début de la phase d'engrais, entre J0 et J30, le lot préparé a un GMQ de 1557 ± 497 g/j contre 1413 ± 600 g/j, pour le lot témoin mais sans différence significative entre les deux lots (p-value : NS). En revanche, entre J30 et J60, le GMQ des préparés étaient de 1455 ± 505 g/j contre 1782 ± 505 g/j pour le lot témoin (p-value= $4,0 \cdot 10^{-2}$). Enfin, à l'abattage la tendance du lot témoin à avoir un meilleur GMQ est toujours présente mais sans différence significative (p-value : NS)

Tableau 16 : Moyennes et écart-types des GMQ des jeunes bovins préparés et témoins de l'entrée en engraissement à l'abattage – Source : Auteurs

GMQ		GMQ J0	GMQ J30	GMQ J60	GMQ J180
Préparé	Moyenne	1784	1557	1455	1413
	écart-type	455	497	505	317
Témoin	Moyenne	1306	1413	1782	1443
	écart-type	362	600	505	340

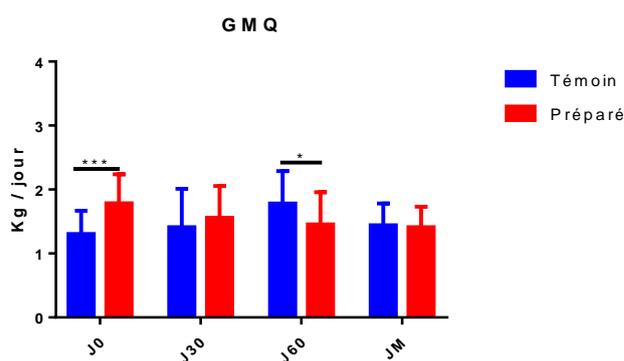


Figure 98 : Représentation graphique des GMQ au cours du temps en fonction des lots (témoin/préparé) - Source : Auteurs

- Poids à l'abattage et note de la carcasse

Le poids moyen de la carcasse à l'abattoir était de 426 ± 73 kg, et sans différence significative entre les deux lots (432 ± 46 kg vs. 439 ± 37 kg ; p-value : NS).

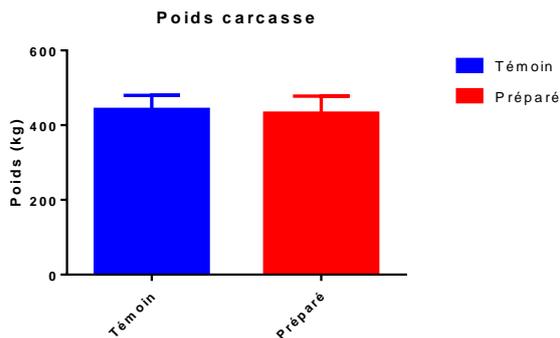


Figure 99 : Représentation graphique du poids carcasse en fonction des lots (témoin/préparé) - Source : Auteurs

Concernant les notes de conformation des carcasses, elles ont été classées selon le classement EUROP et entraient principalement dans deux catégories : U et R. On note une tendance à la meilleure conformation des jeunes bovins préparés, avec plus d'animaux classés U= et moins d'animaux classés R+.

Tableau 17 : Répartition des animaux en fonction de leur conformation (lot préparé/témoin) - Source : Auteurs

Conformation	R-	R=	R+	U-	U=	U+
Total	0	0	13	19	8	0
Préparé	0	0	6	9	5	0
Témoin	0	0	7	10	3	0

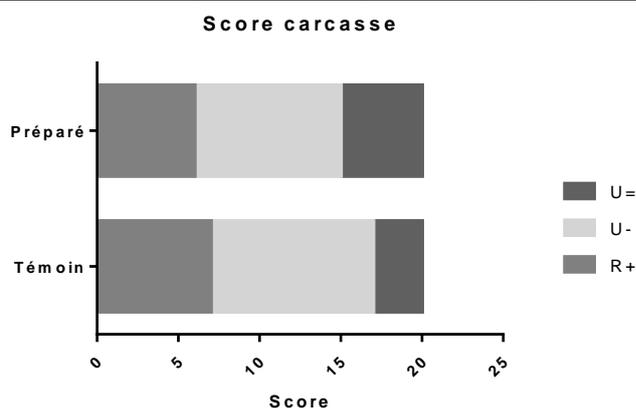


Figure 100 : Graphique des animaux en fonction de leur conformation (lot préparé/témoin) - Source : Auteurs

- Haptoglobine

A l'entrée en préparation (P0), la valeur pour le groupe préparé est de $3,4 \pm 1,6$ mg/mL et pour le groupe témoin $7,9 \pm 21,3$ mg/mL. Il n'y avait pas de différence significative (p-value :

NS) malgré une tendance de valeurs plus élevées dans le groupe témoin par rapport au groupe préparé.

Lors de l'entrée en engraissement (J0) en revanche, la valeur pour le groupe préparé est de $9,2 \pm 16,6$ mg/mL et pour le groupe témoin $172,2 \pm 319,3$ mg/mL. On note une différence significative entre les groupes ($p=2,0*10^{-2}$), la concentration en haptoglobine du groupe témoin étant nettement supérieure à celle du groupe préparé. Une augmentation de la concentration en Haptoglobine suggère une réponse inflammatoire. Nous pouvons donc conclure que le lot témoin a une réponse inflammatoire le jour de l'entrée dans l'atelier d'engraissement qui est plus élevée que celle du groupe préparé. À J60, la valeur mesurée chez les animaux est de $6,8 \pm 29,6$ mg/mL pour le lot préparé et de 0 ± 0 mg/mL pour le lot témoin, et il n'y a pas de différence entre les groupes (p-value : NS).

Tableau 18 : Moyennes et écart-types de valeurs d'haptoglobine des jeunes bovins préparés et témoins à P0, J0, J30 – Source : Auteurs

Lot		Haptoglobine P0	Haptoglobine J0	Haptoglobine J30
Préparé	Moyenne	3,4	9,2	6,8
	Ecart-type	1,6	16,6	29,6
Témoin	Moyenne	7,9	172,2	0,0
	Ecart-type	21,3	319,3	0,0

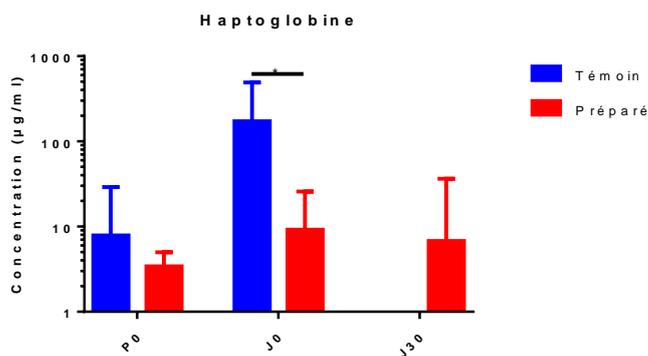


Figure 101 : Représentation graphique de valeurs d'haptoglobine au cours du temps en fonction des lots (témoin/préparé) - Source : Auteurs

- Oligo-éléments

Concernant le dosage des oligo-éléments le jour de l'entrée dans l'atelier d'engraissement (J0), les concentrations en cuivre et zinc étaient de $12,7$ mmol/L ($\pm 1,8$) et $13,3$

$\pm 2,8$ mmol/L respectivement pour le lot préparé, et de $12,2 \pm 2,3$ mmol/L et $10,0 \pm 2,2$ mmol/L respectivement pour le lot témoin.

Nous n'avons pas noté de différence significative entre les lots préparé et témoin pour les concentrations plasmatiques en zinc (p-value : NS). Cependant, la concentration plasmatique en zinc (10 vs 13 $\mu\text{mol/L}$) sont significativement (p-value= $1,4 \times 10^{-3}$) plus faibles dans le lot témoin que dans le lot préparé.

Tableau 19 : Valeurs des dosages en oligo- éléments à l'entrée à l'engraissement – Source :

Auteurs

Lot		Zinc J0	Cuivre J0	GSHpx J0
Préparé	Moyenne	13,3	12,7	433,6
	Ecart-type	2,8	1,8	59,9
Témoin	Moyenne	10,0	12,2	316,2
	Ecart-type	2,2	2,3	109,7

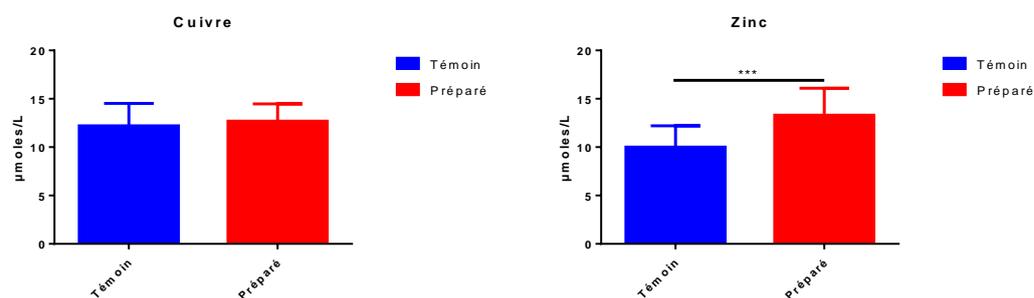


Figure 102 : Statut en oligo- éléments à l'entrée en engraissement – Source : Auteurs

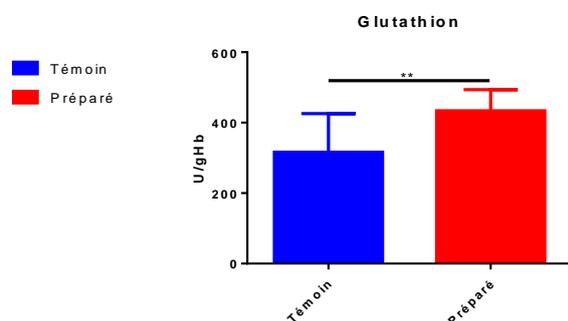


Figure 103 : Activité de la GSHpx à l'entrée en engraissement – Source : Auteurs

2.4.3 Immunité anticorps

Pour évaluer la réponse immunitaire anticorps, nous avons réalisé des analyses sérologiques visant à quantifier les immunoglobulines IgG dirigées contre les principaux agents respiratoires. Les valeurs sont exprimées en pourcentages d'un sérum positif de référence. A P0, le pourcentage de positivité en anticorps pour le *BRSV*, *BPI3V* et *M. haemolytica* étaient de 38% (± 27), 39% (± 35) et 3% (± 10) respectivement pour le lot préparé et de 35% (± 27), 34% (± 27) et 3% (± 7) respectivement pour le lot témoin. On ne note pas de différence significative entre les lots concernant la réponse anticorps vis-à-vis de ces agents pathogènes, avec cependant une forte variabilité entre les animaux (p-value : NS).

Tableau 20 : Pourcentage de positivité en anticorps à l'entrée en préparation (P0) – Source : Auteurs

Lot		Anticorps BRSV P0	Anticorps BPI3 P0	Anticorps M. Haemo P0
Préparé	Moyenne	38	39	3
	Ecart-type	27	35	10
Témoin	Moyenne	35	34	3
	Ecart-type	27	27	7

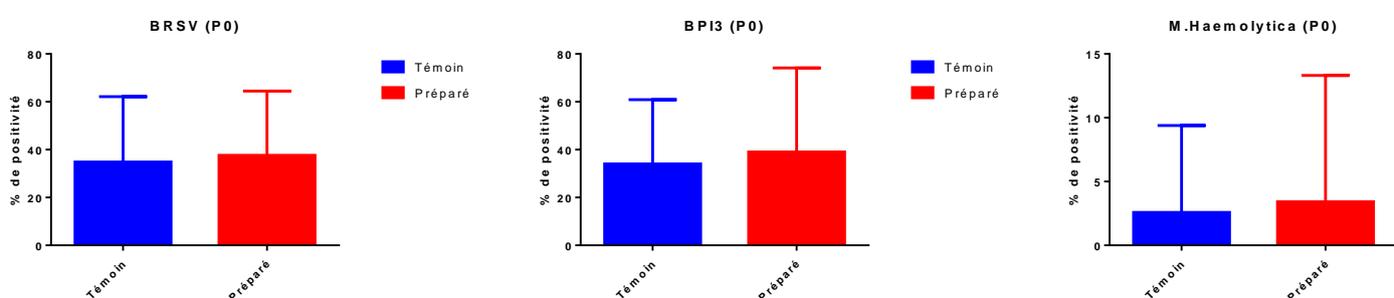


Figure 104 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps à l'entrée en préparation (P0) – Source : Auteurs

A J0, le pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis des trois valences vaccinales à savoir le *BRSV*, *BPI3V* et *M. haemolytica* étaient respectivement de 103% (± 32), 148 % (± 44), 50% (± 28) pour le lot préparé et de 39% (± 18), 35% (± 35), 25% (± 22). Les valeurs sont significativement plus élevées chez les veaux préparés que chez ceux du groupe témoin (Kruskal Wallis, $p < 0,001$) à savoir : pour le *BRSV* p -value=10-8 ; pour le *BPI3V*, p -value=10-9 ; et concernant *M. haemolytica*, p -value=3,0*10-3.

Tableau 21 : Pourcentage de positivité en anticorps à l'entrée en engraissement (J0) – Source : Auteurs

Lot		Anticorps BRSV J0	Anticorps BPI3 J0	Anticorps M. Haemo J0
Préparé	Moyenne	103	148	50
	Ecart-type	32	44	28
Témoin	Moyenne	39	35	25
	Ecart-type	18	35	22

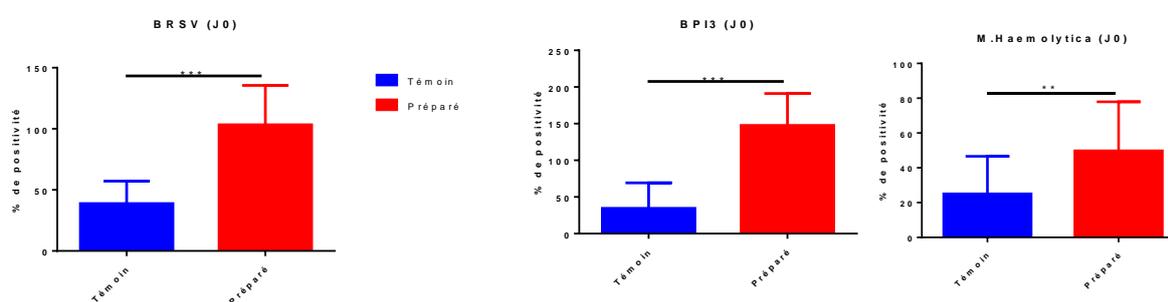


Figure 105 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps à l'entrée en engraissement (J0) – Source : Auteurs

A J30, le pourcentage de positivité augmente pour l'ensemble des pathogènes mais sans différence significative entre les lots (p-value : NS), il en est de même à J60 (voir tableau 22 et 23).

Tableau 22 : Pourcentage de positivité en anticorps en engraissement (J30) – Source : Auteurs

Anticorps	BRSV J30	BPI3 J30	M. Bovis J30	M. Haemo J30	Adénovirus J30
Moyenne	93	146	74	76	160
Ecart-type	43	45	50	38	77
Moyenne	77	143	72	54	140
Ecart-type	53	38	56	39	93

Tableau 23 : Pourcentage de positivité en anticorps en engraissement (J60) – Source : Auteurs

Anticorps	BRSV J60	BPI3 J60	M. Bovis J60	M. Haemo J60	Adénovirus J60
Moyenne	86	143	94	65	80

Ecart-type	33	41	35	27	43
Moyenne	94	144	93	66	82
Ecart-type	21	42	39	28	25

Enfin, à J180, peu avant l'abattage, on note une forte variabilité de la réponse anticorps, que ce soit au sein même des lots qu'entre les différents ateliers. Le pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis de *BRSV* était supérieur pour le lot témoin par rapport au lot préparé ($198\% \pm 48$ vs. $152\% \pm 57$; $p\text{-value}=9,0*10^{-3}$) ; pour le *BPI3V* il n'y a pas de différence significative entre le lot témoin par rapport au lot préparé ($185\% \pm 83$ vs. $181\% \pm 83$ respectivement ; $p\text{-value}$: NS) ; et concernant *M. haemolytica*, était supérieur pour lot témoin par rapport au lot préparé ($202\% \pm 112\%$ vs. $105\% \pm 78\%$; $p\text{-value}=3,0*10^{-3}$).

Tableau 24 : Pourcentage de positivité en anticorps engraissement (J180) – Source : Auteurs

Anticorps	BRSV J180	BPI3 J180	M. Bovis J180	M. Haemo J180	Adénovirus J180
Moyenne	152	181	226	105	116
Ecart-type	57	73	167	78	95
Moyenne	198	185	373	202	174
Ecart-type	48	83	159	112	118

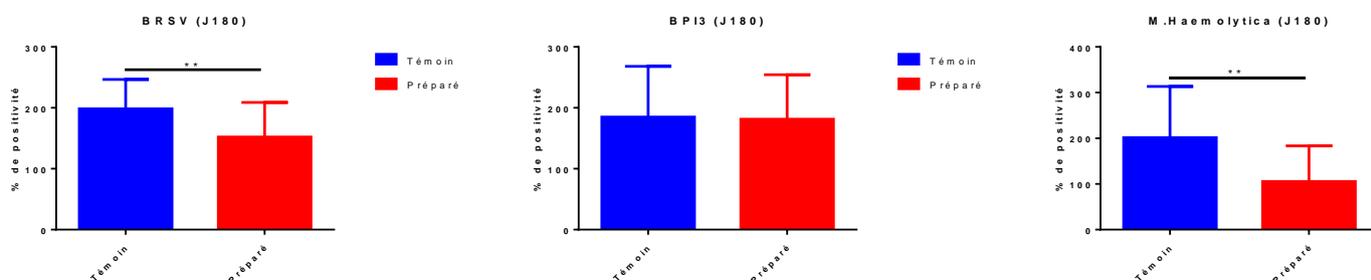


Figure 106 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps en engraissement (J180) - Source : Auteurs

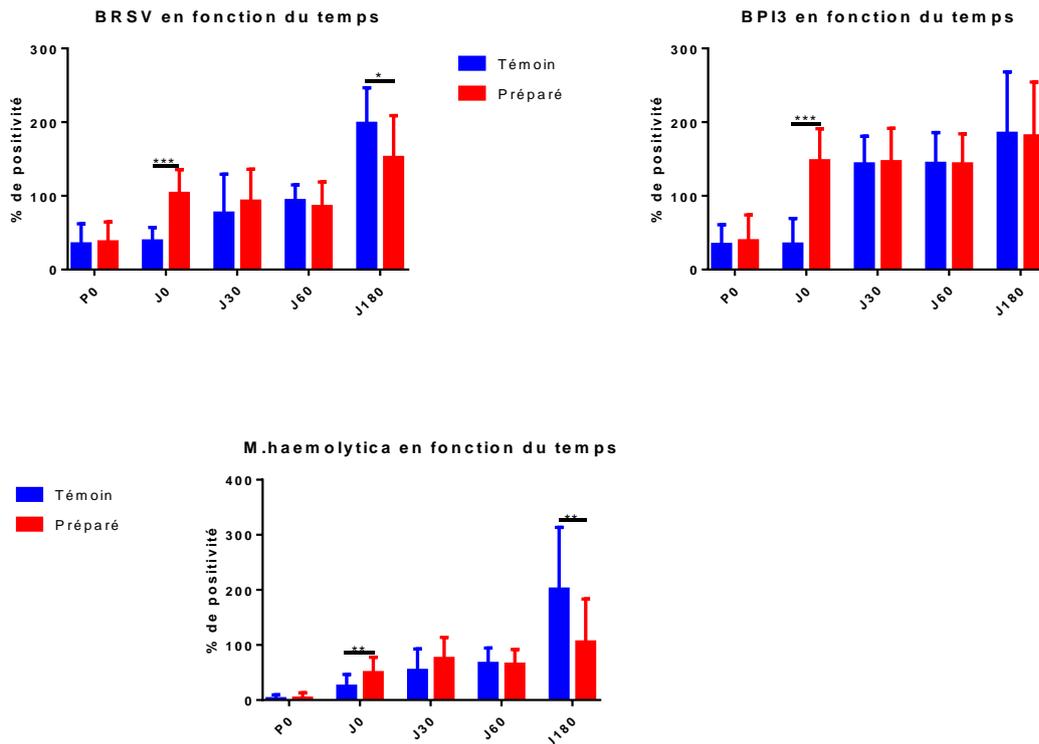


Figure 107 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps entre l'entrée en engraissement et l'abattage - Source : Auteurs

La valeur de de la réponse anticorps vis-à-vis de *M. bovis* à l'entrée en préparation et à l'entrée en engraissement sont faibles (67%, \pm 33 pour le lot préparé et 55% \pm 34 pour le lot témoin). Que ce soit à J30 ou J60, nous pouvons noter la présence d'anticorps contre *M. bovis* dans les deux groupes (préparé et témoin) de l'étude. A J180, nous observons des valeurs plus importantes faibles (67%, \pm 33 pour le lot préparé et 55% \pm 34 pour le lot témoin). Notre étude ne met pas en évidence de différence significative entre les deux lots concernant le pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis de *M. Bovis* en fonction du temps (p-value : NS).

Tableau 25 : Pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis de M. Bovis en fonction du temps – Source : Auteurs

Lot	Anticorps M. Bovis	P0	J0	J30	J60	J180
Préparé	Moyenne	67	50	74	94	226
	Ecart-type	33	41	50	35	167
Témoin	Moyenne	55	49	72	93	373
	Ecart-type	34	28	56	39	159

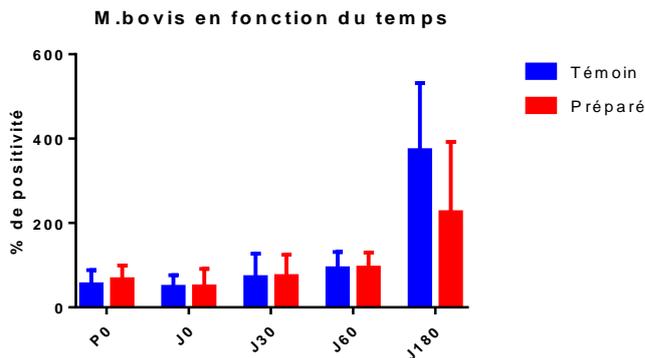


Figure 108 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis de M. Bovis entre l'entrée en engraissement et l'abattage - Source : Auteurs

Concernant l'Adénovirus Bovin, les titres anticorps sont très hétérogènes en fonction des animaux au sein même d'un groupe. A P0 nous pouvons remarquer que les titres anticorps sont très variables allant de 3% à 126 %, de même à chacun des prélèvements (J30 : 8% vs. 132% ; J60 : 0% vs. 352% ; J180 : 0% vs. 426%). Notre étude ne met pas en évidence de différence significative entre les deux lots concernant le pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis de Adénovirus Bovin en fonction du temps (p-value : NS).

Tableau 26 : Pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis de l'Adénovirus Bovin en fonction du temps – Source : Auteurs

Lot	Anticorps Adénovirus	P0	J0	J30	J60	J180
Préparé	Moyenne	75	84	160	80	116
	Ecart-type	37	38	77	43	95
Témoin	Moyenne	73	66	140	82	174
	Ecart-type	26	26	93	25	118

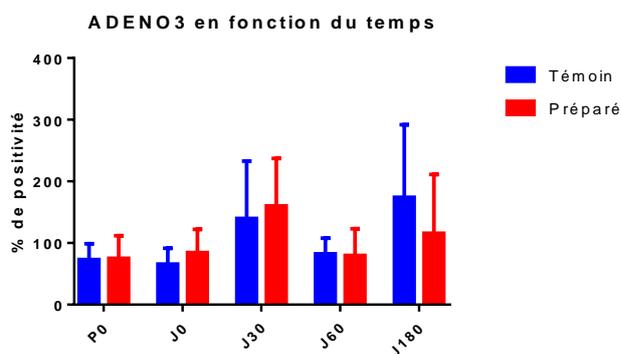


Figure 109 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis de l'Adénovirus bovin entre l'entrée en engraissement et l'abattage - Source : Auteurs

Si l'on s'intéresse à la réponse anticorps vis-à-vis du *BRSV* en fonction des ateliers d'engraissement (bleu ou gris), on obtient un pourcentage de positivité croissant avec le temps et supérieur dans l'atelier gris à J0 et J60 (P0 : 24% ± 22 ; J0 : 87% ± 43 ; J30 : 69% ± 43 ; J60 : 112% ± 11 ; J180 : 194% ± 57) que dans l'atelier bleu (P0 : 49% ± 22 ; J0 : 56% ± 41 ; J30 : 101% ± 40 ; J60 : 67% ± 25 ; J180 : 159% ± 51%) avec de fortes différences individuelles comme l'indique les valeurs élevées des écarts-types.

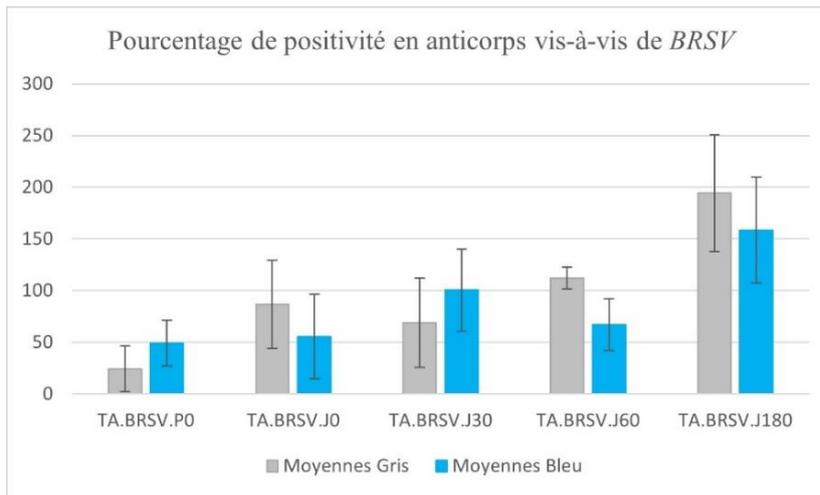


Figure 110 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis du BRSV en fonction des ateliers d'engraissement - Source : auteurs

Concernant la réponse anticorps vis-à-vis de *BPIV3* en fonction des ateliers d'engraissement est relativement similaire entre l'atelier gris (P0 : 17% ± 20 ; J0 : 89% ± 70 ; J30 : 136% ± 38 ; J60 : 151% ± 13 ; J180 : 186% ± 83) et l'atelier bleu (P0 : 58% ± 19 ; J0 : 93% ± 66 ; J30 : 154% ± 42 ; J60 : 136% ± 33 ; J180 : 186% ± 83) avec de fortes différences individuelles comme l'indique les valeurs élevées des écarts-types.

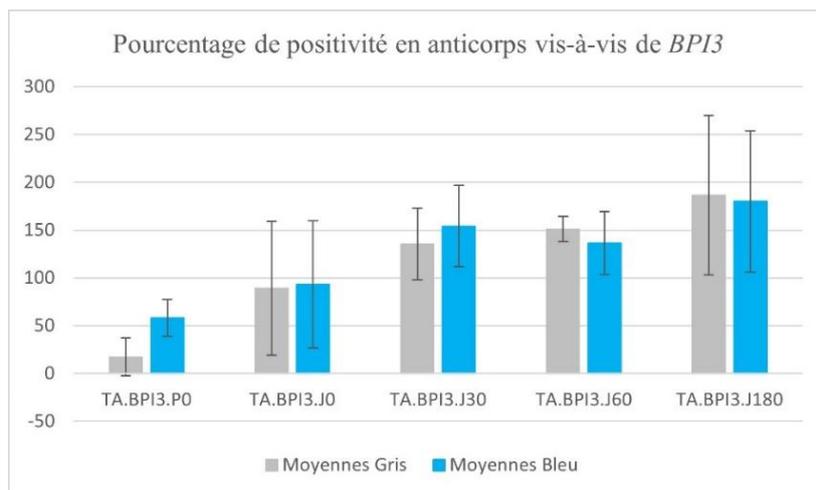


Figure 111 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis de BPI3 en fonction des ateliers d'engraissement - Source : auteurs

Enfin, la réponse à *M. haemolytica* semble plus faible dans l'atelier bleu que l'atelier gris à J180 (101% \pm 95 vs. et 211 % \pm 109).

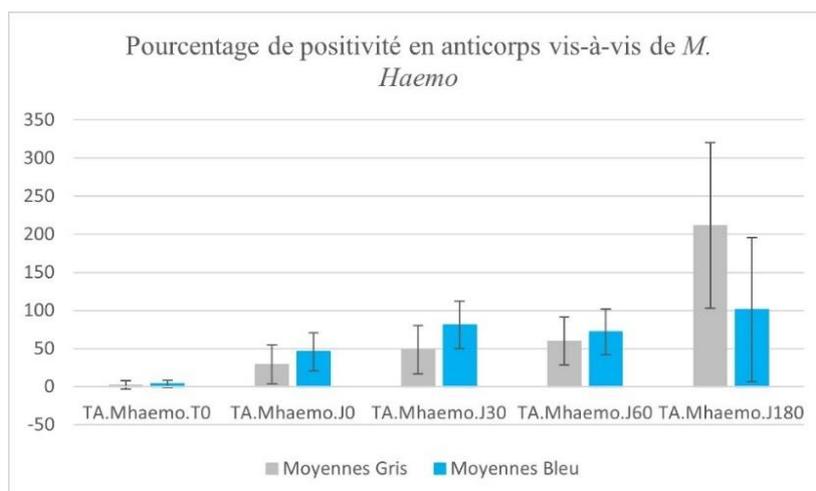


Figure 112 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis de M. Haemo en fonction des ateliers d'engraissement - Source : auteurs

2.4.4 Immunité cellulaire

L'immunité cellulaire a été évaluée via le dosage de la production de cytokines et de chimiokines en réponse à des stimulations spécifiques par les mêmes antigènes que ceux présents dans les vaccins (BRSV et *M. haemolytica*) ou des activateurs non spécifiques de la réponse innée (LPS) et de la réponse lymphocytaire T (ConA).

- Condition témoin (absence de stimulation)

A l'entrée en engraissement, nous avons réalisé des dosages de 15 cytokines. Dans la condition témoin (tube sans ligand), nous n'observons pas de différence significative entre les groupes à l'entrée en engraissement (p-value : NS).

Au cours du temps, il y a une augmentation de la production de CCL4 dans le groupe témoin par rapport au groupe préparé. Pour les cytokines de la réponse adaptative (IL-2, IL1-0, IL-4, IL-17, INF α , β , γ) nous n'avons observé aucune différence entre les groupes (p-value : NS).

- Etude de la réponse innée non spécifique (LPS)

Lors de la stimulation par le LPS, l'objectif est d'évaluer la réponse non spécifique et d'apprécier la qualité de la réponse innée. Nous pouvons noter une activation de la réponse inflammatoire par la production d'interleukines à la suite de la stimulation par le LPS chez l'ensemble des animaux.

Cependant, les données sont hétérogènes en fonction des individus. Nous ne pouvons pas conclure à une différence significative entre les groupes concernant la production des cytokines pro-inflammatoires à l'entrée en engraissement (J0). En revanche, l'IL1RA est significativement plus élevée dans le lot préparé et l'IL1B dans le lot témoin à J30 alors que certains jeunes bovins du groupe préparé ont des valeurs de la concentration des cytokines inflammatoires élevées.

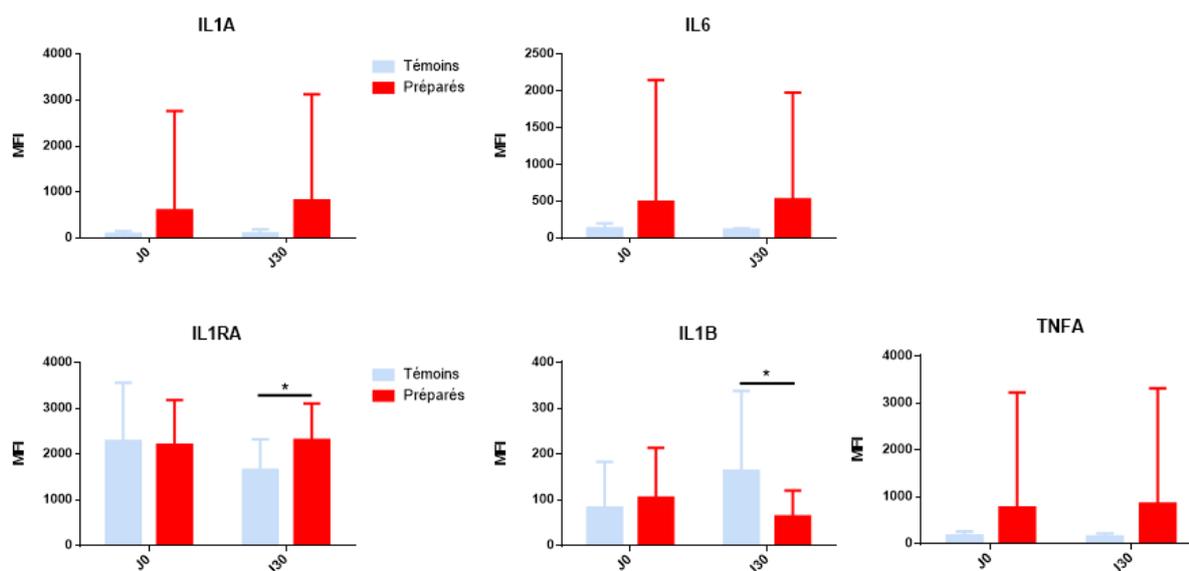


Figure 113 : Représentation graphique de la production de cytokines (réponse innée) à J0 et J30 en fonction des lots (témoins/préparés) - Source : Auteurs

- Etude de la réponse adaptative

Après stimulation par la ConA (activateur polyclonal des LT), nous observons une réponse chez tous les animaux. Cependant, nous n'observons pas de différence significative entre les groupes pour le dosage des cytokines de la réponse adaptative : IL2, IL4, IL10, IL17A, et IFN γ (p-value : NS). Pour autant, nous observons une augmentation de la production notamment de l'IL17 et l'INFg au cours du temps avec une tendance à l'augmentation, en particulier chez les témoins.

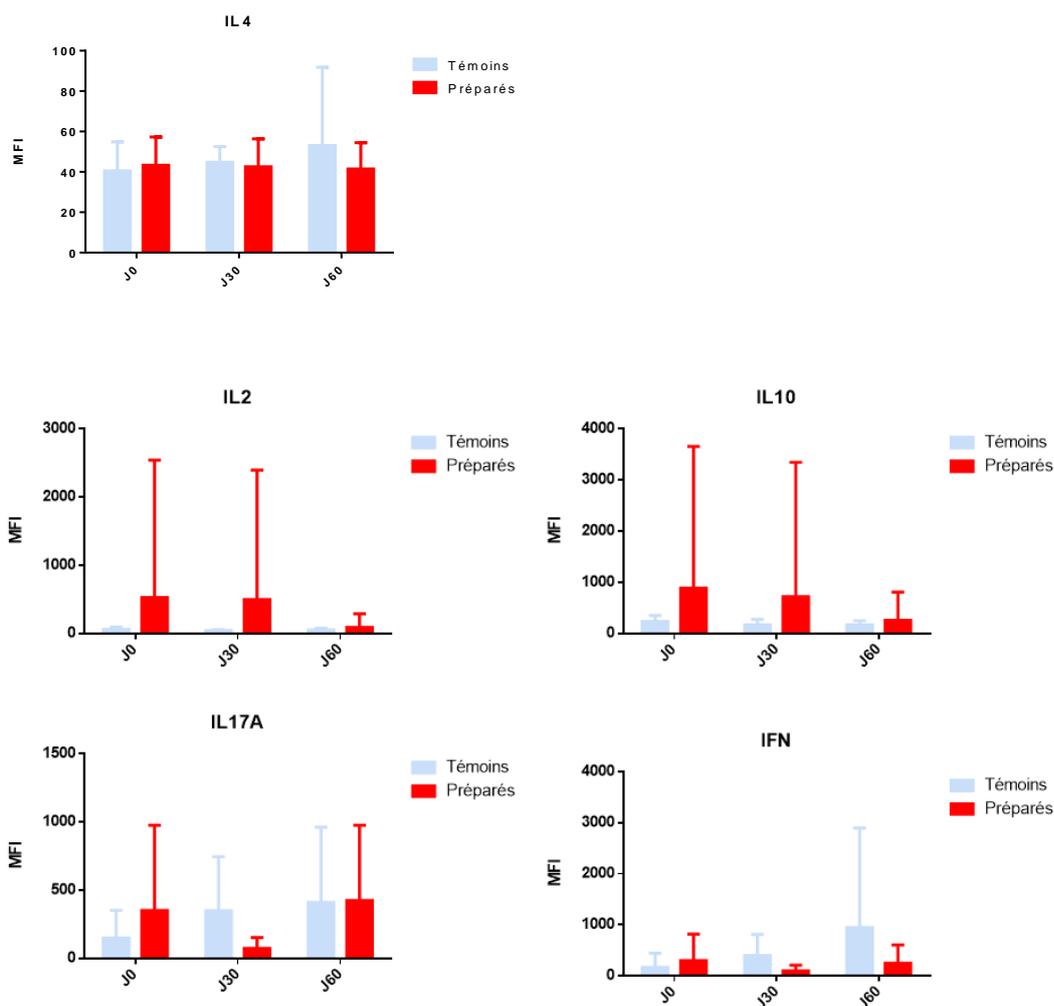


Figure 114 : Représentation graphique de la production de cytokines (réponse adaptative) à J0 J30 et J60 en fonction des lots (témoins/préparés) - Source : Auteurs

À la suite de la stimulation par les valences vaccinales, nous observons une production des interleukines de la réponse adaptative (IL2, IL4, IL10, IL17A) notamment l'IL4 et l'IL17A dans les deux groupes, mais sans différence significative entre eux (p-value : NS).

Chimiokines

A l'entrée en engraissement (J0), et après une stimulation par les valences vaccinales, BRSV et *M. haemolytica*, nous n'observons pas de différence significative entre les lots pour le dosage de la chimiokine CXCL10, quelle que soit la date (p-value : NS). Malgré des résultats très hétérogènes au sein des groupes, nous pouvons observer une différence significative de la sécrétion de CXCL10 pour le groupe préparé entre J0 et J30 lors de la stimulation par ConA, ainsi que lors de la stimulation par BRSV (respectivement p-value=4,0*10⁻³ et p-value=2,3*10⁻²). Pour ces deux stimulations, la sécrétion de CXCL10 diminue dans le temps uniquement dans le groupe préparé.

L'analyse de la sécrétion de CCL2 par le test non-paramétrique de Mann-Whitney met en évidence une diminution de la sécrétion de CCL2 entre J0 et J30 pour tous les types de stimulation effectués. Néanmoins, aucune différence significative n'a pu être mise en évidence entre les groupes (p-value : NS).

En revanche, à J30, la chimiokine CCL3 et CXCL8 sont significativement supérieures dans le groupe témoin par rapport au groupe préparé (p-value=1,2*10⁻²) dans le cas de la stimulation par le BRSV, avec une augmentation dans le groupe témoin entre J0 et J30.

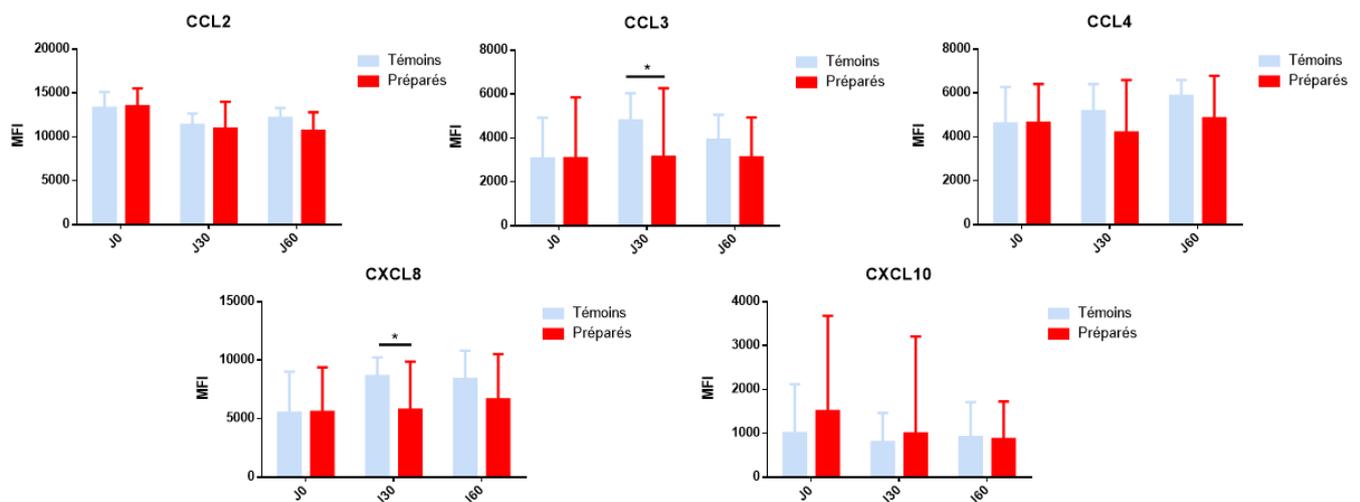
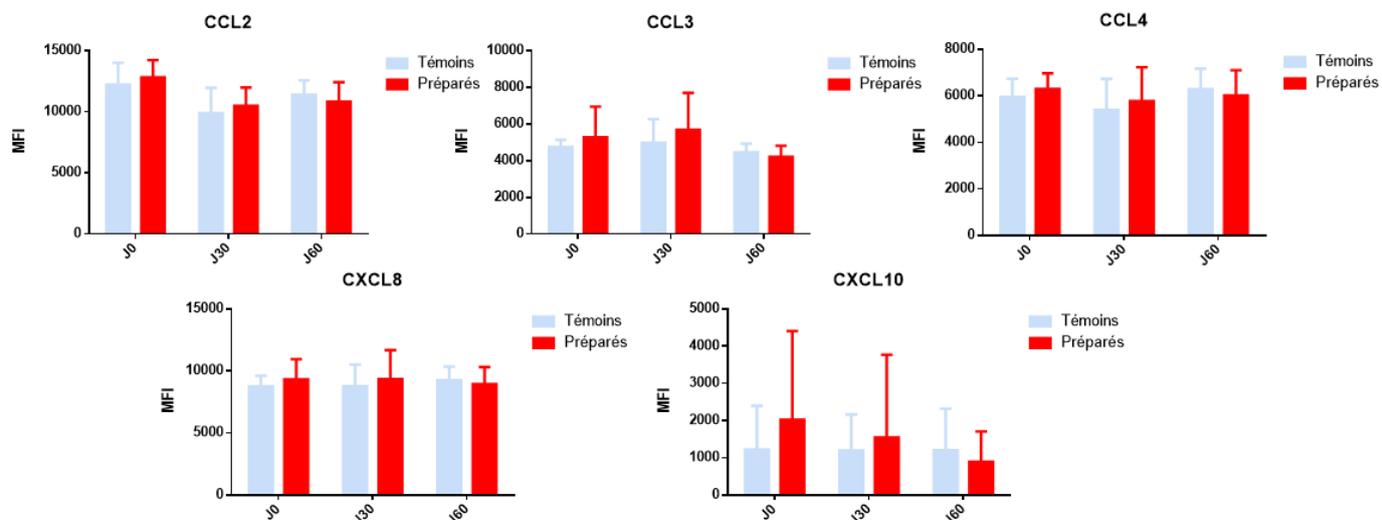


Figure 115 : Représentation graphique de la production de chimiokines à J0, J30 et J60 en fonction des lots (témoins/préparés) après stimulation par le BRSV - Source : Auteurs

Après stimulation avec *M. haemolytica*, toutes les chimiokines réagissent mais sans différence significative entre les groupes (p-value : NS). Enfin concernant CCL4, une différence significative après stimulation par *M. haemolytica* dans le groupe témoin entre J0 et

J30 (p-value=3,2*10⁻²), montrant ainsi une sécrétion de CCL4 moins grande chez les animaux témoins à J30 qu'à J0, après stimulation par *M. haemolytica*.



*Figure 116 : Représentation graphique de la production de chimiokines à J0, J30 et J60 en fonction des lots (témoins/préparés) après stimulation par *M. haemolytica* - Source : Auteurs*

Tableau 27 : Tableau de synthèse des résultats des effets des différentes stimulations sur la sécrétion des cytokines étudiées, ainsi que les différences de sécrétion entre les groupes.

	BRSV		<i>M. haemolytica</i>		<i>M. bovis</i>	
	Effet stimulation	Prep / Témoin	Effet stimulation	Prep / Témoin	Effet stimulation	Prep / Témoin
IL-1 α	0	0	+	+	0	0
IL-1 β	+	0	++	++	+	0
IL-6	0	0	0	0	0	0
TNF- α	0	-	+	0	0	0
IL-1RA	++	0	++	0	++	0
IL-4	0	0	0	0	0	0
IL-10	0	-	0	0	0	0
IL-2	0	+	0	+	0	+

IFN γ	+	+	++	++	+	+
IL-17A	0	0	+	0	0	0
IL-8	++	0	++	0	++	0
CXCL-10	0	0	0	0	0	0
CCL2	0	0	0	0	0	0
CCL3	++	0	++	0	++	0
CCL4	++	0	++	0	++	0

++ : Effet positif fort de la stimulation

+ : Effet positif la stimulation

- : Effet négatif de la stimulation

0 : aucun effet observé

- Etude de la réponse inflammatoire innée spécifique (BRSV, *Mh*)

En réponse aux conditions avec une stimulation par un des trois agents pathogènes (antigène *BRSV* ou *M. haemolytica* tuée), la réponse spécifique de l'expression de différentes cytokines (réponse innée et adaptative) est plus forte par rapport à la réponse lors de conditions témoins (données non montrées).

Par exemple, pour BRSV, de l'IL1b à J30 pour le BRSV et l'IL1RA à J60.

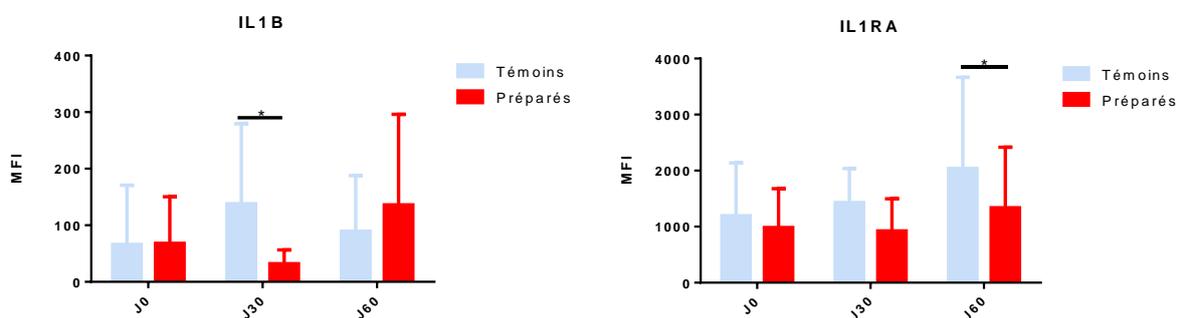


Figure 117 : Représentation graphique de la production de cytokines (réponse innée spécifique) à J0, J30 et J60 en fonction des lots (témoins/préparés) après stimulation par le BRSV - Source : Auteurs

2.4.5 Analyse intégrative

- Principe et définition des clusters

Le principe de l'analyse statistique multivariée consiste à prendre en compte l'ensemble des variables que nous avons récoltées pour identifier des groupes au sein de l'effectif étudié différents de ceux sur lesquels l'étude s'appuyait. Ces variables appartiennent à six catégories : les scores cliniques, les performances zootechniques (poids, GMQ), le statut en oligo-éléments (concentrations plasmatiques en Cu, Zn, et activité GSHpx), la réponse cellulaire spécifique (concentration des cytokines/chimiokines), et la réponse anticorps (titres sériques).

La technique d'analyse factorielle multiple (ou AFM) résume ces informations. Elle permet de placer les différents individus sur un graphique à deux dimensions selon la similarité de leur profil.

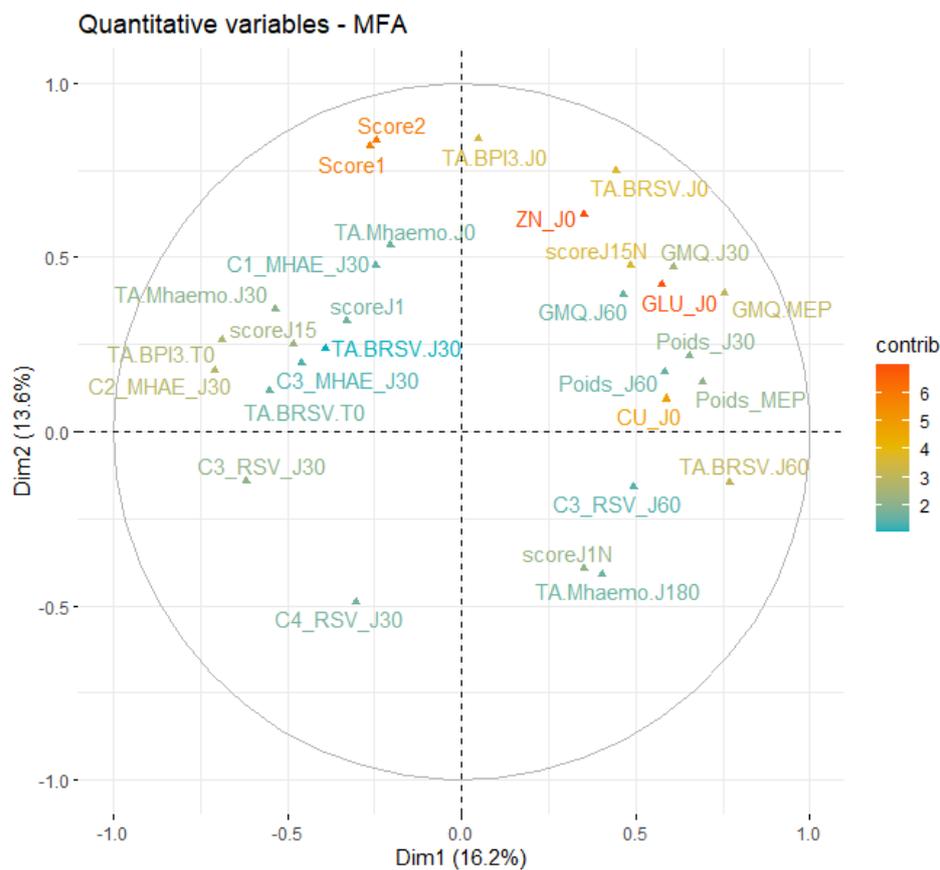


Figure 118 : Représentation graphique de la MFA - Source : Auteurs

La valeur pour chaque composante correspond à la variance de la dimension. Plus la somme des variances (des deux composantes) est proche de 100%, plus l'analyse résume une part grande de l'information. Ici, cette somme est de 29,8% indiquant qu'un tiers environ de la variance est prise en compte pour la catégorisation les animaux.

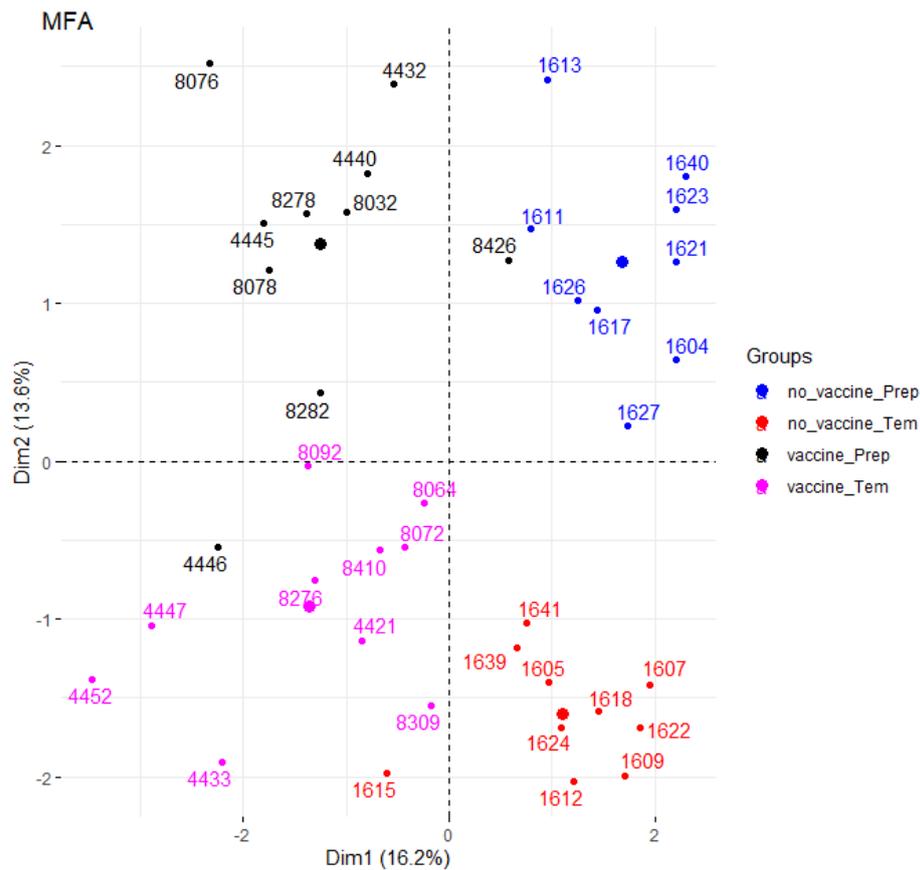


Figure 119 : Représentation graphique de la MFA - Source : Auteurs

La méthode HCPC (Hierarchical Clustering Principle Composition) a ensuite été appliquée. Le principe est de regrouper les animaux en utilisant l'ensemble des variables jusqu'à obtenir un nombre de groupes déterminé par l'algorithme et qui correspond à une classification fondée sur un ou plusieurs caractères distinctifs, qui est ou sont identifié(s) *a posteriori*. Le nombre de groupes ainsi défini est égal à trois (voir figure 120).

Après examen, ces groupes ont les caractéristiques suivantes : les bovins vaccinés (préparés et témoins) avant la préparation (en bleu), ceux qui ne l'avaient pas été préalablement à l'étude : les préparés (en vert) et les bovins témoins (en rouge). Ainsi, la dimension 1 sépare les animaux vaccinés des non-vaccinés, et la dimension 2, les animaux témoins des préparés.

La suite de l'analyse décrit les différents paramètres au sein des trois groupes qui ont ainsi été identifiés.

Cluster Dendrogram

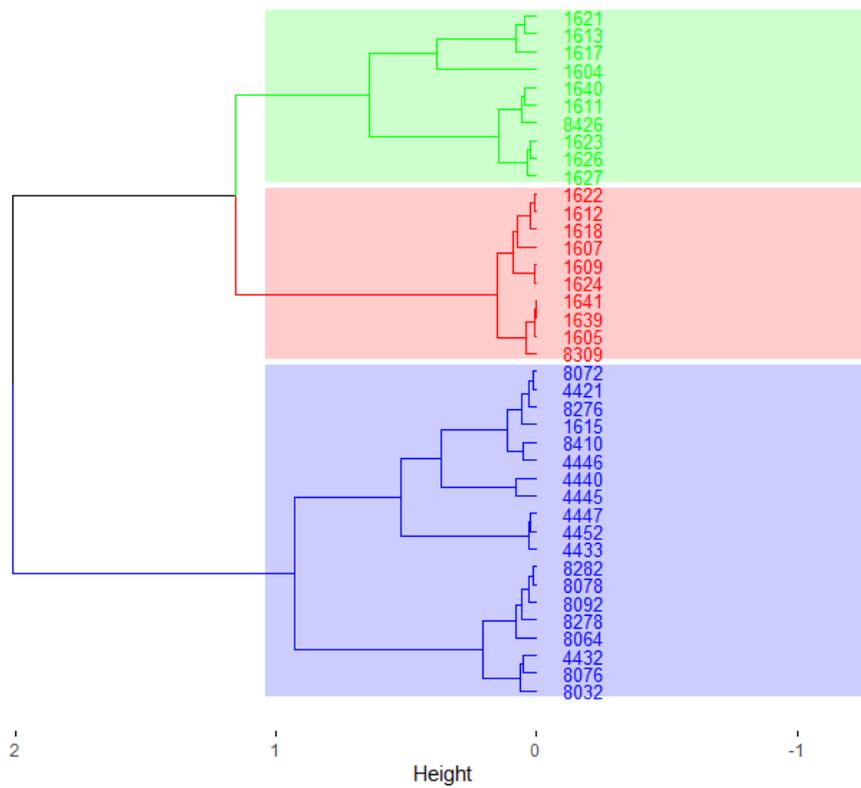


Figure 120 : Représentation graphique de la répartition en 3 clusters - Source : Auteurs

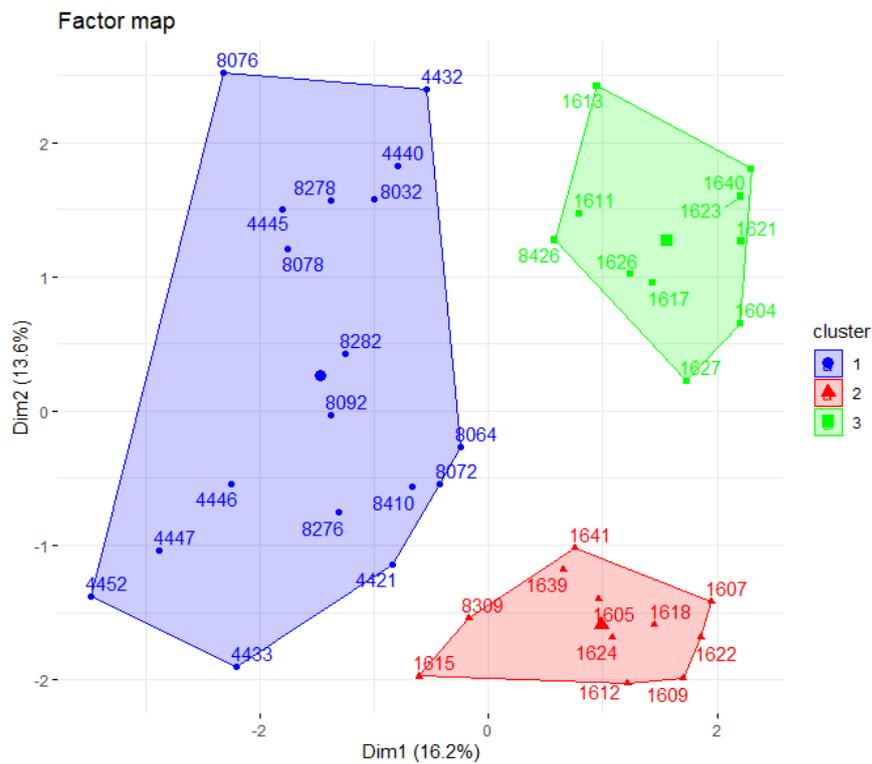


Figure 121 : Représentation graphique de la répartition en 3 clusters sur la MFA - Source : Auteurs

A l'entrée en engraissement, les animaux vaccinés (en bleu) ont une concentration en cuivre supérieure aux autres lots (rouge : $p\text{-value}=3,6*10^{-2}$ et vert : $p\text{-value}=4,7*10^{-2}$). Les préparés (en vert) ont une concentration en zinc supérieure aux autres lots (rouge : $p\text{-value}=3,8*10^{-4}$ et bleu $p\text{-value}=2,0*10^{-2}$) ; il en est de même pour l'activité de la GSHpx ($p\text{-value}=1,4*10^{-2}$ et $p\text{-value}=1,9*10^{-2}$).

Les animaux qui n'avaient pas été vaccinés ni préparés (en rouge), ont un score lésionnel pulmonaire à l'abattage significativement plus faible que les animaux préparés mais non vaccinés (en vert) ($p\text{-value} = 6,9*10^{-3}$), et significativement plus faible que les animaux vaccinés (en bleu) ($p\text{-value} = 1,8*10^{-2}$), sans différence entre les deux lots.

Enfin, les animaux ni vaccinés ni préparés (en rouge) pèsent plus lourd à l'abattage que le lot vacciné ($p\text{-value}=1,8*10^{-3}$).

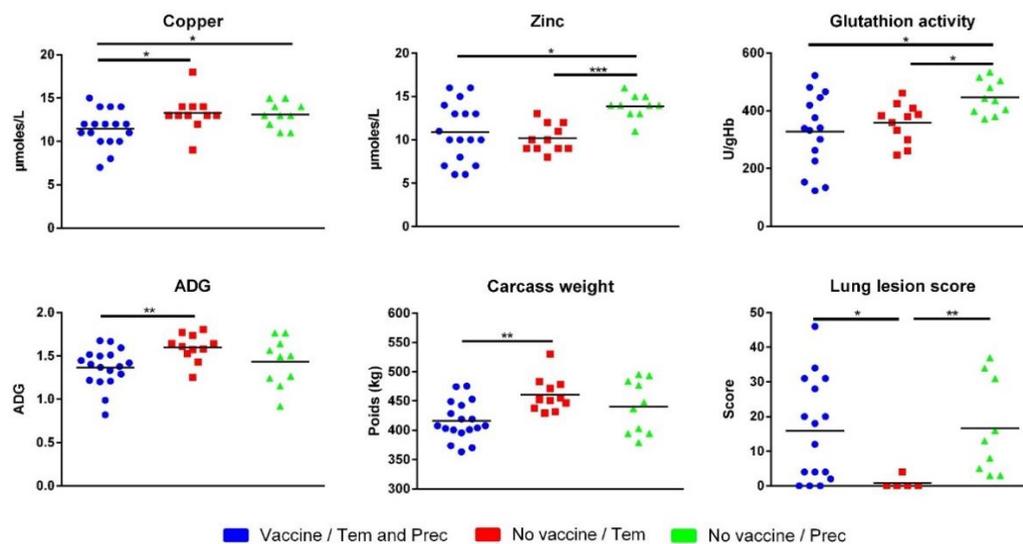


Figure 122 : Représentation graphique des données zootechniques et sanitaires en fonction des 3 lots (vaccinés/non vaccinés-témoins/non vaccinés-préparés)- Source : Auteurs

Nous observons que les bovins vaccinés avant la préparation (en bleu), ont une meilleure réponse anticorps à P0 contre les valences vaccinales (*BRSV*, *BPI3V*) par rapport aux groupes (témoins et préparés) non vaccinés (*BRSV* : $p\text{-value}=3,1*10^{-2}$ et $p\text{-value}=3,7*10^{-3}$ respectivement ; *BPI3V* : $p\text{-value}=2,0*10^{-4}$ et $p\text{-value}=1,9*10^{-3}$ respectivement). A J0, il s'agit du groupe non vacciné préparé qui obtient une réponse anticorps contre plus importante par rapport aux témoins (*BRSV* : $p\text{-value}=1,0*10^{-4}$; *BPI3V* : $p\text{-value}=1,2*10^{-4}$ et *M. haemolytica* : $p\text{-value}=4,8*10^{-3}$) et aux vaccinés (*BRSV* : $p\text{-value}=6,0*10^{-5}$; *BPI3V* : $p\text{-value}=1,6*10^{-2}$). Concernant *BRSV*, la réponse anticorps est consécutivement plus élevée dans

le lot vacciné (à J30), puis dans les lots non vaccinés (à J60). Nous n’observons pas de différence significative entre les lots pour la réponse anticorps vis-à-vis du *BPI3V* au cours du temps (p-value : NS). Enfin, nous observons une réponse anticorps vis-à-vis de *M. haemolytica* à J180 dans le lot des « non vaccinés/témoins » (en rouge) par rapport au lot préparé (p-value = $3,8 \times 10^{-2}$) et témoin ($5,7 \times 10^{-4}$).

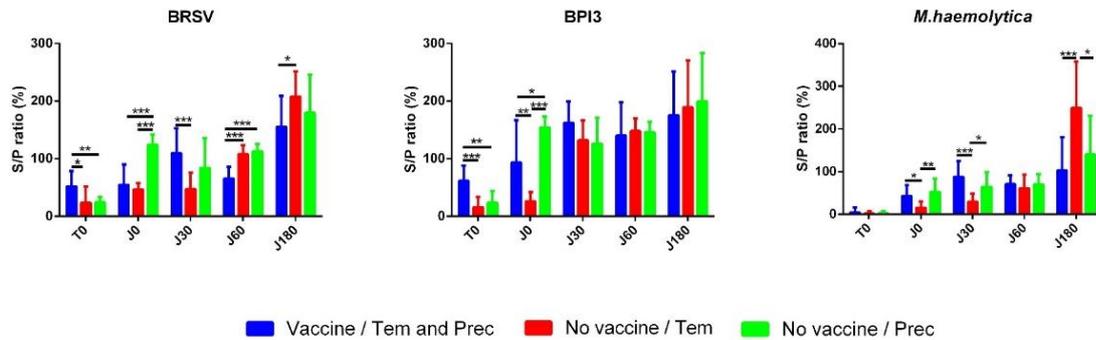


Figure 123 : Représentation graphique des données immunitaires en fonction des 3 lots (vaccinés/non vaccinés-témoins/non vaccinés-préparés)- Source : Auteurs

De 3 à 4 clusters : poids des variables

Étant donné que différentes variables étaient significativement différentes entre les groupes comme le profil de réponse immunitaire (cellulaire et humorale), le statut en oligo-éléments et les performances zootechniques, nous avons choisi de réaliser une analyse semi-supervisée afin de créer 4 groupes, et mieux prendre en compte l’impact de la vaccination dans le jeune âge.

On identifie alors quatre sous-groupes. Le cluster 1 (bleu foncé) correspond aux animaux qui n’ont été ni vaccinés ni préparés pendant le jeune âge (NVT), le cluster 2 (rouge) correspond aux animaux non vaccinés et préparés âge (NVP), le cluster 3 (vert) correspond aux animaux vaccinés et non préparés (VT) et le cluster 4 (bleu clair) correspond aux individus vaccinés et préparés (VP). Seuls deux animaux ont été exclus du reste de l’analyse (car ils avaient des profils divergents (8076 et 1613).

Notre analyse met en évidence une tendance à un effet préalable de la vaccination chez le naisseur. Pour autant, les animaux vaccinés forment un lot hétérogène. Au sein de ce groupe vacciné, nous pouvons séparer via notre analyse les animaux préparés des témoins. Cela montre l’effet de la préparation, avec des résultats zootechniques moins bons chez les animaux préparés.

Cette analyse multivariée permet de classer les animaux dans différents groupes sur la base du programme vaccinal antérieur à l'étude, et d'analyser les différents paramètres sur la base de cette nouvelle classification.

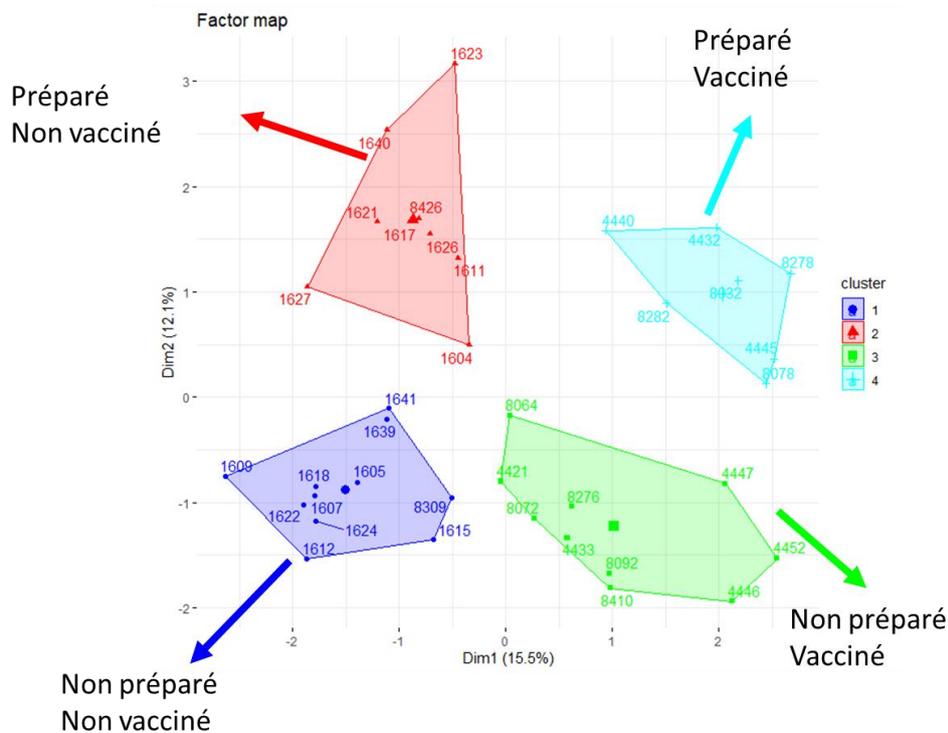


Figure 124 : Représentation graphique de la répartition en 4 clusters sur la MFA - Source : Auteurs

- Résultats cliniques

Observations

Pendant la préparation, le score clinique enregistré à P1 n'est pas significativement différent entre les groupes (p-value : NS). En revanche, à P15, les animaux non vaccinés/préparés ont un score clinique plus élevé que les non vaccinés/témoins (p-value = 8×10^{-5}), vaccinés/préparés ($8,4 \times 10^{-5}$), et vaccinés/témoins (p-value = $1,9 \times 10^{-4}$).

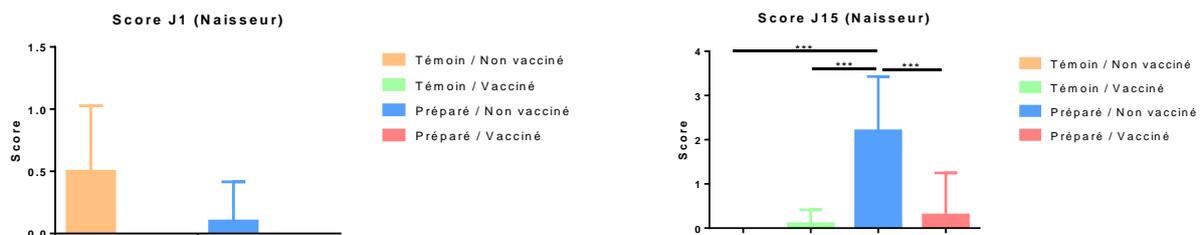


Figure 125 : Représentation graphique des scores cliniques chez les naisseurs en fonction des 4 lots- Source : Auteurs

Pendant la phase d'engrais, il n'y a pas de différence significative le lendemain de l'entrée en atelier d'engraissement (J1), ni à J4 (p-value : NS). Cependant, à J15, ce sont les animaux vaccinés/préparés qui ont le score clinique moyen le plus élevé par rapport aux animaux non vaccinés (préparés en témoins) et cette différence est significative (p-value= $3,4 \cdot 10^{-2}$ et p-value= $1,1 \cdot 10^{-2}$ respectivement).

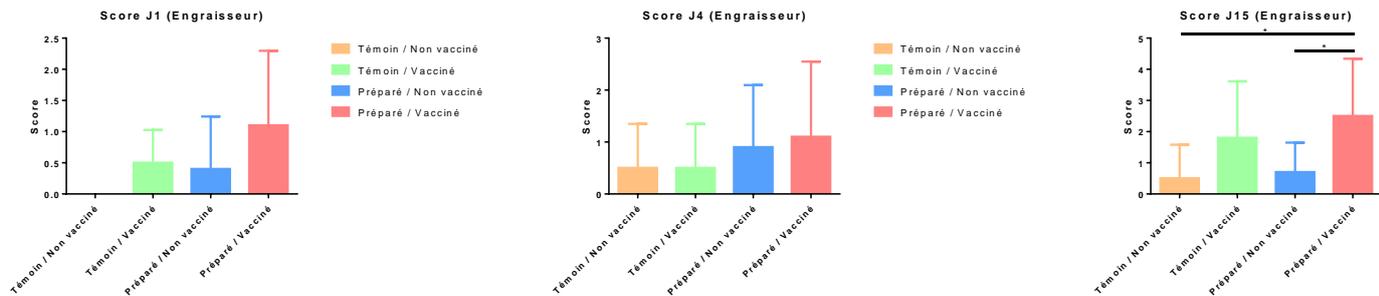


Figure 126 : Représentation graphique des scores cliniques chez les engraisseurs en fonction des 4 lots- Source : Auteurs

Lésions pulmonaires macroscopiques

La comparaison des scores lésionnels montre que les animaux vaccinés/préparés ont significativement plus de lésions que les témoins qu'ils soient vaccinés ou non (p-value= $2,3 \cdot 10^{-3}$; p-value= $5,2 \cdot 10^{-3}$). De même, les animaux préparés (vaccinés ou non) ont significativement plus de lésions pulmonaires à J180 que les non vaccinés/témoins (p-value= $2,3 \cdot 10^{-3}$ et $7,3 \cdot 10^{-3}$ respectivement). De même, les vaccinés témoins ont plus de lésions que les non vaccinés (p-value= $5,2 \cdot 10^{-3}$) mais moins que les préparés non vaccinés (p-value= $3,9 \cdot 10^{-2}$). En revanche, il n'y a pas de différence significative entre les animaux préparés qu'ils soient vaccinés ou non au sein du groupe préparé (p-value : NS).

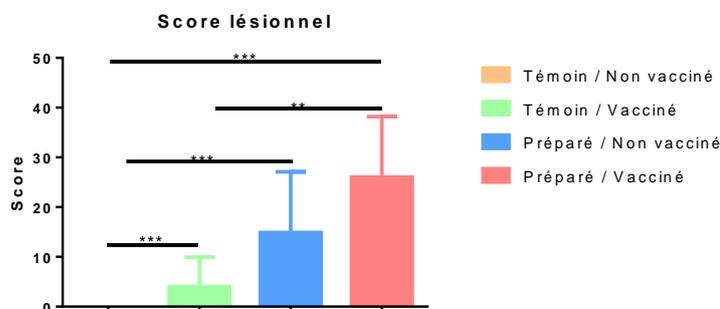


Figure 127 : Représentation graphique des scores lésionnels en fonction des 4 lots- Source : Auteurs

- Résultats zootechniques

GMQ

Le poids à la mise en place (J0) est plus élevé chez les non vaccinés/préparés par rapport aux animaux vaccinés qu'ils appartiennent au groupe témoin (p-value= $6,2 \cdot 10^{-3}$) ou préparé (p-value= $7,9 \cdot 10^{-3}$) et la différence est significative.

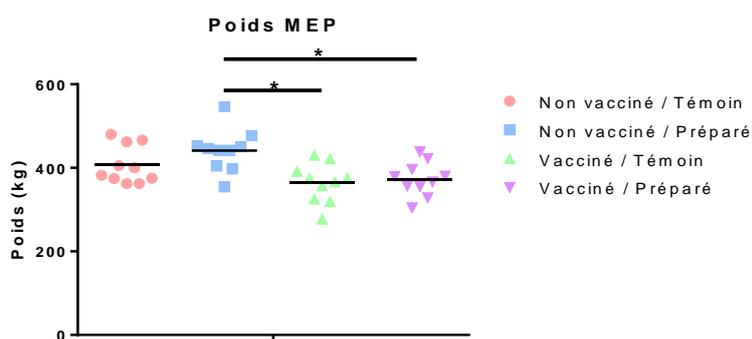


Figure 128 : Représentation graphique du poids à l'entrée en préparation en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

A J30 tout comme à J0, on note un poids significativement plus élevé pour les animaux non vaccinés/préparés (en bleu) par rapport aux animaux vaccinés : les bovins du groupe témoin (en vert) (p-value= $1,6 \cdot 10^{-2}$) et ceux préparés (en rouge) (p-value= $3,0 \cdot 10^{-2}$). Cependant, à J60 cette différence de poids entre les lots n'est plus présente (p-value : NS). Enfin à J180, le lot non vacciné/témoin (en orange) a un poids significativement plus élevé que ceux du groupe vacciné : témoin vacciné (en vert) (p-value= $2,6 \cdot 10^{-2}$) et préparé (en rouge) (p-value= $4,1 \cdot 10^{-2}$).

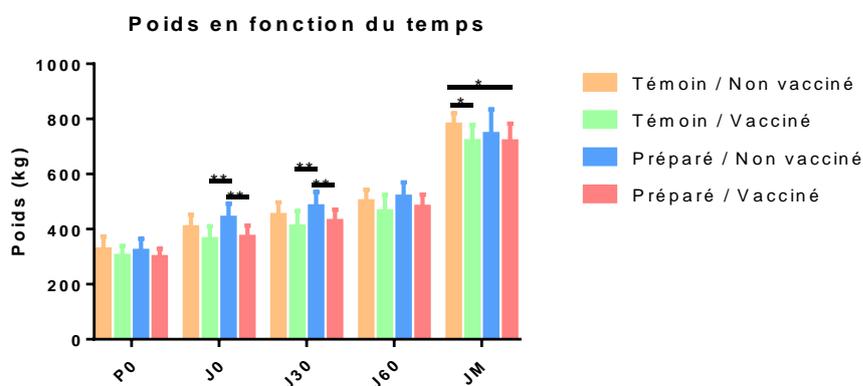


Figure 129 : Représentation graphique du poids à P0, J0, J30, J60 et J180 en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

Cette étude n'a pas permis de mettre en évidence de différence significatives sur la croissance des jeunes bovins pendant la phase d'engraissement entre le lot préparé et le lot témoin. En revanche, nous pouvons noter un GMQ moyen supérieur pour le lot non vacciné/témoin (en orange) par rapport au lot vacciné/témoin (en vert) ($p\text{-value}=8,6*10^{-3}$).

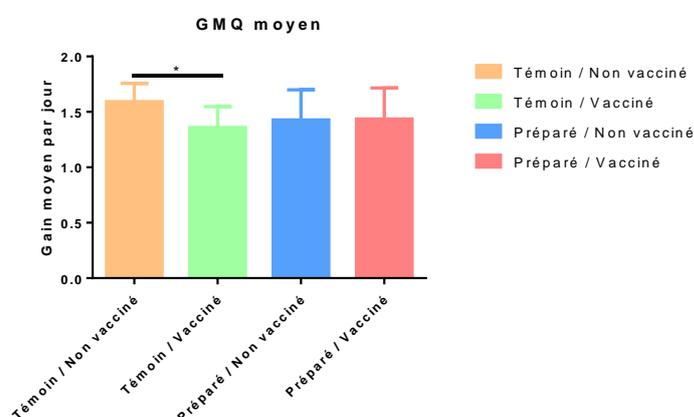


Figure 130 : Représentation graphique du GMQ moyen en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

Pour l'évolution du GMQ au cours du temps, nous pouvons tout de même noter une prise de poids plus grande à l'entrée en engraissement des bovins non vaccinés/préparés (en bleu) par rapport au groupe des vaccinés/préparés (en rouge) ($p\text{-value}=2,98*10^{-5}$) et des non vaccinés/témoins (en orange) ($p\text{-value}=3,1*10^{-5}$). De même, à l'entrée en engraissement (J0) le groupe non vacciné/témoin (en orange) a un GMQ significativement plus élevé que le lot vacciné/témoin (en vert) ($p\text{-value}=2,8*10^{-2}$). Un résultat similaire est observé à J30 avec des différences légèrement plus faibles, et qui a tendance à s'effacer ensuite à partir de J60 avec un GMQ moyen significativement plus élevé pour le groupe non vacciné/préparé (en bleu) par rapport au groupe vacciné/témoin. En fin d'engraissement, aucune différence significative n'est visible entre les groupes ($p\text{-value} : \text{NS}$).

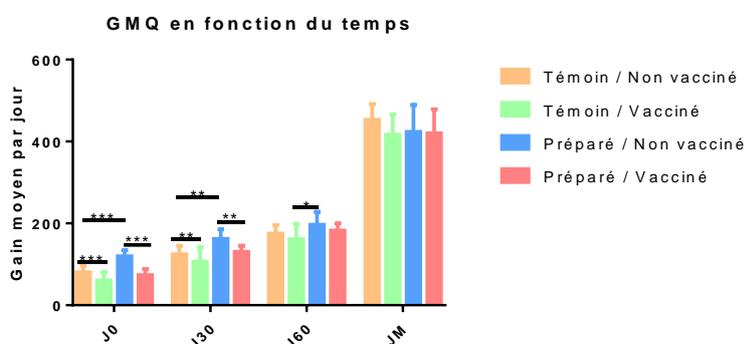


Figure 131 : Représentation graphique du GMQ à P0, J0, J30, J60 et J180 en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

Nous pouvons donc conclure que malgré un GMQ moyen similaire en fin de période d'engraissement, les animaux préparés ont un développement plus rapide au début de cette période. La croissance est donc plus rapide dans les 2 premiers mois d'engraissement, puis le groupe témoin entame sa croissance pour des performances similaires au lot préparé en fin d'engraissement.

Score carcasse et poids abattage

Concernant les scores carcasses à l'abattage, on ne note pas de différence significative entre les groupes. Cependant, on note une tendance à une meilleure conformation (U=) pour le groupe préparé non vacciné puis le groupe témoin non vacciné, puis les vaccinés (préparé ou témoin). Pour la conformation R+ (rectiligne), les témoins vaccinés ont l'effectif le plus faible, avec un bon résultat zootechnique, viennent ensuite les préparés (vaccinés ou non) qui ont un score équivalent, et enfin les témoins non vaccinés qui ont la plus grande proportion d'animaux classés R+.

Concernant le poids carcasse, ce sont ces derniers qui ont le poids le plus élevé par rapport aux trois autres lots.

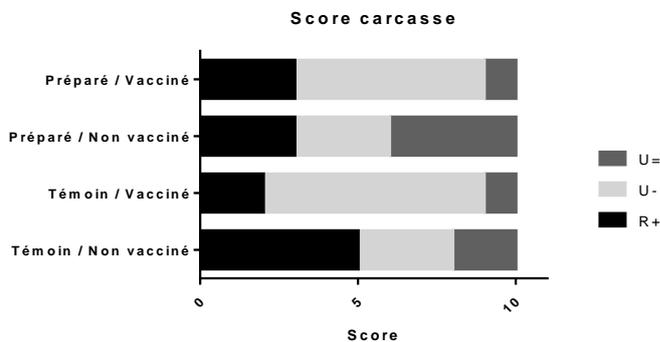


Figure 132 : Représentation graphique des scores carcasses à l'abattage en fonction des 4 lots-

Source : Auteurs

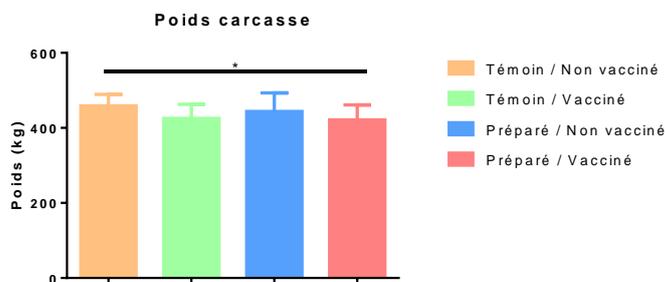


Figure 133 : Représentation graphique du poids carcasse en fonction des 4 lots - Source :

Auteurs

Oligo-éléments

Pour le cuivre, nous observons que le lot témoin vacciné a des valeurs de concentration en cuivre significativement plus faible que le lot témoin non vacciné ($p\text{-value}=3*10^{-2}$) et le lot préparé non vacciné ($p\text{-value}=1,3*10^{-2}$).

Pour le zinc, nous n'observons pas de différences entre les animaux préparés. En revanche, le lot préparé non vacciné (en bleu) a une concentration significativement plus élevée que les lots témoins vaccinés ou non ($p\text{-value}=1,7*10^{-3}$ et $p\text{-value}=9,7*10^{-5}$).

Il en est de même pour l'activité de la glutathion peroxydase avec une meilleure activité pour le lot préparés : les animaux non vaccinés préparés (en bleu) ont un meilleur statut en sélénium que les lots témoins (vaccinés : $p\text{-value} : 2,8*10^{-2}$ ou non : $p\text{-value}=4,1*10^{-2}$). Il en est de même pour les préparés vaccinés (en rouge) par rapport au lot témoin vacciné (en vert) ($p\text{-value}=1,1*10^{-2}$). Enfin, pour le lot témoin non vacciné l'activité de la GSHpx est supérieure à celle du lot témoin vacciné ($p\text{-value}=1,7*10^{-2}$).

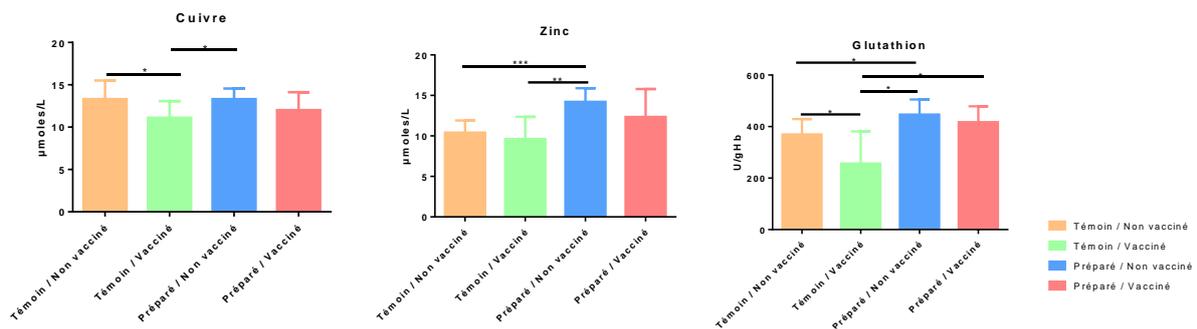


Figure 134 : Représentation graphique des concentrations en oligo-éléments à l'entrée en engraissement en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

Résultats zootechniques : Haptoglobine

Concernant l'haptoglobine, nous observons une concentration supérieure pour les lots vaccinés (témoin et préparés) au début de la préparation, par rapport au lot témoin non vacciné ($p\text{-value}=9,0*10^{-3}$ et $p\text{-value}=6,2*10^{-3}$ respectivement). Ces valeurs sont cependant très faibles par rapport à celles mesurées ultérieurement.

A J0, ce sont les groupes témoins qui possèdent une réponse inflammatoire forte compte tenu de la concentration en haptoglobine significativement plus grande que celle des groupes préparés (vaccinés : $p\text{-value}=5,2*10^{-4}$; $p\text{-value}=1,3*10^{-4}$). Et ce d'autant plus s'ils ne sont

pas vaccinés ($p\text{-value}=3,8*10^{-4}$; $p\text{-value}=1,5*10^{-4}$). Nous pouvons conclure qu'à l'entrée en engraissement, ce sont les lots témoins qui sont plus sujets à déclencher une réponse inflammatoire.

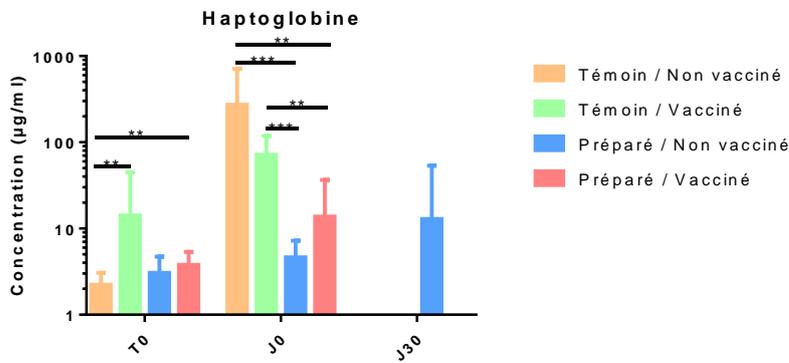


Figure 135 : Représentation graphique des concentrations en haptoglobine au cours du temps en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

- Résultats immunitaires : Immunité humorale

Valences vaccinales

Concernant la réponse anticorps vis-à-vis des différentes valences présentes dans les vaccins, nous observons que les animaux témoins vaccinés ont plus d'anticorps dirigés contre le *BRSV* à l'entrée en engraissement que les animaux préparés non vaccinés ($p\text{-value}=1,5*10^{-2}$). Cette réponse est probablement due aux précédentes vaccinations dans l'élevage naisseur. A l'entrée en engraissement, soit environ 50 jours après le début de la préparation, ce sont les animaux préparés non vaccinés qui ont la meilleure réponse contre le *BRSV*, et ce de façon significative par rapport aux trois autres groupes ($p\text{-value}=2,7*10^{-4}$, $p\text{-value}=1,1*10^{-3}$ et $p\text{-value}=2,8*10^{-4}$). Les animaux préparés vaccinés possèdent eux aussi une réponse anticorps significativement supérieure aux lots témoins (qu'ils soient vaccinés ou non) ($p\text{-values}=2,8*10^{-3}$). Enfin, on note que au sein du lot témoin, ce sont les vaccinés qui ont un titre en anticorps inférieur aux non vaccinés ($p\text{-value}=4,9*10^{-2}$).

À J30, le lot préparé vacciné a un titre d'anticorps significativement plus élevé que le groupe témoin non vacciné, qui a reçu la première injection vaccinale le jour de l'entrée dans l'atelier d'engrais ($p\text{-value}=7,6*10^{-3}$).

À J60, la réponse dans les groupes non vaccinés (qu'ils soient témoin ou préparé) est significativement plus élevée pour le *BRSV* que dans les groupes vaccinés (témoin et préparé) ($p\text{-value}=1,8*10^{-4}$, $p\text{-value}=3,3*10^{-4}$, $p\text{-value}=2,8*10^{-4}$).

À J180, les animaux témoins (vaccinés ou non) ont une réponse humorale supérieure aux animaux préparés vaccinés ($2,3 \cdot 10^{-2}$ et $p\text{-value} = 1,1 \cdot 10^{-3}$).

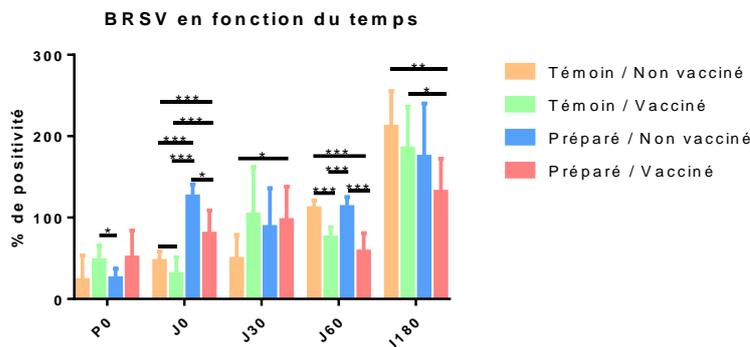


Figure 136 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis du BRSV au cours du temps en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

Concernant BPI3, à P0, la réponse vaccinale est telle que les animaux vaccinés possèdent plus d'anticorps que les animaux qui ne l'ont pas été. Pour les préparés $p\text{-value} = 3,8 \cdot 10^{-2}$, $p\text{-value} = 6,3 \cdot 10^{-4}$. De plus, au sein des vaccinés, les préparés ont plus d'anticorps que les témoins ($p\text{-value} = 3,8 \cdot 10^{-3}$).

À J0, c'est-à-dire à l'entrée en engraissement, les animaux préparés non vaccinés (en bleu) ont un pourcentage de positivité en anticorps supérieur au groupe témoin non vacciné ($p\text{-value} = 3,3 \cdot 10^{-3}$). De plus, le groupe non vacciné (en orange), a un titre anticorps supérieur aux deux groupes vaccinés ($1,2 \cdot 10^{-2}$ et $1,5 \cdot 10^{-2}$). Ensuite, nous n'observons pas de différence significative entre les lots ($p\text{-value} : \text{NS}$).

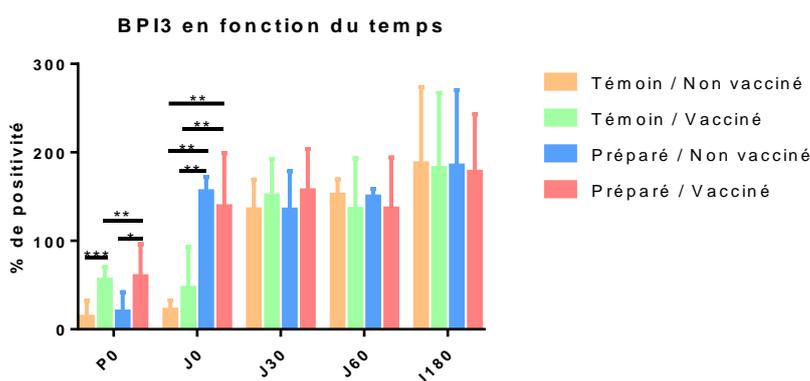


Figure 137 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis du BPI3 au cours du temps en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

Enfin, pour *M. haemolytica*, les animaux ne possèdent pas d'anticorps à P0. À J0 et J30, les animaux préparés ont un titre supérieur aux témoins (J0 : $p\text{-value} = 3,3 \cdot 10^{-3}$ et J30 : $p\text{-value} = 3,3 \cdot 10^{-3}$).

value= $2,7 \cdot 10^{-3}$). Le groupe des témoin vaccinés ont un titre anticorps significativement supérieur au groupe témoin (p-value= $1,5 \cdot 10^{-2}$ et $1,1 \cdot 10^{-2}$)

Nous pouvons noter que cette valeur augmente pour tous les lots entre J0 et J30. Ceci peut correspondre à une réponse vaccinale mais aussi possiblement à l'infection par *Mannheimia* en début de phase d'engrais. Il n'y a pas de différence entre les groupes à J60 contrairement à J180, où le groupe témoin non vacciné possède le titre en anticorps le plus élevé, et de façon significative par rapport aux autres groupes (p-value= $1,9 \cdot 10^{-2}$, p-value= $4,3 \cdot 10^{-2}$, p-value= $4 \cdot 10^{-5}$). Nous pouvons supposer que le lot témoin a été exposé à *M. haemolytica* entre J60 et J180. On note de plus, une valeur plus grande chez les témoins vaccinés et les préparés non vaccinés que chez le groupe préparé vacciné (p-value= $1,5 \cdot 10^{-2}$, p-value= $4,3 \cdot 10^{-2}$ respectivement).

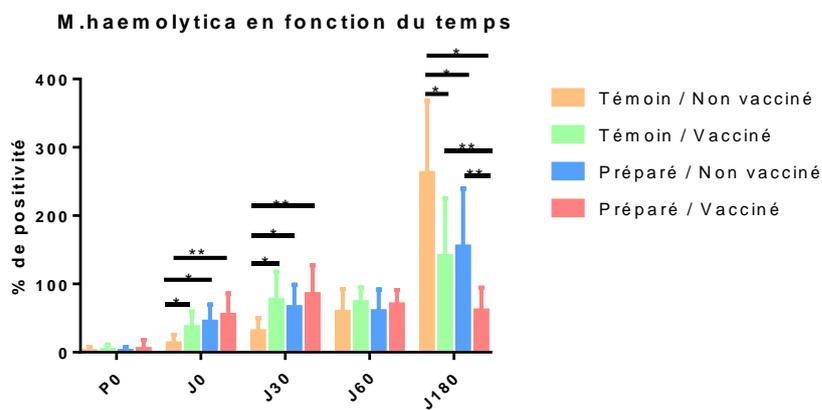


Figure 138 : Représentation graphique du pourcentage de positivité en anticorps vis-à-vis de M. Haemolytica au cours du temps en fonction des 4 lots - Source : Auteurs

L'ensemble des données relatives aux p-values sont présentées en annexe.

Autres pathogènes

Pour BAV et *M. bovis*, nous n'observons pas de différence significative entre les lots au cours du temps concernant la réponse anticorps des animaux. Les graphiques pour ces deux pathogènes sont présentés en annexe.

3. Discussion

Le principal but de notre étude était de montrer l'intérêt et les conséquences de la préparation sur les performances zootechniques et immunitaires des jeunes bovins durant la période d'engraissement. En effet, comme nous avons pu le voir dans la partie introductive, les MRB et leurs conséquences, qu'elles soient économiques, sanitaires, zootechniques, sont très documentées grâce à de nombreuses études scientifiques qui ont été publiées. Cependant, la majorité des études concernent des élevages américains ou australiens, qui sont pour la plupart des unités de très grande taille et avec des modalités d'organisation très différentes de celles rencontrées en France ou en Europe. Les conclusions de ces études ne font pas toujours consensus sur la part contributive des facteurs de risque, et les recommandations ne sont pas toujours transposables dans le contexte français. Notre étude a été réalisée en France, avec des effectifs certes petits (quelques dizaines à quelques centaines d'animaux), mais dans des conditions d'étude qui sont spécifiques de cette filière dans notre territoire. Ainsi, les conclusions de cette étude devraient être plus facilement exploitables dans les élevages français.

L'un des points forts de notre étude réside dans la méthode utilisée pour évaluer la réponse immunitaire. En effet, le dosage des anticorps contre les principaux agents de BPI, à des moments critiques (J0, J30, J60, J180) permet de rendre compte de la cinétique de la réponse anticorps pendant la phase d'engraissement. L'analyse de la réponse des différents groupes (qu'ils aient été préalablement vaccinés ou non) fournissent des informations sur la réponse vaccinale en fonction des schémas de vaccination. Cela nous a permis d'identifier des animaux avec une réponse anticorps plus forte que les autres, dont l'origine vaccinale ou infectieuse ne peut être prédite *a priori*. Cependant, l'examen des poumons a montré l'absence de lésion chez des animaux avec une bonne réponse, ce qui suggère que les animaux ont non seulement développé une réponse anticorps à un bon niveau, mais aussi une réponse efficace susceptible de les protéger contre l'apparition de lésions. Au contraire, le groupe qui a reçu le plus grand nombre d'administrations vaccinales a aussi les lésions pulmonaires les plus sévères, indiquant que l'exposition à des agents infectieux bactériens a conduit à l'apparition de broncho-pneumonies chroniques. L'ancienneté des lésions ne peut pas être déterminé avec certitude. Ainsi, le moment d'apparition des infections causales n'est pas connu, mais on ne peut pas exclure que ces lésions sont anciennes et consécutives à des infections contractées dans le premier mois d'engraissement, voire au cours de la préparation. Il pourrait aussi s'agir d'infections plus récentes, apparues chez des animaux dont la réponse n'était plus optimale et protectrice au même niveau que celle des animaux bons répondeurs.

De plus, contrairement à toutes les études antérieures, nous avons également caractérisé le volet cellulaire de la réponse immunitaire grâce au dosage de 15 cytokines et une technique novatrice récemment développée. En ce sens, notre étude est précurseur en matière de description du volet cellulaire de la réponse immunitaire spécifique et globale chez des bovins soumis à une phase critique en matière d'altération de l'immunité et d'augmentation forte des maladies infectieuses, comme les MRB. La connaissance de la réponse humorale seule ne suffit pas à décrire ni la complexité, ni la globalité de la réponse immunitaire, ni de prédire la protection des animaux face aux pathogènes respiratoires.

3.1 Limites de l'étude

3.2.1. Facteurs de variabilité de l'origine des animaux et des conduites d'élevage chez le naisseur

Dans notre étude, les animaux recrutés proviennent de cinq élevages naisseurs ce qui crée une variabilité des paramètres enregistrés et des résultats zootechniques ou immunitaires que nous avons mesurés. Cette variabilité est celle qui est communément observée dans les ateliers d'engraissement ; en ce sens, notre étude correspond bien aux conditions habituelles de cette filière, mais cette variabilité est défavorable à l'obtention de conclusions tranchées pour une étude scientifique.

Les facteurs de risque associés au développement des MRB ont été décrits et rappelés dans la partie introductive de ce travail (Ackermann et al., 2010). La conduite est différente entre tous les élevages dont sont issus les animaux et cela entraîne des conséquences sur la santé des veaux ; parmi ceux-là, nous pouvons citer l'alimentation des mères ou celle des veaux, ainsi que leur statut en oligo-éléments et en vitamines, la saisonnalité et le regroupement des vèlages, les soins apportés aux veaux autour du vèlage, dont la qualité de la prise colostrale. Le mélange d'animaux, y compris de veaux appartenant à une même exploitation, est inhérent à ce type de système ou d'atelier, et constitue un facteur de risque de transmission des agents infectieux.

Les animaux ne possèdent ni le même microbisme, ni le même statut immunitaire ou la même mémoire immunitaire qu'elle découle d'une infection ou d'une vaccination, et ils n'ont pas été exposés aux mêmes conditions d'élevage et leurs caractéristiques génétiques sont souvent assez différentes. L'exposition précoce ou avant vaccination à différents agents pathogènes tels que ceux étudiés dans cet essai, le stress (consécutif à la castration, l'écornage, le sevrage précoce) peut différer selon l'origine des animaux. Les veaux ayant eu les meilleures performances de croissance sont généralement abattus plus jeunes et ont un poids de carcasse

par jour de vie supérieur de +70 à +120 g en fonction des races. Aussi, ces bovins sont plus lourds bien qu'abattus plus jeunes.

Les bâtiments dans lesquels sont logés les couples mères-veaux sont de conception et d'utilisation très diverses. L'ambiance et les mesures de biosécurité sont déterminantes dans l'apparition de troubles respiratoires chez le veau puis chez le jeune bovin en engraissement. (Lhermie, 2017)

Il faut prendre en compte que la diversité des élevages sources est un facteur de variabilité et qu'il peut donc être difficile d'évaluer la part de l'effet de l'élevage naisseur, toutes variables confondues, sur les résultats de notre étude. Toutes les sources de variabilité peuvent interférer avec la robustesse des conclusions. Nous avons pris en compte autant que possible la variabilité individuelle ou celle due aux conditions d'élevage tout en s'approchant le plus possible des conditions d'organisation de cette filière d'élevage et des conditions de mise en œuvre de l'engraissement des bovins en France. Elle nous permet de proposer des pistes d'amélioration du protocole de préparation à la suite de l'analyse des résultats obtenus. Cependant, il aurait été utile de mieux contrôler les conditions afin de réduire le nombre de facteurs de variation, et donc la variabilité des mesures qui rendent l'interprétation des résultats parfois difficile ou peu robuste.

- Variabilité génétique

Dans notre étude, des facteurs génétiques, comme résultats du processus de sélection dans les élevages naisseurs peut avoir influé les résultats du fait du petit effectif de l'étude. En effet, un nombre d'animaux plus grand, même si un effet génétique est présent, peut gommer les effets relatifs à des facteurs qu'il est difficile de maîtriser *a priori*.

Laine et al (2005) rapportent que 20% seulement des troupeaux étaient à l'origine de la transmission de 80% des maladies infectieuses, ce qui suggère que le risque infectieux, et surtout le risque de diffusion et de contamination entre animaux et entre troupeaux n'est pas égal entre les élevages, avec notamment l'existence de « super-excréteurs ». Outre les conditions dans lesquelles les veaux sont élevés pendant les premières semaines de vie, des facteurs génétiques influencent leur réponse immunitaire. En l'occurrence dans notre étude, les animaux proviennent de plusieurs élevages naisseurs ; la sélection génétique, basée sur la conformation, le caractère des mères et les taureaux utilisés pour la reproduction entraîne des conséquences sur les produits qui peuvent avoir des caractéristiques très hétérogènes comparativement à des veaux de race laitière dont l'origine génétique est généralement connue

et peut être comparée sur la base des index génétiques des parents, ou du seul taureau. Dans leur étude sur la variabilité génétique de la réponse immunitaire à l'Herpesvirus bovin 1, Ring et al. en 2018 rapporte que les paramètres génétiques estimés sont similaires aux estimations faites en rapport aux signes cliniques des MRB. En 2006, Snowden et al estime une héritabilité de 0,08 concernant le CRB chez le jeune bovin en parc d'engraissement. De même, Heringstad et al (2008) ont obtenu une héritabilité de 0,05 chez les veaux Rouge norvégiens, Schneider et al (2010) rapporte une valeur de 0,11 chez des veaux pré-sevrés et 0,07 en parc d'engraissement aux Etats-Unis. Les valeurs d'héritabilité pour la prédisposition aux infections respiratoires sont donc faibles, indiquant un rôle majeur des facteurs environnementaux.

Le succès des infections, notamment respiratoires, dépend de l'exposition au pathogène, mais aussi à l'incapacité de l'animal à endiguer, voire éliminer le ou les agents infectieux. Chaque étape peut être en partie sous contrôle génétique. En effet, les barrières physiques naturelles, les propriétés chimiques du tractus respiratoire et leur capacité à retenir les particules, la longueur de l'axe trachéo-bronchique ainsi que les propriétés du système immunitaire inné sont propres à chaque individu. Ackermann et al rapportent une réduction du risque d'infection pulmonaire lorsque la trachée est plus longue. En effet, en augmentant la distance, le temps et la surface entre le point d'entrée des pathogènes et les poumons, l'exposition au système immunitaire et au mucus favoriserait la destruction ou minimiserait le potentiel pathogène des agents. Chez l'homme, des études rapportent que les patients avec une sinusite chronique ont une déficience de la clairance muco-ciliaire, elle-même corrélée à une variation génétique des gènes impliqués dans sa régulation.

De même, d'un point de vue comportemental, des études faites sur d'autres espèces (notamment les rongeurs), rapportent des tendances à l'évitement des animaux infectés par les animaux sains, notamment lors de la période d'accouplement. Ehman, Scott 2001 rapportent que des études ont montré que certains types de rongeurs (souris) préfèrent les partenaires avec un complexe majeur d'histocompatibilité (CMH) différent du leur. De plus, ils expliquent que l'urine, les fèces, les glandes odorantes et l'odeur corporelle joue un rôle important dans la communication et le comportement social entre individus dans toutes les espèces. Cela permet notamment aux animaux d'échanger des informations sur leur espèce, leur sexe, leur statut reproductif et social, leur identité individuelle et leur santé. (Ehman & Scott, 2001). Dans le cadre des BPIE, nous pouvons donc extrapoler que les bovins qui ne modifierait pas suffisamment leur comportement (évitement des malades), seraient plus sujet à développer des bronchopneumonies que ceux ayant tendance à les éviter.

Par exemple dans notre étude, les caractéristiques de certains animaux n'ont pas permis de les regrouper avec leur groupe d'appartenance supposé. Ainsi, le bovin 8309 (témoin vacciné) appartient au cluster 1 des témoins non vaccinés. Nous pouvons penser que dans son cas, la vaccination n'a peut-être pas été aussi efficace que chez ses congénères du cluster 3. Il en est de même pour le bovin 8426 qui a été vacciné mais qui n'est pas classé dans le cluster 4 des animaux préparés/vaccinés. La même observation vaut pour le bovin 4446 (préparé, vacciné) qui est classé dans le cluster 3 des vaccinés mais non préparés. Si des facteurs non identifiables sont à l'origine des erreurs d'attribution, il est important de noter par ailleurs que la classification a permis de grouper la plupart des animaux en fonction de ces caractéristiques. Dans une démarche de sélection génétique à caractère unique basé sur la réduction de l'incidence des BPIE, il serait intéressant d'évaluer les facteurs génétique et phénotypiques impliqués.

- Variabilité des protocoles vaccinaux du naisseur

Outre la conduite d'élevage et les caractéristiques propres des animaux, les mesures de prévention comme la vaccination des veaux contre les MRB est aussi un facteur avec des conséquences marquées alors qu'il n'était pas connu *a priori* au début de l'étude et qu'il n'avait pas été pris en compte au moment du recrutement des veaux. Certains animaux avaient reçu une première vaccination entre 8 jours et 1 mois et demi d'âge selon des modalités et avec des spécialités différentes (intranasal ou injectable, différentes spécialités). Certains d'entre eux ont reçu jusqu'à trois administrations de vaccins avant l'entrée en atelier d'engraissement alors que d'autres n'en ont reçu qu'une seule. Le statut immunitaire des animaux recrutés dans l'étude est donc très variable en lien avec cette vaccination antérieure au recrutement. Le nombre d'interventions vaccinales, parfois même au-delà des recommandations, ne permet donc pas une interprétation linéaire des résultats de l'évaluation immunitaire et pourrait même avoir des effets délétères sur la réponse mémoire, expliquant pourquoi les jeunes bovins avec le plus grand nombre d'interventions vaccinales sont ceux qui ont les titres anticorps les plus faibles.

De même, on ne connaît pas l'exposition de ces veaux lors de contacts préalables avec les agents responsables de maladies respiratoires, ce qui peut aussi influencer leur statut immunitaire et leur capacité de réponse face à une nouvelle exposition. Une étude rétrospective de 2012 a montré la difficulté d'interprétation des essais vaccinaux vis-à-vis des agents responsables de pasteurellose, en partie pour cette raison (Larson & Step, 2012). Certains effets échappent donc à notre connaissance. C'est le cas aussi des interventions comme la

vermifugation. En effet, les protocoles sont variables entre les élevages, comme l'était la pression parasitaire dans les parcelles où les veaux étaient placés.

3.2.2. Méthodologie

- Age

Les jeunes bovins enrôlés dans l'études sont âgés de 245 à 321 jours au moment du premier prélèvement avec en moyenne un âge de 290 jours. L'âge est donc très homogène parmi les animaux recrutés et il ne peut pas être considéré comme un facteur de variation de la réponse à l'entrée en engraissement. Les animaux plus jeunes, surtout avant l'âge de six mois, ont *a priori* un système immunitaire moins compétent pour lutter contre les maladies respiratoires car leur système immunitaire bien que compétent est moins mûre que celui d'animaux plus âgés.

Les animaux pèsent de 230 à 397 kg à l'entrée en préparation ($\pm 39,5\text{kg}$) ; le poids vif bien que variable est relativement homogène. (Lhermie, 2017) décrit en 2017 que les jeunes bovins déjà lourds au moment du sevrage sont mieux conformés à l'abattage (+8,9 % à +15,6% de développement musculaire) et mieux développés (+21,6% à +23,4% de développement squelettique). Il semble que les performances avant sevrage se conservent avec des animaux abattus plus jeunes (-2 à -41 jours), un poids supérieur (+12 à +25 kg de carcasse) et un poids de carcasse par jours de vie supérieur d'environ 10% (soit 71 à 89 g). Cette différence peut entraîner des conséquences physiologiques ou sur le comportement des veaux vis à vis des congénères, avec un moindre accès à l'eau et à la nourriture, susceptibles d'accroître les troubles de la santé, et une moindre expression de leur potentiel génétique.

L'une des limites de notre étude réside dans le nombre d'animaux recrutés qui est faible au regard de la variabilité des conditions d'analyse sur des animaux d'origine et de fond génétique très variables. L'étude WelHbeef comportait 168 animaux, sur des critères d'inclusion, notamment de faisabilité pour les élevages naisseurs de conduire deux groupes de la même cohorte en parallèle, parmi lesquels 40 d'entre eux ont été choisis pour notre étude. Or, pour l'analyse statistique des données, un effectif minimum de sept, voire d'une douzaine d'animaux par groupe et par critère est nécessaire. Les quatre groupes de 10 animaux son le dessin expérimental minimal pour garantir de bonnes conditions d'étude, à la condition qu'un facteur aux effets majeurs ne soit pas présent ou identifié en cours d'étude.

Ainsi, à la forte variabilité introduite par la multiplicité des élevages naisseurs (aux caractéristiques propres comme la sélection génétique, ou une conduite d'élevage spécifique),

s'ajoute le statut vaccinal des animaux en amont de l'étape de préparation. Le groupe des animaux vaccinés (n=20) comporte en réalité 4 sous-groupes contenant de 2 à 8 animaux, ce qui peut augmenter la variabilité de certains paramètres et rendre l'analyse non concluante par manque de robustesse statistique. Il n'est pas possible d'utiliser la méthode ANOVA pour réaliser des études statistiques sur les différents paramètres pris isolément. En revanche, le recours à l'analyse multivariée telle qu'elle a été réalisée permet une meilleure robustesse de l'analyse, en minimisant l'effet naisseur au profit des autres variables d'intérêt.

Idéalement, il aurait fallu recruter un plus grand nombre d'animaux mais surtout exclure la vaccination (*a minima* garantir une vaccination similaire) dès le plus jeune âge. Or, dans le contexte français, du fait de la petite taille des élevages, il est difficile de recruter de grands effectifs d'animaux.

- Cohorte

La pression d'infection doit aussi être prise en compte dans notre étude. En effet, les animaux vaccinés et non vaccinés ont été mélangés au sein d'un même lot (préparé ou non) mais aussi en centre d'allotissement, ce qui peut avoir réduit la pression d'infection et le risque infectieux au sein du lot physique. Les animaux vaccinés entrent dans l'atelier d'engrais avec une immunité vis-à-vis des agents pathogènes ciblés par les différents protocoles de vaccination. A l'inverse, les jeunes bovins non vaccinés et qui ne l'ont jamais été, peuvent être déjà porteurs d'affections respiratoires débutantes, et donc servir de source de contamination, augmentant la pression d'infection sur le groupe vacciné. Au sein de ce groupe, la réponse immunitaire à la stimulation infectieuse est variable (particularité génétiques, protocole, durée, persistance de la réponse, etc.).

Ce biais de protocole ne serait pas présent en condition réelle si tous les animaux étaient effectivement vaccinés et avec le même protocole au sein d'un même élevage. Cette pression d'infection supplémentaire apporte un biais non négligeable à notre étude durant la première phase d'engraissement et pourrait réduire l'efficacité globale du protocole. Ce biais est également évoqué dans l'étude de Larson et Step (Larson, Step 2012)

Ainsi, les animaux préparés mais non vaccinés pourraient contracter une infection respiratoire pendant la phase de préparation où le risque augmente fortement, et avant même l'entrée en centre d'engrais ; ils peuvent aussi être plus à risque au moment du transport vers le centre d'engrais que les animaux vaccinés. Ils auront possiblement développé une prédisposition aux maladies respiratoires, voire une BPI, avant même la période où le risque est

considéré comme le plus grand. Ces animaux n'auraient alors aucun bénéfice à subir une préparation. Au contraire, cette étape favoriserait l'apparition d'affections pulmonaires, en décalant dans l'élevage naisseur, le risque habituellement décrit à l'entrée en centre d'engraissement.

L'analyse globale de toutes les informations collectées durant cet essai, et au-delà de la description du statut immunitaire des jeunes bovins en lien avec la préparation, permettra de répondre à ces questions grâce à une exploitation affinée de leurs profils de réponse de nature anticorps ou cellulaire.

Notre étude mélange deux type de populations : les vaccinés et les non-vaccinés au sein d'un même lot physique (préparé ou non) ; de même, elle mélange des animaux infectés avec des animaux *a priori* sains. Ce type de protocole, présente un type de biais quant à l'exactitude des résultats appelé « la conception à 2 portes » par rapport à celle à une porte. Le biais dit « de spectre » réside dans le fait que la définition des animaux « malades » tend à sélectionner les cas les plus gravement atteints, la sensibilité du test est alors gonflée. Concernant les animaux « douteux » ou moins affectés, ils ont tendance à être rejeté dans les cas « non infecté », ce qui exacerbe de plus la sensibilité.

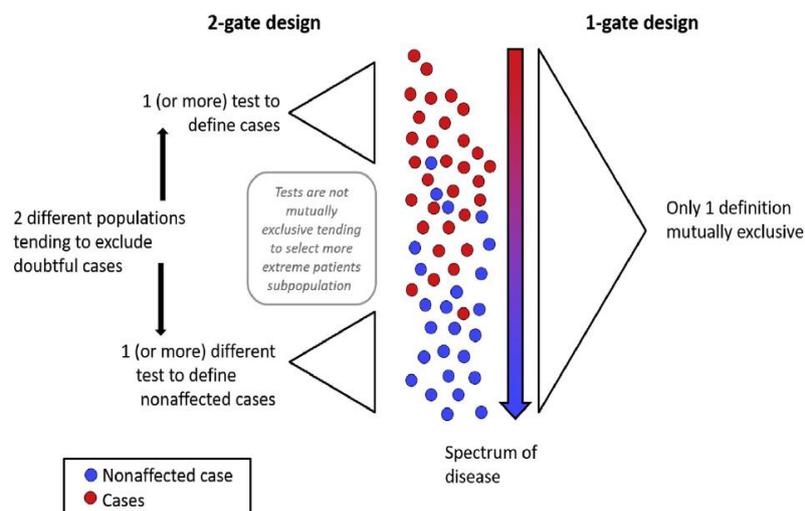


Figure 139 : Schéma d'une conception à deux portes par rapport à 1 porte dans les études de précision des tests de diagnostic – Source S. Buczinski, B. Pardon

La conception à 2 portes est similaire à une conception cas/témoin. Les définitions de cas des cas/non-cas ne s'excluent pas mutuellement, ce qui entraîne généralement l'exclusion des animaux douteux et entraîne souvent une surestimation de la précision du test car la sensibilité et la spécificité sont évaluées dans des populations artificiellement distinctes. Dans

la conception à 1 porte, il n'y a qu'une seule définition cas/non-cas mutuellement exclusive, incluant ainsi les cas douteux. La précision obtenue à partir de ces études est généralement plus proche de la précision attendue à laquelle les praticiens devraient s'attendre dans un cadre pratique.

D'autres type de biais pouvant affecter les études de précision des tests de diagnostic sur la bronchopneumonie infectieuse bovine, (présenté en annexe 17) peuvent intervenir dans notre étude.

Des observations cliniques ont été réalisées chez le naisseur pendant la préparation. On ne note pas de différence significative du score clinique au jour 1 (P1) entre le lot témoin et le lot préparé. En revanche, 15 jours plus tard, les animaux préparés ont un score clinique plus élevé que les témoins. Cela signifie que les animaux préparés ont développé des signes cliniques après l'entrée dans le bâtiment, contrairement aux témoins qui sont restés au pâturage avec les mères.

Cela signifie que les animaux préparés partent en engraissement alors que certains d'ente eux ont développé des troubles respiratoires et sont potentiellement excréteurs d'agents pathogènes respiratoires, contrairement aux témoins, ce qui peut avoir un impact sur leurs performances zootechniques par la suite. Néanmoins, comme évoqué dans la littérature, le score clinique est à analyser avec précaution car il dépend aussi de l'observation des animaux par les opérateurs. Ceci peut créer un biais de sur-détection par rapport aux conditions usuelles car les animaux sont plus fréquemment ou attentivement examinés, ce qui est bien évidemment difficile pour des animaux en pâture.

Pour confirmer ou infirmer nos observations cliniques, il aurait été intéressant d'utiliser d'autres méthodes diagnostiques. C'est le cas par exemple de l'utilisation de bolus réticuloruminaux pour détecter une augmentation de la température du rumen. Cette méthode permet une détection des anomalies 0,5 à 5,7 jours avant que les signes respiratoires ne soient détectés. Malgré une augmentation de la température ruminale sans aucun autre signe clinique, elle était toujours corrélée de manière négative avec le gain moyen quotidien (Timsit et al., 2011). De même, l'utilisation d'un dispositif qui permet une détection de l'augmentation de la fréquence respiratoire est associée à une meilleure détection, car plus précoce, des signes. (Timsit et al., 2011)

En se basant sur l'ensemble des animaux, le taux de morbidité moyen était de $26 \pm 0,27$ % ce qui correspond aux données de la littérature.(Assié et al. 2009 ; Bareille et al. 2008). En

revanche, il y avait une forte variabilité en fonction de l'atelier d'engraissement, même si la différence n'est pas significative (p-value=0,07). Cette variabilité peut être dû à plusieurs facteurs sanitaires dans les conditions d'hébergement (chez le naisseur et l'engraisseur), les soins apportés aux veaux et à leur mères, le sevrage ou encore leur compétence immunitaire. Le groupe préparé a un taux de morbidité plus élevé que le lot témoin. Ceci va donc à l'encontre des hypothèses formulées en accord avec la littérature selon lesquels le préconditionnement serait favorable à la diminution de l'incidence et de l'intensité des BPI.

- Prévalence des agents pathogènes

Les résultats de la recherche étiologique par qPCR montrent la présence du Coronavirus Bovin (BCoV) dans 81% des échantillons analysés, des pasteurelles comme *Pasteurella multocida* dans près d'un échantillon sur deux (47%), et *Histophilus somni* et *Mannheimia haemolytica* dans moins de 10% des échantillons analysés. La détection de ces agents pathogènes est cohérente avec l'observation de troubles respiratoires, mais aussi avec les protocoles de vaccination puisque les agents infectieux présents dans les vaccins n'ont pas été détectés

En effet, tous les animaux sont vaccinés avec des spécialités qui induisent une réponse vaccinale contre le BRSV (Rispoval intranasal RS, Bovilis Bovigrip, Rispoval RS et Rispoval RS-BVD-PI3). Seulement 3 naisseurs sur 5 ont eu recours à un vaccin ciblant le BPIV3 (Rispoval intranasal RS, Bovilis Bovigrip et Rispoval RS-BVD-PI3). Enfin, le BVDV est pris en charge par le protocole de vaccination d'un seul naisseur sur 5 (Rispoval RS-BVD-PI3).

En revanche un seul élevage a établi un protocole de vaccination contenant un vaccin ciblant *Mannheimia haemolytica*, soit seulement six animaux (naisseur « jaune ») parmi les 20 animaux dit « vaccinés ». *Mannheimia haemolytica*, est retrouvée parmi les échantillons collectés chez des animaux avec des signes cliniques, mais ce nombre est faible comparé à ce qui est décrit dans la littérature, son incidence pouvant atteindre 90%.

Les lésions observées à l'abattoir mettent en évidence des atteintes significativement plus marquées chez les animaux préparés. Ces observations vont dans le même sens que les résultats des observations cliniques, à l'encontre des données de la littérature. Les animaux préparés ont des lésions pulmonaires retrouvés lors de l'abattage alors qu'ils ont été vus plus souvent malades, ce qui semble cohérent. On note une prévalence variable des troubles respiratoires en fonction des élevages naisseurs, les élevages 4 et 5 étant particulièrement

touchés (p-value=0,04). Les données relatives à l'ensemble des animaux sont présentées en annexe 5.

Nos résultats indiquent que malgré un GMQ moyen similaire sur l'ensemble de l'étude, les animaux préparés ont une croissance et un gain de poids plus rapide au début de l'engrais. En effet, nous observons un meilleur GMQ dans les deux premiers mois d'engraissement pour les animaux préparés. Or, cette différence a tendance à s'effacer ensuite à partir de J60 où les performances de croissance sont quasiment similaires dans les deux lots. Plus tard, entre J60 et J180, le phénomène s'inverse : le lot témoin entame sa croissance pour finalement produire des performances similaires au lot préparé en fin d'engraissement.

- Résultats comportementaux

Contrairement à nos attentes et aux données de la littérature, cette étude n'a pas détecté de différence de comportement des animaux entre les lots témoin et préparé. Malgré cela, il est possible de noter des tendances chez les animaux qui suggèrent une réduction du stress en lien avec la préparation. En effet, les jeunes bovins juste sevrés du lot témoin ont un nombre de vocalisations plus grand (p-value=0,008) au moment de l'entrée en engraissement (J1). De plus, les animaux des lots PREP semblent avoir montré plus de comportements autocentrés (p-value=0,028 à J1 et p-value=0,09 à J8) et plus d'interactions sociales (agonistiques, non agonistiques et sexuelles).

- Poids à l'abattage et note de la carcasse

Le poids carcasse à l'abattoir était de 414 kg \pm 36 soit un poids dans les normes décrites dans la littérature et sans différence significatives entre les deux lots.

- Haptoglobine

Notre étude a permis de mettre en évidence une augmentation de la concentration en haptoglobine à l'entrée en préparation d'une part et ce sans différence significative entre les deux lots. Les valeurs comprises entre 1,6mg/L et 95,5 mg/L (moyenne 5,6 mg/L \pm 15 mg/L). correspondent avec ce que la littérature décrit comme des valeurs d'animaux sains. Il en est de même à J30 avec des valeurs comprises entre 0 et 129 mg/ L (moyenne 3,3 mg/L \pm 20,7 mg/L). En revanche, à l'entrée en engraissement, nous observons des valeurs allant de 2,3 mg/L à 1480,4 mg/L (moyenne 90,7 mg/L \pm 237,9 mg/L). La première conclusion que nous pouvons formuler est qu'il existe une grande hétérogénéité de la réponse inflammatoire en fonction des animaux (écart-type important) mais aussi que les valeurs correspondent avec des valeurs d'animaux décrit comme malades par la littérature (Angen et al., 2009).

Enfin, nous pouvons dire que le groupe témoin est plus sévèrement touché d'un point de vue inflammatoire à l'entrée en engraissement que le lot préparé avec des concentrations en haptoglobine significativement supérieures. La préparation semble donc avoir un impact bénéfique sur la diminution de l'inflammation en entrée en engraissement

- Oligo-éléments

En moyenne, nous n'avons pas constaté de carences marquées dans le lot témoin malgré quelques exceptions. Ceci rend compte d'un apport qui couvre suffisamment les besoins dans la conduite des élevages naisseurs. C'est la raison pour laquelle nous n'avons pas pu conclure à un effet significatif de la complémentation oligo-minérale sur l'efficacité de la réponse immunitaire, notamment à la vaccination. L'évaluation de possibles déficits en cuivre, zinc, sélénium, et autres oligo-éléments (iode, ...etc.) ou vitamines devrait être envisagée avant d'augmenter les apports. L'excès d'apport n'a par ailleurs jamais été évalué.

A P0, on ne note pas de différence entre les groupes concernant la réponse anticorps vis-à-vis du BRSV et du BPI3 avec cependant une forte variabilité entre les animaux. Ceci est majoritairement dû aux événements antérieurs : vaccination chez le naisseur, compétence immunitaire, statut en oligo-éléments, épisodes cliniques passés inaperçus...etc.

A J0, étant donnée la quantité des anticorps vis-à-vis des trois valences vaccinales, les veaux préparés étaient potentiellement mieux protégés contre les principaux agents du CRB au moment où le risque de développer une BPI est augmenté chez les témoins. De même, pour les résultats sérologiques concernant le BPIV3, le lot préparé possède un titre anticorps plus élevé que le groupe témoin.

Concernant *M. haemolytica*, la quantité d'IgG spécifiques était significativement plus grande dans le groupe préparé que dans le groupe témoin (p-value=0,009), peut-être à la suite de la vaccination pendant la préparation.

L'hypothèse principale de l'analyse de ces résultats à J0 est que le groupe préparé est plus compétent avec une réponse anticorps de qualité dès 50 jours après la vaccination, et ce notamment contre le BRSV et le BPI3, et dans une moindre mesure, mais toujours de façon très significative contre *M. haemolytica*. Cette immunité anticorps n'est pas corrélée à de meilleures performances, ni l'absence de lésions à l'abattage.

La présence d'anticorps à J30 et J60 est elle aussi cohérente avec les injections de vaccin réalisée à P0 à l'entrée en préparation de la moitié des animaux (préparés) et à J0 pour le lot

témoin. Cependant, à ces dates-là, on n'observe pas de différence significative entre les groupes, pour les agents pathogènes vis à vis desquels les animaux ont été vaccinés (BRSV, BPI3V et *M. haemolytica*). A J60, le groupe témoin a des résultats comparables au lot préparé. Il y a donc une séroconversion efficace à la suite de la vaccination réalisée à l'entrée en engraissement et à J30 pour le lot témoin avec une médiane du titre des anticorps autour de 75% dans les deux groupes à J60.

Que ce soit à J30 ou J60, nous pouvons noter la présence d'anticorps contre *M. bovis* et BAV dans les deux groupes (PREP et TEM) de l'étude. Cela révèle que la réponse est liée à des infections par ces agents pendant la période d'engraissement (à partir d'une 1 semaine après l'entrée en engraissement).

Les valeurs des titres anticorps contre les pathogènes étudiés à J180 (veille de l'abattage) est significativement plus faibles chez les brouillards préparés alors qu'ils avaient été vaccinés pendant la préparation. Deux hypothèses peuvent être formulées à la suite de cette observation : l'effet « élevage » semble déterminant et peut créer des différences de réponse. De plus une vaccination plus précoce sans rappel pourrait expliquer une diminution du titre des anticorps malgré un écart de temps qui peut sembler faible, ou une moindre persistance de cette réponse à la suite des multiples interventions.

De ce fait, du point de vue sérologique, la préparation des jeunes bovins n'a pas permis d'induire une immunité anticorps plus intense dans ce groupe. Cependant, la vaccination anticipée a permis la production d'anticorps avant la période où le risque d'exposition à certains agents infectieux est le plus grand. Même si la préparation ne permet pas la mise en place d'un titre anticorps plus élevé, il a été démontré que lorsque ce titre atteint un niveau suffisant il serait capable de protéger le bovin, mais l'effet protecteur n'est pas meilleur au-delà du titre considéré comme protecteur (Theurer et al, 2015).

Pour la réponse cellulaire, des différences en fonction de l'historique de la vaccination et du groupe sont notées. Ces mesures étant plus récentes que l'analyse de la réponse anticorps, il est encore trop tôt pour relier un profil de réponse particulier à une meilleure protection vis-à-vis des infections respiratoires. Des travaux complémentaires encore en cours sont nécessaires.

Néanmoins, l'étape de préparation permet d'anticiper le développement d'une immunité considérée comme protectrice avant la phase critique où les bovins sont soumis à une pression d'infection plus grande à cause du mélange d'animaux provenant de divers élevages et pouvant

être porteurs de germes vis-à-vis desquels les autres bovins sont naïfs et sensibles. De plus, le stress, la déshydratation et la manipulation sont des facteurs qui provoquent une diminution de l'efficacité de l'immunité cellulaire, les anticorps circulants eux restent disponibles pour contribuer à la maîtrise d'une éventuelle infection (Merlot, 2004). Selon l'étude de De Groot, le stress infectieux à long terme serait même associé à une surproduction d'anticorps (De Groot et al, 2001).

4. Conclusion

Notre étude cherchait à montrer l'intérêt et les avantages de la préparation sur les performances zootechniques et immunitaires des jeunes bovins durant la période d'engraissement. La conclusion que nous pouvons formuler est double.

Tout d'abord, la vaccination dans le jeune âge est un point clé de la prévention contre les MRB. La stimulation de l'immunité de ces animaux en amont de la phase d'exposition aux pathogènes est primordiale pour assurer une protection contre les infections au période à risque comme l'entrée en atelier d'engraissement à cause d l'augmentation des facteurs de risque infectieux que nous avons décrits. En revanche, la vaccination seule ne permet pas de prévenir l'apparition de troubles respiratoires que ce soit chez le naisseur ou chez l'engraisseur. En effet, elle est très souvent utilisée dans les élevages dits « à problèmes », et son recours est souvent motivée par l'apparition excessive de troubles respiratoire chez les jeunes bovins. Ces élevages, que ce soit d'un point de vue zootechnique ou des conditions d'élevage sont à risque d'apparition des MRB. Il existe donc une relation entre incidence accrue des troubles et recours à la vaccination, qui est en conséquence un pis-aller. Ces conditions d'utilisation ne sont peut-être pas les plus favorables pour décrire un effet favorable de la vaccination. Cela renforce l'idée qu'il est de maîtriser les facteurs de risque d'apparition des BPI et que la vaccination n'est pas la solution à une situation trop dégradée.

De plus, notre étude met en lumière que la préparation dans de mauvaises conditions zootechniques, notamment liées à la qualité des bâtiments d'hébergement des bovins, peut même favoriser l'apparition de troubles respiratoires et peut-être de lésions de l'appareil respiratoire , y compris chez des animaux vaccinés. Les troubles sont cependant plus sévères chez ceux qui ne l'avaient pas été. La préparation comme nous l'avons décrite (alimentaire, immunitaire, sanitaire...etc.) réalisée dans des conditions d'hébergement non satisfaisantes (bâtiments non adaptés) n'est pas la solution à l'amélioration de la santé des jeunes bovins lors de la phase d'engraissement. En effet, elle favorise l'apparition de troubles et de lésions pulmonaires chroniques.

Outre l'objectif d'améliorer les performances zootechniques et de santé des jeunes bovins lors de l'engraissement, notre étude cherchait à contribuer à mieux connaître et éventuellement optimiser la phase de préparation. Il s'agit notamment d'articuler cette période autour de notions de bien-être animal et d'optimisation économique en réduisant l'incidence des maladies respiratoires. Emergent depuis le début des années 2000, le mouvement *One Health* promeut une vision partagée et unifiée de la santé humaine, vétérinaire et

environnementale à toutes les échelles (locale, nationale, globale). C'est aujourd'hui l'un des enjeux auxquels nous allons devoir faire face et pour lequel les maladies de la sphère respiratoire sont plus que jamais concernées.

5. Annexes

Annexe 1 : Identification, dates de naissance, prélèvement, âges à J0, J30 et J60 – Source

Auteurs

<i>Identification</i>	<i>Date de naissance</i>	<i>Date de prélèvement (J0)</i>	<i>Age à J0</i>	<i>Date de prélèvement (J30)</i>	<i>Age à J30</i>	<i>Date de prélèvement (J60)</i>	<i>Age à J60</i>
1604	13/12/2017	25/10/2018	316	28/11/2018	350	27/12/2018	379
1605	16/12/2017	25/10/2018	313	28/11/2018	347	27/12/2018	376
1607	19/12/2017	25/10/2018	310	28/11/2018	344	27/12/2018	373
1608	22/12/2017	25/10/2018	307	28/11/2018	341	27/12/2018	370
1609	22/12/2017	25/10/2018	307	28/11/2018	341	27/12/2018	370
1611	25/12/2017	25/10/2018	304	28/11/2018	338	27/12/2018	367
1612	29/12/2017	25/10/2018	300	28/11/2018	334	27/12/2018	363
1613	30/12/2017	25/10/2018	299	28/11/2018	333	27/12/2018	362
1615	03/01/2018	25/10/2018	295	28/11/2018	329	27/12/2018	358
1617	03/01/2018	25/10/2018	295	28/11/2018	329	27/12/2018	358
1618	04/01/2018	25/10/2018	294	28/11/2018	328	27/12/2018	357
1621	09/01/2018	25/10/2018	289	28/11/2018	323	27/12/2018	352
1622	11/01/2018	25/10/2018	287	28/11/2018	321	27/12/2018	350
1623	11/01/2018	25/10/2018	287	28/11/2018	321	27/12/2018	350
1624	17/01/2018	25/10/2018	281	28/11/2018	315	27/12/2018	344
1626	18/01/2018	25/10/2018	280	28/11/2018	314	27/12/2018	343
1627	24/01/2018	25/10/2018	274	28/11/2018	308	27/12/2018	337
1639	14/02/2018	25/10/2018	253	28/11/2018	287	27/12/2018	316
1640	20/02/2018	25/10/2018	247	28/11/2018	281	27/12/2018	310
1641	22/02/2018	25/10/2018	245	28/11/2018	279	27/12/2018	308
4421	11/11/2017	28/09/2018	321	25/10/2018	348	28/11/2018	382
4432	28/11/2017	28/09/2018	304	25/10/2018	331	28/11/2018	365
4433	29/11/2017	28/09/2018	303	25/10/2018	330	28/11/2018	364
4440	01/12/2017	28/09/2018	301	25/10/2018	328	28/11/2018	362
4445	12/12/2017	28/09/2018	290	25/10/2018	317	28/11/2018	351
4446	12/12/2017	28/09/2018	290	25/10/2018	317	28/11/2018	351
4447	15/12/2017	28/09/2018	287	25/10/2018	314	28/11/2018	348

4452	26/12/2017	28/09/2018	276	25/10/2018	303	28/11/2018	337
8032	29/11/2017	28/09/2018	303	25/10/2018	330	28/11/2018	364
8064	18/12/2017	28/09/2018	284	25/10/2018	311	28/11/2018	345
8072	26/12/2017	28/09/2018	276	25/10/2018	303	28/11/2018	337
8076	29/12/2017	28/09/2018	273	25/10/2018	300	28/11/2018	334
8078	02/01/2018	28/09/2018	269	25/10/2018	296	28/11/2018	330
8092	26/01/2018	28/09/2018	245	25/10/2018	272	28/11/2018	306
8276	20/11/2017	28/09/2018	312	25/10/2018	339	28/11/2018	373
8278	03/12/2017	28/09/2018	299	25/10/2018	326	28/11/2018	360
8282	04/12/2017	28/09/2018	298	25/10/2018	325	28/11/2018	359
8309	17/12/2017	28/09/2018	285	25/10/2018	312	28/11/2018	346
8410	21/11/2017	28/09/2018	311	25/10/2018	338	28/11/2018	372
8426	28/12/2017	28/09/2018	274	25/10/2018	301	28/11/2018	335

Annexe 2 : Identification, lots, vaccination et poids à J0, J30, J60, J180 et poids carcasse –

Source Auteurs

<i>Identification</i>	<i>Lot</i>	<i>vaccination</i>	<i>P0</i>	<i>J0</i>	<i>J30</i>	<i>J60</i>	<i>J180</i>	<i>Poids carc</i>
1604	Prep	non vaccine	333	452	465	478	648	403
1608	Prep	non vaccine	395	546	590	616	912	524,5
1611	Prep	non vaccine	370	477	516	540	810	477
1613	Prep	non vaccine	335	446	472	516	716	437,3
1617	Prep	non vaccine	280	404	442	490	650	379
1621	Prep	non vaccine	240	354	404	445	674	394,6
1623	Prep	non vaccine	316	442	516	564	818	483,8
1626	Prep	non vaccine	299	397	442	459	662	394,6
1627	Prep	non vaccine	314	442	487	530	760	447,6
1640	Prep	non vaccine	329	450	499	538	800	493,6
4432	Prep	vaccine	285	355	424	470	704	419,1
4440	Prep	vaccine	354	422	498	554	826	475,5
4445	Prep	vaccine	247	304	369	403	688	403
4446	Prep	vaccine	276	328	383	429	692	407,9
8032	Prep	vaccine	332	438	484	528	636	370
8076	Prep	vaccine	307	379	424	476	690	419,1

8078	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>	297	380	437	478	674	373,6
8278	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>	283	356	399	476	686	404
8282	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>	289	366	420	482	768	442,7
8426	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>	315	396	454	514	822	495,6
1605	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>	289	375	420	487	752	451
1607	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>	386	462	504	554	796	483,3
1609	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>	387	466	512	558	880	530,4
1612	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>	316	400	456	466	784	455,4
1615	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>	325	362	396	464	768	446,6
1618	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>	397	480	524	562	774	431,9
1622	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>	292	382	417	472	750	429,4
1624	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>	285	374	419	483	796	471,6
1639	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>	271	362	415	462	732	437,8
1641	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>	313	405	447	506	762	452,5
4421	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>	366	430	470	528	798	474,5
4433	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>	270	325	367	404	722	453
4447	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>	292	319	364	421	668	401
4452	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>	230	277	304	357	670	395,6
8064	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>	307	375	490	557	634	363
8072	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>	328	421	449	491	738	449
8092	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>	300	375	434	484	690	400,5
8276	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>	301	357	397	439	718	407,9
8309	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>	310	391	427	491	822	478,4
8410	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>	326	366	395	473	738	428,5
<i>Moyenne</i>			312	396	443	491	741	414
<i>Médianes</i>			310	391	442	484	738	404

Annexe 3 : Symptômes respiratoires des 168 bovins de l'étude à P1 et P15 en fonction des lots témoins ou préparés (en %) – Source Auteurs

<i>Résultats :</i>		<i>Témoin</i>		<i>Préparés</i>	
<i>Symptômes respiratoires</i>		<i>P1</i>	<i>P15</i>	<i>P1</i>	<i>P15</i>
<i>Jetage</i>	<i>Absent</i>	94%	95%	98,8%	77%

	<i>F-Séreux</i>	6%	3,8%	1,2%	23%
	<i>M-Séreux</i>	0%	1,2%	0%	0%
<i>Ecoulement</i>	<i>Absent</i>	84,5%	91,6%	88%	86,9%
<i>Oculaire</i>	<i>F-Séreux</i>	2,3%	3,5%	2,3%	5,9%
	<i>M-Séreux</i>	7,1%	3,5%	9,7%	4,7%
	<i>Abon-Séreux</i>	5,9%	1,4%	0%	2,5%
<i>Toux</i>	<i>Présente</i>	0%	1,2%	0%	10,7%

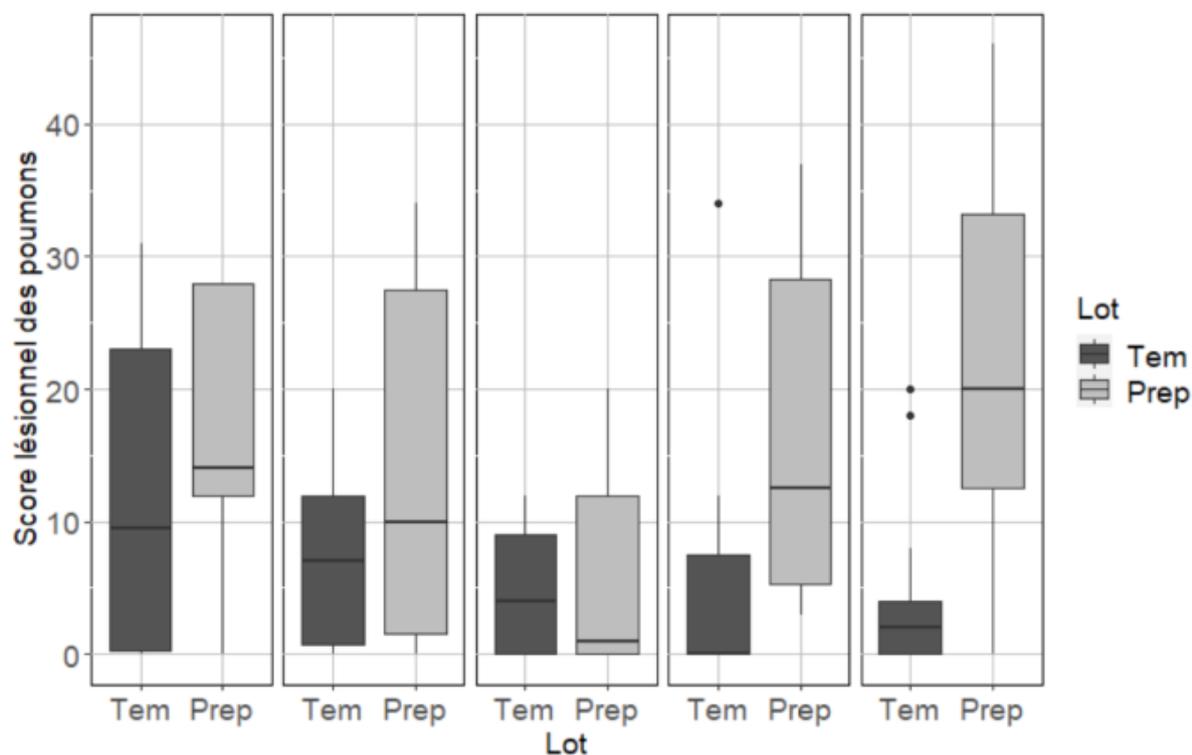
Annexe 4 : Taux de morbidité des 168 bovins de l'étude en fonction des lots témoin et préparé observés pendant les 2 premières semaines après la mise en place dans l'atelier d'engrais par élevages naisseurs – Source Auteurs

		TEM	PREP	Effet lot
Morbidité (%)	Naisseur 1	12	0	
	Naisseur 2	0	8	
	Naisseur 3	0	62	
	Naisseur 4	0	13	
	Naisseur 5	0	8	
	Naisseur 6	0	0	
	Naisseur 7	0	0	
	Naisseur 8	0	60	
	Naisseur 9	0	14	
	TOTAL	1	18	P<0,001

Annexe 5 : Taux de morbidité des 168 bovins de l'étude en fonction des lots témoin et préparé observés pendant les 2 premières semaines après la mise en place dans l'atelier d'engrais par élevages engraisseurs – Source Auteurs

		TEM	PREP	Effet lot
Morbidité (%)	Engraisseur 1	0	16	
	Engraisseur 2	6	0	
	Engraisseur 3	30	50	
	Engraisseur 4	0	35	
	Engraisseur 5	67	67	
	TOTAL	19	32	P=0,07

Annexe 6 : Score lésionnel des poumons des 168 bovins de l'étude en fonction des lots témoin et préparé observés par engraisseurs – Source Auteurs



Annexe 7 : Taux de positivité en anticorps vis-à-vis des pathogènes respiratoires des jeunes bovins de l'étude en fonction des lots témoin et préparé observés à J180 – Source Auteurs

	BRSV	TR3	MANHEIMIA HAEMOLYTICA
ATELIER #1 TEM	185 ± 51	182 ± 84	140 ± 84
ATELIER #2 TEM	211 ± 43	187 ± 86	262 ± 105
#1 PREP	132 ± 40	178 ± 64	61 ± 33
#2PREP	174 ± 65	185 ± 85	154 ± 84

Annexe 8 : Vaccination (spécialité utilisée, protocole vaccinal réalisé) des veaux dans les élevages naisseurs – Source auteurs

Naisseur	« jaune »		« bleu »	« vert »	« rouge »
Nom commercial du vaccin utilisé	Rispoval intranasal RS	Bovilis Bovigrip	Rispoval RS	RS-BVD-PI3	Rispoval RS

<i>Voie d'administration</i>	<i>Intranasale</i>	<i>Injectable</i>			
<i>Pathogènes ciblés</i>	<i>Virus Parainfluenza 3 vivant (PI3), souche RLB 03 thermosensible entre 105,0 et 108,6 DICC50*</i> <i>Virus syncytial respiratoire bovin (RS) souche 375 entre 105,0 et 107,2 DICC50*</i>	<i>Virus Parainfluenza 3 bovin, souche SF-4 Reisinger, inactivé</i> <i>Virus respiratoire syncytial bovin, souche EV 908, inactivé</i> <i>Mannheimia haemolytica, sérotype 1, inactivée ...</i>	<i>Virus respiratoire syncytial bovin vivant atténué, souche RB94 ≥ 105,5 DICC50*</i>	<i>Virus syncytial respiratoire bovin (BRVS), souche 375 vivante atténuée entre 105,0 et 107,2 DICC50*</i> <i>Virus de la diarrhée virale bovine (BVD), type I souches 5960 (cytopathique) et 6309 (non cytopathique) inactivées</i> <i>Virus Parainflue</i>	<i>Virus respiratoire syncytial bovin vivant atténué, souche RB94 ≥ 105,5 DICC50*</i>

				<i>nza</i> 3 <i>(PI3V),</i> <i>souche</i> <i>RLB 103,</i> <i>vivante</i> <i>atténuée</i> <i>.... entre</i> <i>105,0 et</i> <i>108,6</i> <i>DICC50*</i>	
<i>Protocole vaccinal</i>	<i>Chez les bovins à partir de 9 jours d'âge, administrer une dose unique de 2 mL de vaccin reconstitué par voie intranasale en utilisant un applicateur intranasal.</i>	<i>Primovaccination : réaliser la vaccination avant chaque période à risque ; administrer 2 injections à 4 semaines d'intervalle à partir de l'âge de 2 semaines.</i>	<i>Bovins de plus d'une semaine et de moins de 4 mois d'âge : Primovaccination : 2 injections à 4 semaines d'intervalle, puis 1 injection à 4 mois d'âge et au moins à 15 jours d'intervalle avec la deuxième injection.</i>	<i>Première injection : à partir de 12 semaines d'âge. Seconde injection : 3 à 4 semaines plus tard.</i>	<i>Bovins de plus d'une semaine et de moins de 4 mois d'âge : Primovaccination : 2 injections à 4 semaines d'intervalle, puis 1 injection à 4 mois d'âge et au moins à 15 jours d'intervalle avec la deuxième injection.</i>
<i>Age de la primo-vaccination</i>	<i>10 jours</i>	<i>1 mois et demi</i>	<i>9 jours</i>	<i>8 jours</i>	<i>10 jours</i>

<i>Age du rappel</i>	<i>ABS</i>	<i>2 mois</i>	<i>3-4 mois</i>	<i>3 mois</i>	<i>ABS</i>
----------------------	------------	---------------	-----------------	---------------	------------

DICC 50 : 50% de Dose Infectante en Culture Cellulaire

Annexe 9 : Identification, lot et vaccination en fonction des 3 clusters - Source Auteurs

<i>Identification</i>	<i>Lot</i>	<i>Vaccination</i>
<i>4432</i>	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>
<i>4440</i>	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>
<i>4445</i>	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>
<i>4446</i>	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>
<i>8032</i>	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>
<i>8076</i>	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>
<i>8078</i>	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>
<i>8278</i>	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>
<i>8282</i>	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>
<i>8426</i>	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>
<i>1615</i>	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>
<i>4421</i>	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
<i>4433</i>	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
<i>4447</i>	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
<i>4452</i>	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
<i>8064</i>	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
<i>8072</i>	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
<i>8092</i>	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
<i>8276</i>	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
<i>8410</i>	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
<i>1605</i>	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>
<i>1607</i>	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>
<i>1609</i>	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>
<i>1612</i>	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>
<i>1618</i>	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>

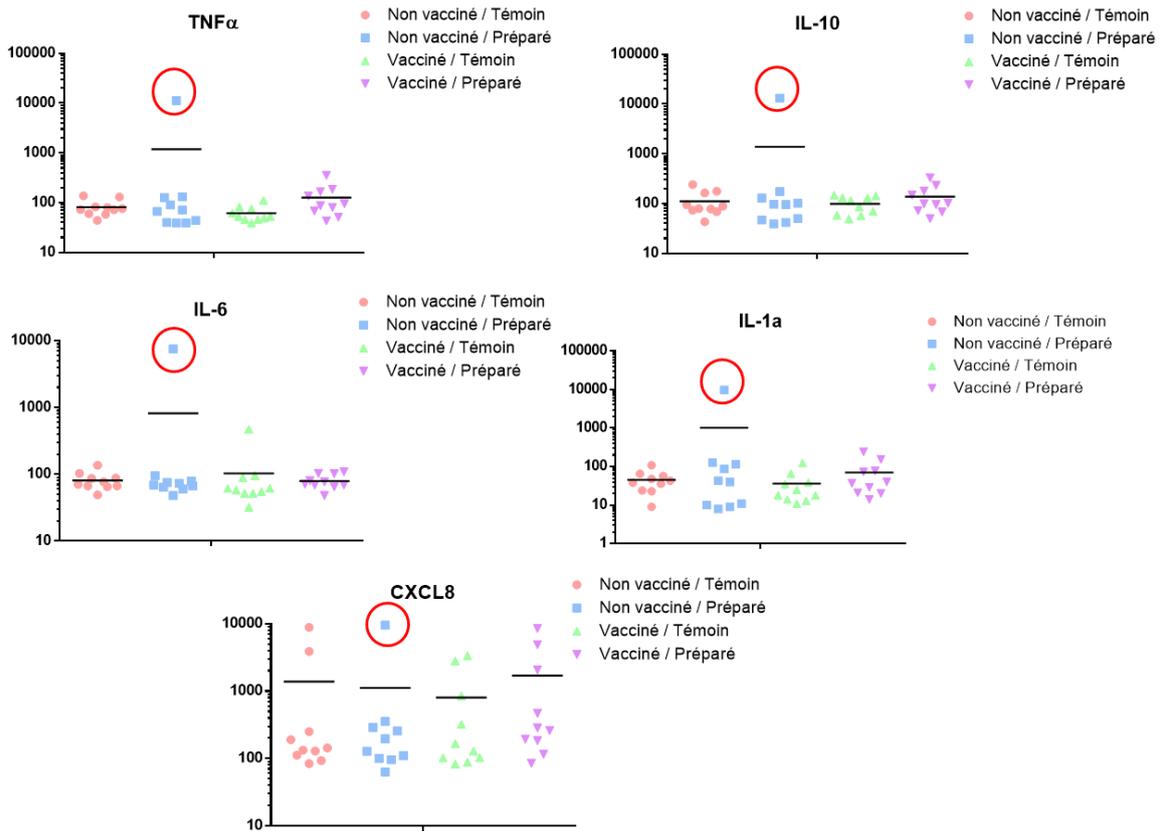
1622	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>
1624	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>
1639	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>
1641	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>
8309	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
1604	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>
1608	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>
1611	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>
1613	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>
1617	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>
1621	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>
1623	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>
1626	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>
1627	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>
1640	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>

Annexe 10 : Identification, lot et vaccination en fonction des 4 clusters - Source Auteurs

<i>Identification</i>	<i>Lot</i>	<i>Vaccination</i>
1605	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>
1607	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>
1609	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>
1612	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>
1615	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>
1618	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>
1622	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>
1624	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>
1639	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>
1641	<i>Tem</i>	<i>non vaccine</i>
8309	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
4432	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>
4440	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>
4445	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>
8032	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>

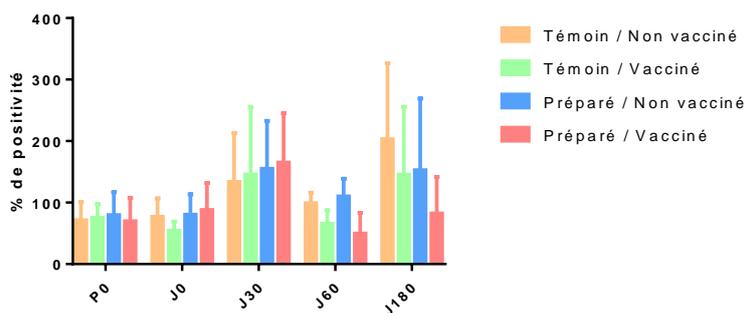
8078	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>
8278	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>
8282	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>
4421	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
4433	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
4447	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
4452	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
8064	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
8072	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
8092	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
8276	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
8410	<i>Tem</i>	<i>vaccine</i>
8426	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>
1604	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>
1611	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>
1617	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>
1621	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>
1623	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>
1626	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>
1627	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>
1640	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>
4446	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>
1608	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>
1613	<i>Prep</i>	<i>non vaccine</i>
8076	<i>Prep</i>	<i>vaccine</i>

Annexe 11 :

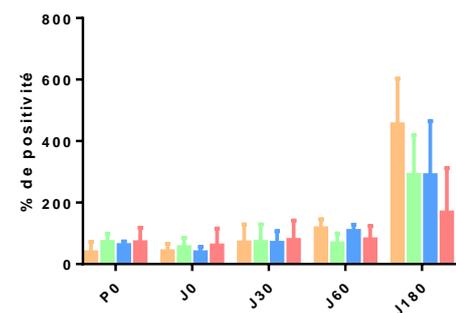


Annexes 12 : Taux de positivité en anticorps vis-à-vis des pathogènes respiratoires des 168 bovins de l'étude en fonction des lots témoin et préparé observés à J180 – Source Auteurs

ADENO3 en fonction du temps



M.bovis en fonction du temps



Annexe 13 : p-value des résultats zootechniques – Source Auteurs

différentiel	ZN_J0	CU_J0	GLU_J0	hapto_T0	hapto_J0
C1 vs C2		0,036		0,0022	0,0057
C1 vs C3	0,02	0,047	0,019		0,0067
C2 vs C3	0,00038		0,014		0,00022

<i>NVP vs NVT</i>	0,00097		0,041		0,00052
<i>NVP vs VP</i>					
<i>NVP vs VT</i>	0,0017	0,013	0,028		0,00038
<i>NVT vs VP</i>				0,0062	0,00013
<i>NVT vs VT</i>		0,023	0,017	0,009	
<i>VP vs VT</i>			0,011		0,0015

C1 cluster 1 (vaccinés)

C2 cluster 2 (témoins non vaccinés)

C3 cluster 3 (préparés non vaccinés)

VT : témoins vaccinés

VP : préparés vaccinés

NVT : témoins non vaccinés

VNP : préparés non vaccinés

Annexe 14 : p-value des résultats clinico-sanitaires – Source Auteurs

<i>différentiel</i>	<i>scoreP1</i>	<i>scoreP15</i>	<i>scoreD1</i>	<i>scoreD4</i>	<i>scoreD15</i>	<i>lung_score</i>
<i>C1 vs C2</i>	0,0022		0,0017		0,0035	0,018
<i>C1 vs C3</i>		0,00008			0,012	
<i>C2 vs C3</i>		0,0001				0,0069
<i>NVP vs NVT</i>		0,00008				0,0073
<i>NVP vs VP</i>		0,00084			0,034	
<i>NVP vs VT</i>		0,00019				0,039
<i>NVT vs VP</i>					0,011	0,0052
<i>NVT vs VT</i>						
<i>VP vs VT</i>						0,0023

Annexe 15 : p-value des résultats zootechniques (Poids) – Source Auteurs

<i>différentiel</i>	<i>Weight_P0</i>	<i>Weight_D</i>	<i>Weight_D3</i>	<i>Weight_D6</i>	<i>Weight_D18</i>	<i>Weight_car</i>
		0	0	0	0	c
<i>C1 vs C2</i>		0,033			0,001	0,0018

<i>CI vs C3</i>		<i>0,002</i>	<i>0,0067</i>			
<i>C2 vs C3</i>						
<i>NVP vs NVT</i>						
<i>NVP vs VP</i>		<i>0,0079</i>	<i>0,03</i>			
<i>NVP vs VT</i>		<i>0,0062</i>	<i>0,016</i>			
<i>NVT vs VP</i>					<i>0,041</i>	<i>0,026</i>
<i>NVT vs VT</i>					<i>0,026</i>	
<i>VP vs VT</i>						

Annexe 16 : p-value des résultats immunologiques – Source Auteurs

<i>diff</i>	<i>BR</i>	<i>BP</i>	<i>Mha</i>	<i>BR</i>	<i>BP</i>	<i>Mha</i>	<i>BR</i>	<i>BPI</i>	<i>Mha</i>	<i>BR</i>	<i>BPI</i>	<i>Mha</i>	<i>BRS</i>	<i>BPI</i>	<i>Mhae</i>
<i>é</i>	<i>SV.</i>	<i>I3.</i>	<i>emo.</i>	<i>SV.</i>	<i>I3.</i>	<i>emo.</i>	<i>SV.</i>	<i>3.D</i>	<i>emo.</i>	<i>SV.</i>	<i>3.D</i>	<i>emo.</i>	<i>V.D</i>	<i>3.D</i>	<i>mo.D</i>
<i>ntie</i>	<i>P0</i>	<i>P0</i>	<i>P0</i>	<i>D0</i>	<i>D0</i>	<i>D0</i>	<i>D3</i>	<i>30</i>	<i>D30</i>	<i>D6</i>	<i>60</i>	<i>D60</i>	<i>180</i>	<i>180</i>	<i>180</i>
<i>CI</i>		<i>0,0</i>			<i>0,0</i>		<i>0,0</i>			<i>0,0</i>					
<i>vs</i>	<i>0,0</i>	<i>00</i>			<i>03</i>	<i>0,01</i>	<i>004</i>		<i>0,00</i>	<i>000</i>			<i>0,01</i>		<i>0,000</i>
<i>C2</i>	<i>31</i>	<i>2</i>			<i>5</i>	<i>1</i>	<i>2</i>		<i>006</i>	<i>5</i>			<i>3</i>		<i>57</i>
<i>CI</i>	<i>0,0</i>	<i>0,0</i>		<i>0,0</i>						<i>0,0</i>					
<i>vs</i>	<i>03</i>	<i>01</i>		<i>000</i>	<i>0,0</i>					<i>000</i>					
<i>C3</i>	<i>7</i>	<i>9</i>		<i>6</i>	<i>16</i>					<i>5</i>					
<i>C2</i>					<i>0,0</i>										
<i>vs</i>				<i>0,0</i>	<i>00</i>	<i>0,00</i>									
<i>C3</i>				<i>001</i>	<i>12</i>	<i>48</i>			<i>0,02</i>						<i>0,038</i>
<i>NV</i>															
<i>P vs</i>				<i>0,0</i>	<i>0,0</i>										
<i>NV</i>				<i>002</i>	<i>00</i>	<i>0,00</i>			<i>0,02</i>						
<i>T</i>				<i>7</i>	<i>28</i>	<i>33</i>			<i>7</i>						<i>0,043</i>
<i>NV</i>										<i>0,0</i>					
<i>P vs</i>		<i>0,0</i>		<i>0,0</i>						<i>004</i>					
<i>VP</i>		<i>38</i>		<i>011</i>						<i>4</i>					<i>0,043</i>

NV		0,0		0,0	0,0				0,0				
P vs	0,0	04		002	01				002				
VT	15	7		8	9				8				
NV					0,0				0,0				
T vs		0,0		0,0	00	0,01	0,0		0,00	003	0,0	0,00	0,000
VP		1		028	18	2	089		46	3	011	11	04
NV		0,0							0,0				
T vs		00		0,0		0,01	0,0		0,01	001			
VT		63		49		5	26		1	8			0,019
VP					0,0								
vs				0,0	01					0,0	0,02		
VT				028	7					23	3		0,015

Annexe 17 : Risque de biais et problèmes d'applicabilité pouvant affecter les études de précision des tests de diagnostic sur la bronchopneumonie infectieuse bovine - Source S. Buczinski, B. Pardon

Types de biais	Explication	Impact potentiel
Biais de spectre	<p>Certains craignent que la sélection d'animaux affectés ou d'animaux non affectés ne soit pas représentative de l'ensemble du spectre de la maladie</p> <p>Par exemple, la sélection d'animaux affectés en cas de dépression a augmenté le score respiratoire et l'auscultation anormale par rapport aux animaux non affectés (non déprimé, score respiratoire normal et auscultation normale); cette conception excluait les animaux avec 1 ou 2 critères d'inclusion anormaux, gonflant ainsi artificiellement la</p>	<p>Surestimation de la précision du test (p. ex., les cas où le diagnostic est plus difficile sont exclus de ce type d'étude)</p>

	<i>différence entre les animaux affectés et non affectés</i>	
<i>Biais de classification</i>	<i>L'étalon de référence qui sert de comparateur pour établir la précision du test d'indice n'est pas précis à 100 % Par exemple, déterminer la précision de l'échographie thoracique chez les veaux en utilisant un score clinique accru sans tenir compte de la précision imparfaite du score clinique</i>	<i>Sous-estimation potentielle de la précision du test d'indice car l'étalon de référence est traité comme un test de référence</i>
<i>Revue diagnostique et biais d'incorporation</i>	<i>Situations où le test d'indice et le test standard de référence ne sont pas indépendants Par exemple, effectuer le test standard de référence en connaissant le résultat du test d'index. Par exemple, détermination de la précision de l'échographie pour la détection des lésions pulmonaires (test d'index) en utilisant la TDM comme norme de référence et la connaissance concomitante des résultats de l'échographie</i>	<i>Dans ce cas, la précision apparente du test d'indexation pourrait être affectée par la façon dont le radiologue interpréterait le scanner en connaissant les résultats de l'échographie thoracique (possibilité de surinterpréter les lésions du scanner chez les animaux positifs à l'échographie et sous-détecter les lésions chez les animaux négatifs à l'échographie)</i>
<i>Biais d'examen clinique</i>	<i>Ce type de biais se produit lorsque les informations cliniques pour les animaux recevant les tests, comme ce serait le cas dans la pratique, sont manquantes Par exemple, dans une étude évaluant les signes cliniques</i>	<i>Dans ce cas, l'interprétation des résultats des tests nécessite un contexte spécifique. Par exemple, le remplissage intestinal des veaux n'aurait pas la même signification dans une ferme nourrissant des veaux laitiers 2 L de lait par repas</i>

	<p><i>associés à l'IVRI, le fait de ne pas spécifier, par exemple, l'âge et le type de production (produits laitiers, bœuf, veau) et les pratiques de gestion minimales pourraient affecter la précision du test lorsqu'il est appliqué davantage dans la pratique.</i></p>	<p><i>deux fois par jour vs une ferme nourrissant des veaux 3-4 L 3 fois par jour</i></p>
--	---	---

6. Références

- Ackermann, M. R., Derscheid, R., & Roth, J. A. (2010). Innate Immunology of Bovine Respiratory Disease. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 26(2), 215-228. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2010.03.001>
- Alteroche, F. (2013). *Dossier / Le taureau reste au cœur des ébats*. Réussir bovins viande. <https://www.reussir.fr/bovins-viande/le-taureau-reste-au-coeur-des-ebats>
- Angen, Ø., Thomsen, J., Larsen, L. E., Larsen, J., Kokotovic, B., & Heegaard, P. M. H. (2009). Respiratory disease in calves: Microbiological investigations on trans-tracheally aspirated bronchoalveolar fluid and acute phase protein response. *Veterinary Microbiology*, 8.
- Assié, S., Bouet, J.-M., Seegers, H., & Quillet, J. M. (2001). *Impact économique des troubles respiratoires des veaux non sevrés en naisseurs engraisseurs*.
- Assié, S., Seegers, H., Makoschey, B., Désiré-Bousquié, L., & Bareille, N. (2009). Exposure to pathogens and incidence of respiratory disease in young bulls on their arrival at fattening operations in France. *Veterinary Record*, 165(7), 195-199. <https://doi.org/10.1136/vr.165.7.195>
- Autio, T., Pohjanvirta, T., Holopainen, R., Rikula, U., Pentikäinen, J., Huovilainen, A., Rusanen, H., Soveri, T., Sihvonen, L., & Pelkonen, S. (2007). Etiology of respiratory disease in non-vaccinated, non-medicated calves in rearing herds. *Veterinary Microbiology*, 119(2-4), 256-265. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2006.10.001>
- Bailly, G. (2011). *Rapport d'Information fait au nom de la commission de l'économie, du développement durable et de l'aménagement du territoire sur la situation et l'avenir du secteur de la viande bovine en France (RAPPORT D'INFORMATION N° 734)*.
- Bareille, N., Seegers, H., Denis, G., Quillet, J. M., & Assie, S. (2008). *Impact of respiratory disorders in young bulls during their fattening period on performance and profitability*.

- Bastien, D. (2016). *Engraissement des jeunes bovins charolais avec de l'ensilage d'herbe*. 66.
- Bouet, J.-M., Seegers, H., Beaudeau, F., & Lopez, C. (1999). *Risk factors for respiratory disorders of calves in beef cattle herds*. 4.
- Boulesteix, P., Malaval, N., & Saintilan, R. (2020). *Institut de l'Élevage (Idele)*, 136.
- Buczinski, S., & Pardon, B. (2020). Bovine Respiratory Disease Diagnosis. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 36(2), 399-423.
<https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2020.03.004>
- Callan, R. J., & Garry, F. B. (2002). *Biosecurity and bovine respiratory disease*. 22.
- Chambre Agriculture, P.-A.-C. D. (s. d.). *Aides Découplées Droit à Paiement Unique*.
<https://paca.chambres-agriculture.fr/nos-services/vous-etes-agriculteur/beneficier-de-financements/les-aides-agricoles-pac/aide-decouplee-droits-a-paiement-unique/>
- Chassan, M., & Vanbergue, E. (s. d.). *Les maladies respiratoires des jeunes bovins*. 50.
- Chiffres clés Bovins 2019.pdf*. (s. d.).
- Cozzi, G. (2012). *Effect of different strategies of adding selenium to fattening bull rations on their antioxidant status and meat quality*. 1.
- Degron, R. (2010). *L'environnement en France Édition 2010 – Synthèse* (Chromatiques Éditions). Service de l'observation et des statistiques, ministère de l'écologie.
https://ree.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/1_environnement_en_france_en_2010_-_synthese.pdf
- Desriers, M. (2007). *L'agriculture française depuis cinquante ans : Des petites exploitations familiales aux droits à paiement unique*. 14.
- Devienne S., Garambois N., Mischler, Perrot, Deuliot, & Falaise. (2016). *Les exploitations herbivores économes en intrants (ou autonomes) : Quelles sont leurs caractéristiques ? Comment accompagner leur développement ?*

- Ehman, K. D., & Scott, M. E. (2001). Urinary odour preferences of MHC congenic female mice, *Mus domesticus*: Implications for kin recognition and detection of parasitized males. *Animal Behavior*, 62(4), 781-789. <https://doi.org/10.1006/anbe.2001.1805>
- Engelken, T. J. (2020). How Does Housing Influence Bovine Respiratory Disease in Confinement Cow-Calf Operations? *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 36(2), 375-383. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2020.03.011>
- Fanuel, P. (2012). Points critiques d'une métaphylaxie raisonnée lors de troubles respiratoires des jeunes bovins de boucherie. *Bulletin de l'Académie vétérinaire de France*, 1, 21. <https://doi.org/10.4267/2042/48112>
- France Agrimer. (2010). *Les filières de l'élevage français—Les cahier de France Agrimer 2010*.
- Gay, E., & Barnouin, J. (2009). A nation-wide epidemiological study of acute bovine respiratory disease in France. *Preventive Veterinary Medicine*, 89(3-4), 265-271. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2009.02.013>
- Geffroy, Y., & Reffay, M. (2015). *Rapport de situation et de propositions sur la filière bovins viande*. 26.
- Grosclaude, F., Aupetit, R., Lefebvre, J., & Mériaux, J. (1990). *Essai d'analyse des relations génétiques entre les races bovines françaises à l'aide du polymorphisme biochimique*. 23.
- Guiadeur, M. (2018). *PHEROVEAU une solution pour réduire l'utilisation des antibiotiques pour les veaux en engraissement.pdf*.
- Hanthorn, C. J. (2014). *Pathogenicity of Bibersteinia trehalosi in bovine calves* (p. 6199699) [Master of Science, Iowa State University, Digital Repository]. <https://doi.org/10.31274/etd-180810-3482>
- Herd book Charolais*. (2020). Herd Book Charolais. <https://charolaise.fr/>

- IDELE. (2020). *Développement de méthodologies d'évaluation du bien-être des bovins en parc d'engraissement.pdf.pdf*.
- Institut national de la statistique et des études économique. (2019). *Tableaux de l'économie française : Édition 2019*.
- Institut national de la statistique et des études économique. (2020). *Tableaux de l'économie française : Édition 2020*.
- Kim, Y. J. (2014). *Advanced composites in bridge construction and repair*. Woodhead Publishing.
- Krehbiel, C. R. (2020). Bovine Respiratory Disease Influences on Nutrition and Nutrient Metabolism. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 36(2), 361-373. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2020.03.010>
- Larousse, É. (s. d.). *Définitions : Feed-lot - Dictionnaire de français Larousse*. Consulté 26 mars 2021, à l'adresse <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/feed-lot/33159>
- Larson, R. L., & Step, D. L. (2012). Evidence-Based Effectiveness of Vaccination Against *Mannheimia haemolytica*, *Pasteurella multocida*, and *Histophilus somni* in Feedlot Cattle for Mitigating the Incidence and Effect of Bovine Respiratory Disease Complex. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 28(1), 97-106.e7. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2011.12.005>
- Lecruste, h. (2010). *Monitoring des troubles respiratoires chez les veaux de boucherie liens entre observations cliniques en élevage*.
- L'élevage des veaux : De la naissance au sevrage*. (2018, 2019). https://bio.bfc.chambagri.fr/wp-content/uploads/2019/05/fiche-3-veaux_naissance-au-sevrage-.pdf

- Lhermie, G. (2017). Implementing Precision Antimicrobial Therapy for the Treatment of Bovine Respiratory Disease: Current Limitations and Perspectives. *Frontiers in Veterinary Science*, 4, 9.
- Marty, S., Petit, N., & Reffay, M. (2015). *La contractualisation dans le secteur bovin* (Rapport n° 14 099).
- Ministère de l'agriculture. (s. d.). *Qu'est ce que l'ichn ?* <https://agriculture.gouv.fr/quest-ce-que-lichn>
- Morel-Journel, t. (2020). *Pourquoi et comment repenser les pratiques d'allotement des broutards en vue (...)*—3R - Rencontres autour des Recherches sur les Ruminants.pdf.
- Mounaix, B. (2018). *Comparaison de trois modalités de vaccination contre les maladies respiratoires dans des élevages commerciaux d'engraissement de jeunes bovins*.
- Mounaix, B. (2019). *Vaccination contre les diarrhées et les maladies respiratoires chez les veaux.pdf*.
- Mounaix, B. (2020a). *La vaccination des broutards contre les troubles respiratoires*.
- Mounaix, B. (2020b). *L'engraissement des jeunes broutards vaccinés contre les troubles respiratoires*.
- Mounier, L., Veissier, I., Colson, S., Boissy, A., Dubroecq, H., Ingrand, S., Grosjean, B., & Roux, M. (2004). *Impact de la spécialisation des élevages et du réallotement sur l'engraissement des taurillons*. 4.
- Noirez, D. L. (2017). L'échographie pleuro-pulmonaire pour le pneumologue. *REVUE MÉDICALE SUISSE*, 5.
- Ollivett, T. L. (2020). How Does Housing Influence Bovine Respiratory Disease in Dairy and Veal Calves? *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 36(2), 385-398. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2020.03.012>

- Pardon, B., Callens, J., Maris, J., Allais, L., Van Praet, W., Deprez, P., & Ribbens, S. (2020). Pathogen-specific risk factors in acute outbreaks of respiratory disease in calves. *Journal of Dairy Science*, *103*(3), 2556-2566. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17486>
- Plan de la filière viande bovine, Interbev.* (s. d.).
- Poux X., Pointereau P. (2014). *L'agriculture à « haute valeur naturelle » en France métropolitaine. Un indicateur pour le suivi de la biodiversité et l'évaluation de la politique de développement rural. » Rapport d'étude au Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt. ASca, SOLAGRO.*
- Remongin, X. (2019, février 28). *Le bien-être et la protection des vaches à viande.* <https://agriculture.gouv.fr/le-bien-etre-et-la-protection-des-vaches-viande>
- Richeson, J. T., & Falkner, T. R. (2020). Bovine Respiratory Disease Vaccination. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, *36*(2), 473-485. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2020.03.013>
- Ring, S. C., Graham, D. A., Sayers, R. G., Byrne, N., Kelleher, M. M., Doherty, M. L., & Berry, D. P. (2018). Genetic variability in the humoral immune response to bovine herpesvirus-1 infection in dairy cattle and genetic correlations with performance traits. *Journal of Dairy Science*, *101*(7), 6190-6204. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14481>
- Saillet, b. (2010). *Engraisser les jeunes bovins Limousins avec un régime unique à base d'ensilage d'herbe Fattening steers with diets based on grass silage.* 1.
- Sanne, E., & Brouard, S. (2013). *Etat des lieux et perspectives du bassin Charolais.* 74.
- Schaefer, A. L., Cook, N. J., Church, J. S., Basarab, J., Perry, B., Miller, C., & Tong, A. K. W. (2007). The use of infrared thermography as an early indicator of bovine respiratory disease complex in calves. *Research in Veterinary Science*, *83*(3), 376-384. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2007.01.008>

- Taylor, J. D., Fulton, R. W., Lehenbauer, T. W., Step, D. L., & Confer, A. W. (2010). *Review Article Compte rendu*. 51, 8.
- Thomas, A. (2003). THOMAS A., MAINIL J. , LINDEN A. *Bactériologie, Département des Maladies Infectieuses et Parasitaires, Faculté de Médecine Vétérinaire, Université de Liège, B43A, Sart Tilman, 4000 Liège, Belgique*. 17.
- Timsit, E., Bareille, N., Seegers, H., Lehebel, A., & Assié, S. (2011). Visually undetected fever episodes in newly received beef bulls at a fattening operation: Occurrence, duration, and impact on performance^{1,2}. *Journal of Animal Science*, 89(12), 4272-4280.
<https://doi.org/10.2527/jas.2011-3892>

TITRE : Préparation des jeunes bovins à la période d'engraissement : résultats d'une analyse intégrative à partir d'un essai réalisé en France .

RESUME : Pendant l'engraissement, les jeunes bovins de race allaitante sont exposés à de nombreux facteurs les prédisposant aux bronchopneumonies infectieuses. Afin de réduire leur prévalence et l'utilisation d'antibiotiques nécessaire au traitement, les animaux peuvent être soumis à une étape de préparation avant l'entrée en atelier d'engraissement, incluant diverses mesures zootechniques, et la vaccination contre les agents pathogènes respiratoires. Notre étude a pour objectif d'étudier et de comparer divers paramètres relatifs à l'immunité et à la croissance dans deux groupes de 20 jeunes bovins Charolais, selon qu'il ont été préparés ou non. Les résultats obtenus à l'aide d'une analyse intégrative montrent des différences de réponse entre les animaux en lien non seulement avec la préparation, mais aussi en fonction de la conduite sanitaire dans le jeune âge et de l'élevage d'origine. De mauvaises conditions de préparation peuvent réduire les bénéfices de cette approche.

MOTS CLES : Engrais, Préparation, Bronchopneumonie, Immunité, Bovins

TITLE: Pre-conditioning of young bulls before fattening : results of an integrative study based on a French study data

ABSTRACT: During fattening, young beef cattle are generally exposed to various factors that make them highly predisposed to infectious bronchopneumonia. In order to reduce the prevalence and antibiotics usage for treatment, cattle may be pre-conditioned before entry in fattening units with various breeding measures, including vaccination against respiratory pathogens. The aim of our study was to compare several parameters on immunity and growth performances in two groups of 20 young Charolais cattle according to preconditioning. Results from an integrative study show differences of response between animals according not only to preconditioning, but also to health management during the first months of life and the breeding herd. Inappropriate conditions of preconditioning may strongly reduce the benefit of such an approach.

KEYWORDS: Fattening, Preconditioning, Bronchopneumonia, Immunity, Cattle