



HAL
open science

Evaluation de l'intérêt de la supplémentation en fer en élevage biologique porcin

Maud Pauwels

► **To cite this version:**

Maud Pauwels. Evaluation de l'intérêt de la supplémentation en fer en élevage biologique porcin. Sciences du Vivant [q-bio]. 2019. dumas-04801736

HAL Id: dumas-04801736

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04801736v1>

Submitted on 25 Nov 2024

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.

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

ANNEE 2019

EVALUATION DE L'INTERET DE LA SUPPLEMENTATION EN FER EN ELEVAGE BIOLOGIQUE PORCIN

THESE

pour le diplôme d'Etat de

DOCTEUR VETERINAIRE

présentée et soutenue publiquement

Le 6 Septembre 2019

devant la Faculté de Médecine de Nantes

par

Maud Linda Laurence Cornélie

PAUWELS

Née le 18 Septembre 1993
à Saint Pol sur Mer (59)

JURY

Président : Monsieur **Patrick LUSTENBERGER**, Professeur émérite à la Faculté de Médecine de Nantes

Membres : Madame **Catherine BELLOC**, Professeur à Oniris, Nantes

Madame **Laetitia JAILLARDON**, Maitre de Conférences à Oniris, Nantes

Madame **Mily LEBLANC-MARIDOR**, Maitre de Conférences à Oniris, Nantes



ECOLE NATIONALE VETERINAIRE, AGROALIMENTAIRE
ET DE L'ALIMENTATION NANTES ATLANTIQUE - ONIRIS
ANNEE 2019

EVALUATION DE L'INTERET DE LA SUPPLEMENTATION EN FER EN ELEVAGE BIOLOGIQUE PORCIN

THESE

pour le diplôme d'Etat de

DOCTEUR VETERINAIRE

présentée et soutenue publiquement

Le 6 Septembre 2019

devant la Faculté de Médecine de Nantes

par

Maud Linda Laurence Cornélie

PAUWELS

Née le 18 Septembre 1993
à Saint Pol sur Mer (59)

JURY

Président : Monsieur **Patrick LUSTENBERGER**, Professeur émérite à la Faculté de Médecine de Nantes

Membres : Madame **Catherine BELLOC**, Professeur à Oniris, Nantes

Madame **Laetitia JAILLARDON**, Maitre de Conférences à Oniris, Nantes

Madame **Mily LEBLANC-MARIDOR**, Maitre de Conférences à Oniris, Nantes



Département BPSA Biologie, Pathologie et Sciences de l'Aliment

Responsable : Hervé POULIQUEN - Adjoint : Emmanuel JAFFRES

Nutrition et Endocrinologie	Henri DUMON (Pr) Lucile MARTIN (Pr) Patrick NGUYEN (Pr)
Pharmacologie et Toxicologie	Jean-Claude DESFONTIS (Pr) Martine KAMMERER (Pr) Yassine MALLEM (Pr) Hervé POULIQUEN (Pr)
Physiologie fonctionnelle, cellulaire et moléculaire	Jean-Marie BACH (Pr) Julie HERVE (MC) Lionel MARTIGNAT (Pr) Grégoire MIGNOT (MC)
Histologie et anatomie pathologique	Jérôme ABADIE (MC) Marie-Anne COLLE (Pr) Laetitia JAILLARDON (MC) Frédérique NGUYEN (MC)
Pathologie générale, microbiologie et immunologie	François MEURENS (Pr) Emmanuelle MOREAU (MC HDR) Jean-Louis PELLERIN (Pr) Hervé SEBBAG (MC)
Biochimie alimentaire industrielle	Clément CATANEO (MC) Joëlle GRUA (MC) Laurent LE THUAUT (MC) Carole PROST (Pr) Thierry SEROT (Pr) Florence TEXIER (MC)
Microbiotech	Géraldine BOUE (MC) Nabila HADDAD (MC) Emmanuel JAFFRES (MC) Mathilde MOSSER (MC) Hervé PREVOST (Pr) Bénédicte SORIN (IE) Raouf TAREB (MCC)

Département SAESP Santé des Animaux d'Élevage et Santé Publique**Responsable : Alain CHAUVIN - Adjoint : Raphaël GUATTEO**

Hygiène et qualité des aliments	Jean-Michel CAPPELIER (Pr) Eric DROMIGNY (MC HDR) Michel FEDERIGHI (Pr) Bruno LE BIZEC (Pr) Catherine MAGRAS (Pr) Marie-France PILET (Pr) Fanny RENOIS-MEURENS (MC)
Médecine des animaux d'élevage	Sébastien ASSIE (MC) Catherine BELLOC (Pr) Isabelle BREYTON (MC) Christophe CHARTIER (Pr) Alain DOUART (MC) Raphaël GUATTEO (Pr) Mily LEBLANC MARIDOR (MC) Anne RELUN (MCC)
Parasitologie, Aquaculture, Faune Sauvage	Albert AGOULON (MC) Suzanne BASTIAN (MC) Guillaume BLANC (MC HDR) Ségolène CALVEZ (MC) Alain CHAUVIN (Pr) Nadine RAVINET (MC)
Maladies réglementées, zoonoses et réglementation sanitaire	Carole PEROZ (MC) Nathalie RUVOEN (Pr)
Zootéchnie	Nathalie BAREILLE (Pr) François BEAUDEAU (Pr) Christine FOURICHON (MC HDR) Aurélien MADOUASSE (MC) Nora NAVARRO-GONZALEZ (MCC)

Département DSC Sciences cliniques

Responsable : Catherine IBISCH - Adjoint : Vincent BRUET

Anatomie comparée	Eric BETTI (MC) Claire DOUART (MC) Claude GUINTARD (MC)
Pathologie chirurgicale et anesthésiologie	Eric AGUADO (MC HDR) Olivier GAUTHIER (Pr) Eric GOYENVALLE (MC) Béatrice LIJOUR (MC) Caroline TESSIER* (MC) Gwénola TOUZOT-JOURDE (MC)
Dermatologie, parasitologie des carnivores et des équidés, mycologie	Patrick BOURDEAU (Pr) Vincent BRUET (MC)
Médecine interne, imagerie médicale et législation professionnelle vétérinaire	Nora BOUHSINA (MCC) Nicolas CHOUIN (MC) Anne COUROUCE (Pr) Jack-Yves DESCHAMPS (Pr) Amandine DRUT (MC) Marion FUSELLIER-TESSON (MC) Catherine IBISCH (MC) Françoise ROUX (Pr) Odile SENECAT (MC)
Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Djemil BENCHARIF (MC HDR) Lamia BRIAND (MC HDR) Jean-François BRUYAS (Pr) Francis FIENI (Pr)

Département GPA Génie des procédés alimentaires

Responsable : Olivier ROUAUD - Adjoint : Sébastien CURET-PLOQUIN

Lionel BOILLEREAUX (Pr)
Marie DE LAMBALLERIE (Pr)
Francine FAYOLLE (Pr)
Vanessa JURY (MC)
Alain LEBAIL (Pr)
Jean-Yves MONTEAU (MC HDR)
Laurence POTTIER (MC)
Cyril TOUBLANC (MC)

Sébastien CURET PLOQUIN (MC)
Dominique DELLA VALLE (MC HDR)
Michel HAVET (Pr)
Emilie KORBEL (MCC)
Catherine LOISEL (MC)
Olivier ROUAUD (Pr)
Eve-Anne NORWOOD (MCC)

Département MSC Management, statistiques et communication

Responsable : Sibylle DUCHAINE - Adjointe : Samira ROUSSELIERE (MC)

Mathématiques, Statistiques,
Informatique

Véronique CARIOU (MC)
Philippe COURCOUX (MC)
El Mostafa QANNARI (Pr)
Michel SEMENOU (MC)
Chantal THORIN (Pr Ag.)
Evelyne VIGNEAU (Pr)

Economie, gestion

Pascal BARILLOT (MC)
Ibrahima BARRY (MCC)
Florence BEAUGRAND (MC)
Sibylle DUCHAINE (MC)
Sonia EL MAHJOUB (MC)
Jean-Marc FERRANDI (Pr)
Samira ROUSSELIERE (MC)

Langues et communication

Fabiola ASENSIO (PCEA)
Marc BRIDOU (PLPA)
David GUYLER (Ens. cont.)
Franck INSIGNARES (IE)
Shaun MEEHAN (Ens. cont.)
Linda MORRIS (PCEA)

Remerciements – *Aux membres du jury*

À Monsieur Patrick Lustenberger

Professeur émérite à la Faculté de Médecine de Nantes,

Merci de me faire l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse

Je vous prie d'accepter mes hommages respectueux.

À Madame Catherine Belloc

Professeur à Oniris,

Merci pour votre disponibilité, votre soutien tout au long de ce projet, votre encadrement, vos corrections assidues et votre aide à la rédaction de cette étude

Merci de me faire l'honneur d'être mon rapporteur de thèse

Je vous adresse mes plus chaleureux remerciements.

À Madame Laetitia Jaillardon

Maitre de conférences à Oniris,

Merci pour votre disponibilité, vos précieux conseils et votre collaboration dans l'élaboration de ce projet.

Merci de me faire l'honneur d'être mon assesseur de thèse.

À Madame Mily Leblanc-Maridor

Maitre de conférences à Oniris,

Merci de me faire l'honneur de prendre part au jury de thèse,

Merci pour le temps que vous avez accordé à l'évaluation de ce travail,

Je vous transmets mes plus sincères remerciements.

REMERCIEMENTS – À ceux qui ont permis la réalisation de cette étude

À Armelle et Elodie

Pour m'avoir proposé ce sujet de thèse, votre soutien et vos corrections ainsi que votre aide dans la rédaction de la thèse.

À Nathalie Le Floc'h

Pour m'avoir proposé un travail préalable à mon sujet de thèse, qui m'a permis d'avoir un certain recul sur la lecture des publications constituant ma bibliographie.

Aux Docteurs Muller et Hervé

Pour avoir recruté les éleveurs ayant participé à l'étude.

Pour m'avoir aidé aux prélèvements sanguins dans les élevages.

Pour vos précieux conseils, votre bonheur et votre passion.

À Lionel et Elodie

Pour m'avoir aidé durant les prélèvements en élevage.

Pour votre bonne humeur, votre expérience.

Aux éleveurs ayant participé à l'étude

Pour leur gentillesse, leur disponibilité, leur accueil chaleureux sans lesquels rien de tout cela n'aurait pu être possible.

Aux techniciennes de LabOniris : Delphine, Maëlys et Léa

Pour m'avoir fait une place dans votre laboratoire pour que je puisse faire mes analyses.

Pour votre enthousiasme sans faille, vos conseils et votre expérience.

Aux techniciennes de l'INRA : Françoise et Sophie

Pour m'avoir formée et supportée durant une semaine d'analyse à l'INRA où le Koné avait décidé de ne pas fonctionner correctement.

Encore merci à **Catherine** pour m'avoir accompagné et soutenue dans la réalisation et surtout la rédaction de cette étude. En effet, tenter de s'astreindre à obtenir une certaine rigueur lexicale et orthographique n'est pas chose aisée pour une fille du Nord... (traduction : Wal Wal, fin deck, ch' vraiment eul' brin...).

Table des matières

Première partie : Contexte scientifique	31
1. L'élevage porcin français en agriculture biologique	33
1.1. Quelques points réglementaires.....	33
1.1.1. L'alimentation.....	33
1.1.2. Les conditions environnementales.....	34
1.1.3. La santé.....	35
1.1.4. La conduite d'élevage.....	35
1.2. Troubles de santé en élevage de porcs biologique.....	35
2. Le métabolisme du fer chez les mammifères	37
2.1. L'absorption intestinale du fer	37
2.1.1. Fer non héminique	39
2.1.2. Fer héminique.....	39
2.2. Transport et absorption cellulaire du fer	41
2.3. Utilisation et stockage.....	41
2.4. Recyclage des hématies sénescents.....	43
2.5. Régulation	43
2.5.1. Régulation cellulaire : les IRP (Iron Responsive Proteins) et les IRE (Iron Responsive Elements)	43
2.5.2. Régulation systémique : l'hepcidine.....	43
2.5.2.1. L'hepcidine, régulateur négatif du fer.....	43
2.5.2.2. La régulation de la synthèse de l'hepcidine	44
3. L'anémie du porcelet.....	47
3.1. L'anémie et ses marqueurs	47
3.2. Les causes d'anémie chez les mammifères.....	47
3.3. L'anémie ferriprive chez le porc.....	49
3.3.1. Caractéristiques de l'anémie ferriprive	49
3.3.2. Etiologie de l'anémie ferriprive chez le porc.....	49
3.4. L'anémie inflammatoire	49
3.4.1. Mécanisme de l'anémie inflammatoire	49
3.4.2. Marqueurs d'inflammation chez le porc	50
3.5. La prévention de l'anémie du porcelet passe par la supplémentation en fer.....	50
3.5.1. Par la voie orale	51
3.5.2. Par voie injectable	52
3.6. Les risques potentiels associés à la supplémentation en fer.....	57
3.7. D'autres facteurs peuvent faire varier la concentration en hémoglobine chez les porcelets	57

Deuxième partie : Analyse des paramètres sanguins chez le porcelet au sevrage en agriculture biologique.....	61
1. Matériel et méthodes	63
1.1. Description de la population étudiée.....	63
1.1.1. Critères d'inclusion des élevages dans l'étude.....	63
1.1.1.1. Les pratiques d'élevage	63
1.1.1.2. Situation géographique	64
1.1.1.3. Statut sanitaire	64
1.1.2. Les animaux prélevés : des porcelets au sevrage.....	66
1.1.3. Prise de contact avec les éleveurs et recueil d'informations zootechniques et sanitaires concernant l'élevage.....	66
1.2. Méthodes de prélèvements	67
1.2.1. Bouclage des animaux	67
1.2.2. Réalisation des prises de sang	67
1.2.3. Pesée.....	68
1.2.4. Transport, traitement et conservation des échantillons.....	68
1.2.5. La biosécurité.....	68
1.2.6. Analyses sanguines	69
1.2.6.1. Numérations de formules sanguines (NFS) et frottis sanguins.....	69
1.2.6.2. Dosage du fer total sérique	69
1.2.6.3. Evaluation du stress oxydant : dROM et BAP.....	69
1.2.6.4. Dosage de l'haptoglobine.....	70
1.3. Analyses statistiques	70
2. Résultats.....	71
2.1. Description de la population et des pratiques d'élevage	71
2.1.1. Les types de logement et activités des élevages.....	71
2.1.2. La démographie des élevages	71
2.1.3. Les caractéristiques zootechniques des élevages	73
2.1.4. Modalités de prélèvement	73
2.1.5. Poids et âges des animaux lors du prélèvement.....	75
2.1.6. Les pratiques d'élevages relatives à l'alimentation et l'eau de boisson	77
2.1.6.1. Alimentation	77
2.1.6.2. L'eau de boisson	77
2.1.7. Les pratiques d'élevages autour de la mise bas et celles relatives à l'adoption des porcelets	79
2.1.8. Les pratiques d'élevages liées à la prophylaxie médicale	81
2.1.8.1. Vaccination des truies	81
2.1.8.2. Vaccination des porcelets.....	81

2.1.9.	Les pratiques d'élevages liées au parasitisme (Tableau XV)	84
2.1.10.	Les pratiques d'élevages relatives aux médecines alternatives	86
2.2.	Paramètres sanguins de la lignée érythrocytaire.....	87
2.2.1.	Description par élevage	87
2.2.2.	L'influence du système d'élevage sur les paramètres de la lignée érythrocytaire.....	92
2.2.3.	L'influence de la forme de fer administrée aux porcelets en bâtiment.....	95
2.2.4.	Influence du sexe.....	96
2.3.	Indicateurs de l'état inflammatoire et du stress oxydant des porcelets	98
2.3.1.	En fonction du système d'élevage.....	98
2.3.2.	En fonction de la forme de fer injectable administrée	100
2.3.3.	Influence du sexe.....	101
3.	Discussion.....	103

Table des illustrations

Figure 1 : Répartition de la production de porcs biologiques en France (Agence Bio 2017) ..	33
Figure 2 : Photographie d'une maternité biologique en bâtiment (source personnelle).....	34
Figure 3 : Photographie d'une maternité biologique en plein air (source personnelle)	34
Figure 4 : Schéma général du métabolisme du fer : absorption, utilisation et stockage du fer au sein de l'organisme	37
Figure 5 : Schéma de l'absorption intestinale du fer (entérocyte)	38
Figure 6 : Le cycle de la transferrine (exemple au sein d'un érythrocyte).....	40
Figure 7 : Schéma du recyclage des hématies sénescents.....	42
Figure 8 : Rôle central de l'hepcidine dans l'homéostasie du fer (D'après Jaillardon 2018) ...	44
Figure 9 : Photographie d'une prise de sang à la veine jugulaire (source personnelle)	67
Figure 10 : Photographie de la pesée d'un porcelet (source personnelle).....	68
Figure 11 : La concentration en hémoglobine (en g/L) en fonction des élevages.....	88
Figure 12 : Le nombre de globules rouges (10^6 cellules/ μ L) en fonction des élevages.....	89
Figure 13: L'hématocrite (en %) en fonction des élevages	89
Figure 14 : Le TCMH (en pg) en fonction des élevages	90
Figure 15 : Le VGM (en fL) en fonction des élevages	90
Figure 16 : Le CCMH (en %) en fonction des élevages	91
Figure 17 : Le nombre de réticulocytes (en 10^3 cellules/ μ L) en fonction des élevages.....	91
Figure 18 : La concentration en hémoglobine dans les réticulocytes (en pg) en fonction des élevages.....	92
Figure 19 : L'haptoglobine en fonction du type de supplémentation en fer	100

Liste des tableaux

Tableau I : Superficies minimales par animal (Fédération Nationale d'Agriculture Biologique 2019).....	34
Tableau II : Nombre de traitements allopathiques autorisés suivant le stade physiologique	35
Tableau III : Les causes d'anémies potentielles (Jaillardon 2019).....	48
Tableau IV : les différentes voies d'administration de la supplémentation en fer	51
Tableau V : Avis sur la seconde injection de fer selon les auteurs	55
Tableau VI : Les principaux fer administrés par voie injectable sur le marché du médicament vétérinaire (liste non exhaustive)	56
Tableau VII : Les pratiques d'élevages concernant la supplémentation en fer	65
Tableau VIII : Présentation générale des élevages sélectionnés	72
Tableau IX : Les modalités de réalisation des prélèvements en élevage.....	74
Tableau X : Caractéristiques zootechniques des élevages.....	76
Tableau XI : Pratiques d'élevages relatives à l'alimentation et à l'eau de boisson.....	78
Tableau XII : Pratiques d'élevages relatives à la mise bas et à l'adoption des porcelets	80
Tableau XIII : Pratiques d'élevages relatives à la vaccination des truies	82
Tableau XIV: Pratiques d'élevages relatives à la vaccination des porcelets	83
Tableau XV : Les antiparasitaires des truies et des porcelets	85
Tableau XVI : Les paramètres sanguins selon le système d'élevage.....	94
Tableau XVII : Les paramètres sanguins selon la forme de fer administrée en bâtiment	95
Tableau XVIII : Les paramètres hématologiques selon le sexe des animaux dans les différents systèmes d'élevage	96
Tableau XIX : Les indicateurs généraux de santé selon les système d'élevage	99
Tableau XX : Indicateurs généraux de santé selon le type de fer injectable administrée	100
Tableau XXI : Les indicateurs généraux de santé en fonction du sexe des animaux.....	101
Tableau XXII : Nombre d'individus ainsi que le pourcentage d'animaux considérés comme anémié selon les références scientifiques utilisées	106

Liste des annexes

Annexe 1 : Répartition géographique des élevages sélectionnés pour l'étude.....	121
Annexe 2 : Echelle des différents stades d'hémolyse des échantillons	122
Annexe 3 : Protocole expérimental	123
Annexe 4 : Lettre de consentement éclairé.....	127
Annexe 5 : Questionnaire	129
Annexe 6 : Feuille d'accompagnement des prélèvements	131
Annexe 7 : Pratiques d'élevages relatives aux médecines alternatives	132
Annexe 8 : Les indications et les doses relatives aux médecines alternatives utilisées dans les élevages biologiques.....	133
Annexe 9 : Régression linéaire de la concentration en hémoglobine mesurée par l'HemoCue et le ProCyte DX ainsi que le graphique de Bland Altman correspondant	134

Liste des abréviations :

BAP : Biological Antioxidant Potential

BSE : Bilan Sanitaire d'Élevage

CCMH : Concentration Corpusculaire Moyenne en Hémoglobine

CST : Coefficient de Saturation de la Transferrine

DMT1 : Transporteur divalent de métal 1

dROM : permet de connaître la concentration en hydroperoxydes générés par la peroxydation des lipides, des protéines et des acides nucléiques.

Fpn : Ferroportine

FRAP : Capacité de réduction ferrique du plasma

Hb : Hémoglobine

Hcte : Hématocrite

MOH : Moelle Osseuse Hématopoïétique

NFS : Numération Formule Sanguine

OGM : Organisme Génétiquement Modifié

ORAC : Capacité d'absorption radicale de l'oxygène

ROS : Espèce radicalement oxygénée

TCMH : Teneur Corpusculaire Moyenne en Hémoglobine

TEAC : Total Equivalent Antioxidant Capacity

TfR1 : Récepteur à la transferrine 1

VGM : Volume Globulaire Moyen

Introduction

Ce travail vise à évaluer l'intérêt d'une supplémentation en fer en élevage biologique porcin. En effet, en raison de la faible concentration en fer dans le lait maternel, le porcelet présenterait une anémie au sevrage en l'absence d'apport de fer. En élevage plein air, le comportement de fouissage permet au porcelet d'ingérer du fer. En bâtiment, l'administration de fer dans les premiers jours de vie est quasi systématique. De nombreuses études ont été réalisées autour de cette problématique en élevage porcin conventionnel (Szudzik et al. 2018; M. Svoboda et Drábek 2005) mais, à notre connaissance, aucune n'a été faite en filière biologique.

D'autre part, depuis quelques années, la production issue de l'agriculture biologique est en plein essor. Les principales différences entre les deux modes de production sont la date du sevrage (42 jours en élevage biologique contre 21 ou 28 jours en élevage conventionnel), l'alimentation, la densité et la restriction quant à l'utilisation de traitements allopathiques. Seulement quelques publications traitent de la santé en production biologique porcine, en abordant rarement, l'anémie du porcelet et la supplémentation en fer. Par ailleurs, en l'absence de précisions dans le cahier des charges et de consensus établi par les organismes certificateurs au sujet de la comptabilisation de l'administration de fer comme traitement allopathique, la problématique concernant les pratiques de supplémentation est d'actualité.

Dans cette étude, nous présentons les résultats hématologiques de porcelets au sevrage issus de 20 élevages biologiques commerciaux en plein air et en bâtiment situés dans le Grand Ouest de la France. Nous avons évalué les paramètres hématologiques, l'état inflammatoire ainsi que le stress oxydant en fonction des systèmes d'élevage et de la forme de fer administrée en bâtiment.

Dans une première partie, nous établirons le contexte scientifique en s'attachant à décrire la production porcine biologique en France, le métabolisme du fer et l'anémie du porcelet. Dans une seconde partie, les résultats de l'étude seront exposés et discutés.

Première partie : **Contexte scientifique**

1. L'élevage porcin français en agriculture biologique

En 2016, le cheptel biologique comptait 9 605 truies reproductrices soit 0,9 % des truies reproductrices en France (Fédération Nationale d'Agriculture Biologique 2019). Concernant la répartition géographique, 40 % du cheptel biologique se situe dans le Grand Ouest (Figure 1). Au sujet du type d'élevage, 44 % des éleveurs sont naisseurs /engraisseurs, 47 % sont engraisseurs et 9 % sont uniquement naisseurs, répartition qui est similaire à la filière conventionnelle. En 2015, 101 000 porcs biologiques ont été abattus permettant la production de 9 708 tonnes de viande (Fédération Nationale d'Agriculture Biologique 2019).

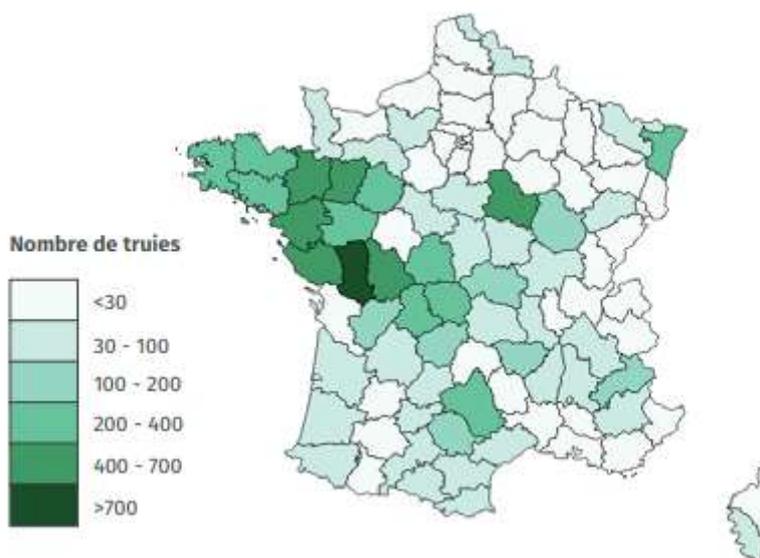


Figure 1 : Répartition de la production de porcs biologiques en France (Agence Bio 2017)

1.1. Quelques points réglementaires

L'agriculture biologique constitue un mode de production reposant sur des grands principes, à savoir : une gestion durable de l'agriculture, un respect des équilibres naturels et de la biodiversité et une promotion des produits de haute qualité dont l'obtention ne nuit ni à l'environnement, ni la santé humaine, ni à la santé des végétaux, des animaux ou à leur bien-être. Les principes de l'agriculture biologique sont régis par un **règlement européen** (règlement (CE) n° 834/2007), complété par des **règlements d'application** (règlement (CE) n° 889/2008) et décliné en un cahier des charges ayant des spécificités pour chaque production. Un nouveau règlement est actuellement en préparation. Il entrera en application en janvier 2021. La réglementation s'intéresse à plusieurs points (« Le cahier des charges Agriculture Biologique » 2001).

1.1.1. L'alimentation

L'alimentation fournie aux animaux doit être issue de l'agriculture biologique. L'élevage doit être le plus autonome possible en ce qui concerne les matières premières destinées aux porcs. Au moins **20 % de l'alimentation** doit être produite sur l'exploitation ou dans la même région. Il est interdit d'utiliser des aliments OGM (Organisme Génétiquement Modifié), des aliments médicamenteux, des aliments supplémentés avec des anti-coccidiens ou des hormones.

L'alimentation des porcelets doit être basée sur le lait maternel pendant un minimum de **40 jours**.

1.1.2. [Les conditions environnementales](#)

Les porcs peuvent être élevés en **plein air** comme en **bâtiment** (Figure 2 et Figure 3).



Figure 2 : Photographie d'une maternité biologique en bâtiment (source personnelle)



Figure 3 : Photographie d'une maternité biologique en plein air (source personnelle)

Ils doivent être libres de leurs mouvements avec un **accès à l'extérieur obligatoire** pour les **animaux à l'engraissement** (l'aire d'exercice peut être sous forme de courettes partiellement couvertes). La surface accessible aux animaux issus de la production biologique est différente de l'élevage conventionnel (Tableau I). L'espace disponible est près de trois fois plus important.

Tableau I : Superficies minimales par animal (Fédération Nationale d'Agriculture Biologique 2019)

		En bâtiment + aire d'exercice (en m ² / tête)		Conventionnelle (en m ² / tête)
Truies allaitantes avec porcelets		7,5	2,5	
Porcs en engraissement	< 50 kg	0,8	0,6	0,40
	>85 kg	1,1	0,8	0,55
	< 100 kg	1,3	1	0,65
	+ 110 kg	1,5	1,2	1
Porcelets	<30 kg	0,6	0,4	0,3
Porcs reproducteurs		2,5/femelle 6,0 /mâle	1,9 /femelle 8,0 /mâle	2,25/ femelle 6,0/ mâle

Le sol en caillebotis n'est pas interdit mais il ne doit pas dépasser 50 % de la surface totale accessible aux porcs. L'aire de couchage peut être de la paille (la litière non biologique est autorisée) ou des matériaux naturels adaptés.

1.1.3. [La santé](#)

La prévention des maladies repose sur des interventions au niveau de l'environnement des animaux (hygiène des bâtiments ou des sols), sur l'alimentation et la boisson. Si un traitement est nécessaire, les éleveurs privilégient les médecines alternatives (homéopathie, phytothérapie, aromathérapie). Les traitements **allopathiques sont autorisés mais limités**. Le nombre de traitements allopathiques et/ou antibiotiques est limité en fonction de la durée de vie des animaux (Tableau II). **Les traitements antiparasitaires et les vaccins ne sont pas comptabilisés**. L'utilisation d'antiparasitaires doit être justifiée par le vétérinaire.

Tableau II : Nombre de traitements allopathiques autorisés suivant le stade physiologique

Stade de production	Nombre de traitements autorisés
Porcs à l'engraissement	1 seul traitement durant le cycle de vie
Porcs reproducteurs	3 traitements par an

En l'absence de directives dans le règlement européen, concernant le statut réglementaire de la supplémentation en fer, celui-ci est **laissé à l'appréciation des organismes certificateurs**. C'est pourquoi certains organismes certificateurs comptabilisent l'administration de fer comme un traitement allopathique. Cependant, **un consensus non officiel** a été établi par l'organisme « CeBio » définissant l'administration de fer par **voie injectable** (fer dextran ou gleptoferron) comme un **traitement allopathique** alors que l'administration par **voie orale** n'est **pas comptabilisée** comme un traitement allopathique.

1.1.4. [La conduite d'élevage](#)

Dans les élevages biologiques, la coupe des queues et le meulage des dents, réalisés habituellement sur les porcelets en élevage conventionnel, sont interdits. Cependant, la castration, accompagnée d'une injection d'anti-inflammatoires, est autorisée comme en élevage conventionnel. Le sevrage des porcelets biologiques est autorisé à partir de 40 jours d'âge tandis qu'il est autorisé à partir de l'âge de 21 jours en élevage conventionnel.

1.2. [Troubles de santé en élevage de porcs biologique](#)

Peu d'études sur la santé en élevage porcin biologique sont disponibles dans la littérature.

Malgré des modes de conduite différents du modèle conventionnel, les troubles de santé en élevage biologique sont proches de ceux rencontrés en élevage conventionnel. Néanmoins, quelques spécificités apparaissent dues à la litière (le rouget), au système en plein air (parasitisme) et à une utilisation restreinte des produits phytosanitaires (les mycotoxines) ...

L'exposition des animaux au parasitisme est beaucoup plus importante en élevage biologique. Lors d'autopsies, une forte infestation due aux ascaris (*Ascaris suum*) et aux trichures (*Trichuris suis*) est observée (Bourguinon et Muller 2016). *Ascaris suum* provoque de la toux, de la diarrhée et des saisies de foie. Une typhlo-colite en post-sevrage et une anorexie en engraissement sont des signes cliniques observés en cas d'infestation par *Trichuris suis*. La lutte contre les parasites passe également par le nettoyage et la désinfection des bâtiments et une rotation des parcelles dans les systèmes en plein air (Calvar 2016).

D'autre part, la présence de paille favorise l'apparition et la persistance de germe tellurique comme celui du rouget (*Erysipelothrix rhusiopathiae*) (Bourguinon et Muller 2016). Cependant, la plupart des élevages vaccinent leurs truies contre cette maladie.

Par ailleurs, le cahier des charges n'autorise que peu de traitements phytosanitaires sur les céréales et la possibilité d'utiliser une litière paillée pour les animaux sont deux raisons favorisant le développement **des mycotoxines** (Bourguinon et Muller 2016). Par exemple, la zéaralénone provoque des effets oestrogéniques.

D'autres maladies, communes aux deux modalités d'élevage (élevage biologique et conventionnel), sont également rencontrées :

- Les diarrhées en post-sevrage sont fréquentes. Elles sont dues à l'absence de transition alimentaire entre l'alimentation lactée ou premier âge et l'aliment deuxième âge ou nourrain. Cependant, le sevrage ayant lieu plus tardivement en élevage biologique, le tube digestif est plus mature et la consommation d'aliments solides avant sevrage est plus importante ce qui participe à diminuer la fréquence de ces diarrhées. En revanche, le passage rapide entre les deux alimentations, le dysmicrobisme et la colibacillose sont fréquents (Bourguinon et Muller 2016).
- L'anémie du porcelet est un syndrome touchant également les porcelets en élevage biologique, d'autant plus que la supplémentation en fer est controversée en élevage biologique. Ce syndrome et ses enjeux seront abordés plus en détails dans une autre partie.

Bilan sur la production porcine biologique :

- L'élevage de porc biologique peut se réaliser en **plein air ou en bâtiment**
- Le sevrage des porcelets biologiques est autorisé à partir de **40 jours d'âge**
- Un seul **traitement allopathique** est autorisé pour un porc en croissance
- Les troubles de santé sont similaires à la production porcine conventionnelle
- Il n'y a pas de consensus des organismes certificateurs quant à la **comptabilisation de l'injection de fer** comme un traitement allopathique

2. Le métabolisme du fer chez les mammifères

Le fer est l'un des métaux les plus abondants sur terre et il est également un nutriment essentiel chez les mammifères. En effet, c'est un élément indispensable pour plusieurs fonctions biologiques telles que le transport de l'oxygène (hémoglobine), les réactions catalytiques et le transfert d'électrons (Oliveira, Rocha, et Fernandes 2014). Nous prendrons l'exemple de l'Homme puisque la plupart des études concerne cette espèce. Cependant, quelques parallèles seront faits avec l'espèce porcine.

2.1. L'absorption intestinale du fer

Chez l'Homme, le fer est apporté par l'alimentation sous deux formes : **non héminique** (90%) ou **héminique** (10%) (Munoz, Garcia-Erce, et Remacha 2011a). Il est absorbé au niveau des entérocytes duodénaux et du jéjunum proximal (Hentze et al. 2010; Siddique et Kowdley 2012; Gkouvatsos, Papanikolaou, et Pantopoulos 2011) (Figure 4 et Figure 5).

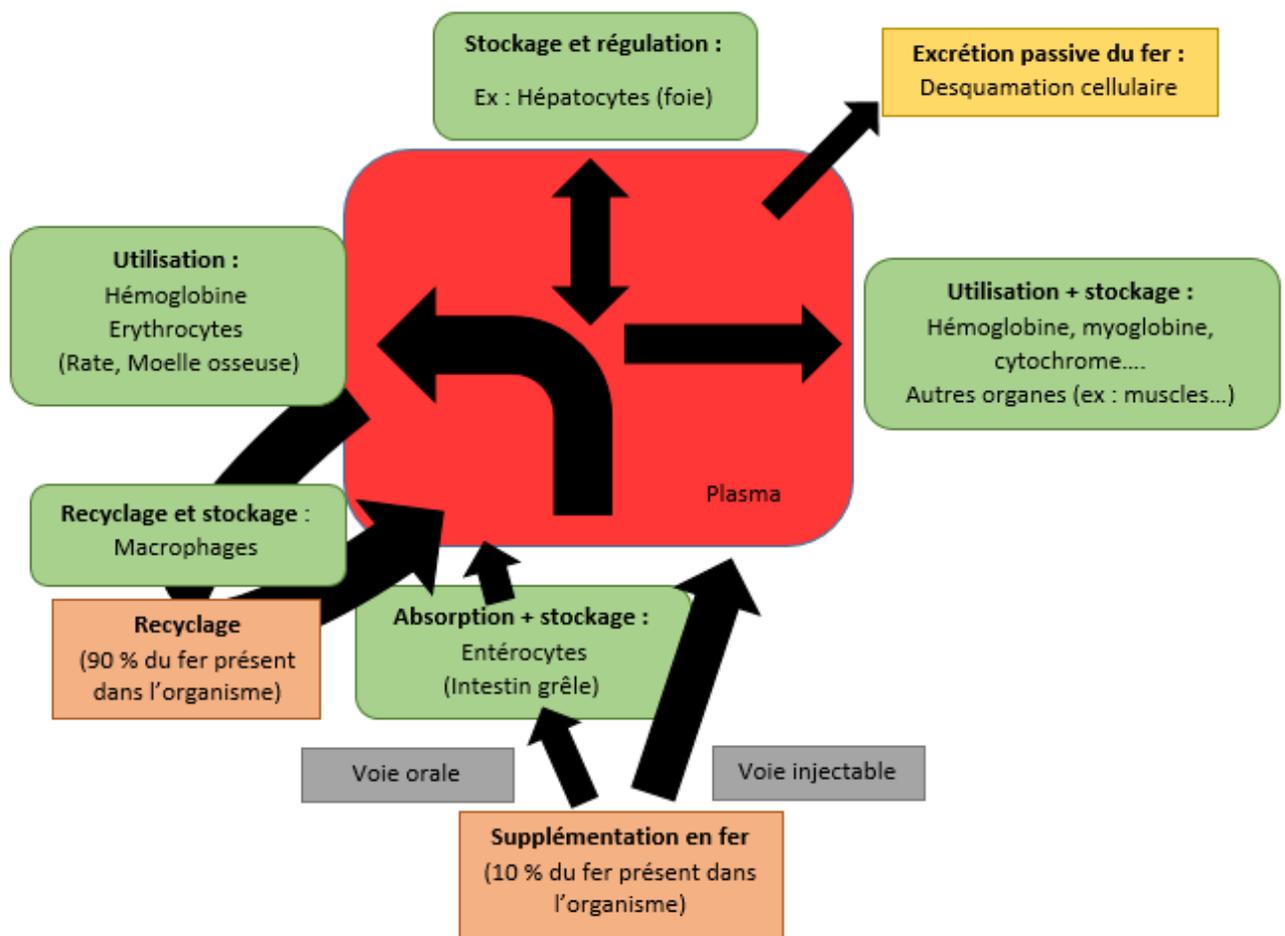


Figure 4 : Schéma général du métabolisme du fer : absorption, utilisation et stockage du fer au sein de l'organisme

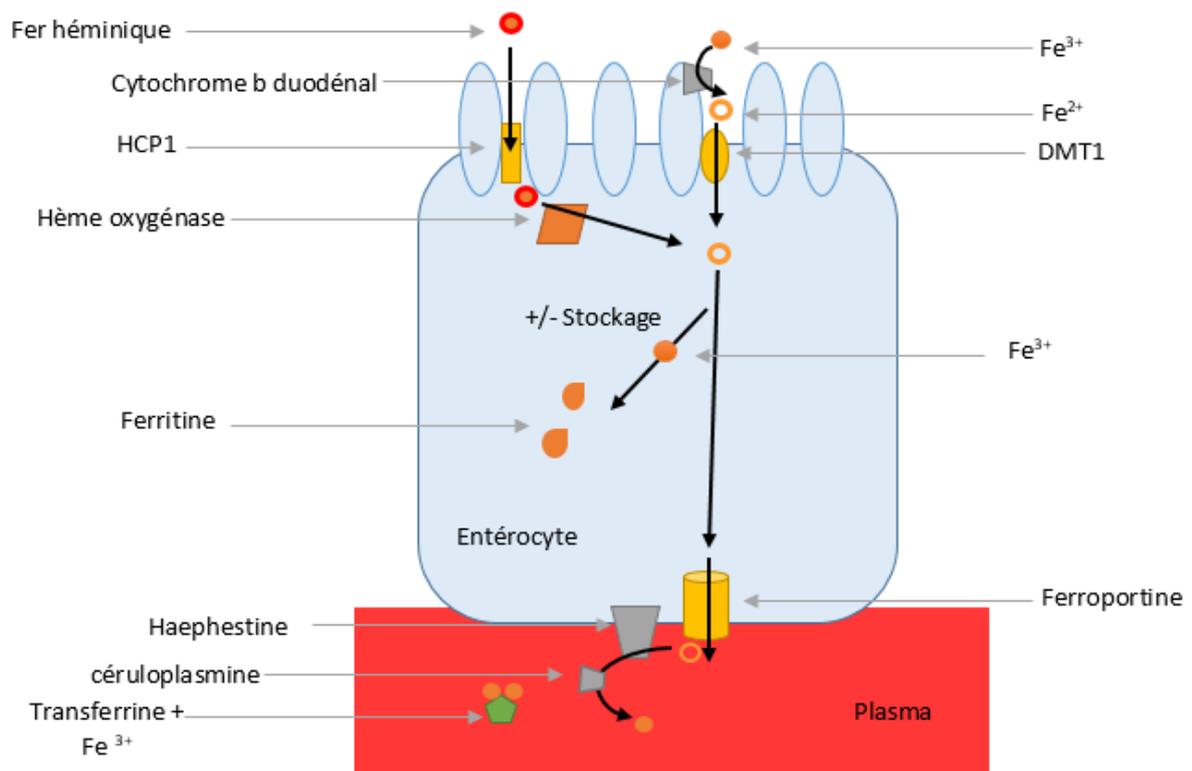


Figure 5 : Schéma de l'absorption intestinale du fer (entérocyte)

2.1.1. [Fer non héminique](#)

Le fer non héminique est présent dans les végétaux, les produits lactés, et, pour les animaux fousseurs comme le porc, il peut aussi provenir de la terre. Le fer non héminique est présent sous forme ferrique Fe^{3+} .

Grâce à l'enzyme **cytochrome b** duodéal (Dcytb) (qui est une réductase ferrique située au pôle apical des entérocytes duodénaux) et grâce à l'acidité de l'estomac, le fer est réduit sous forme ferreuse Fe^{2+} (Gkouvatsos, Papanikolaou, et Pantopoulos 2011; Papanikolaou et Pantopoulos 2005; Camaschella et Strati 2010; Munoz, Garcia-Erce, et Remacha 2011a; Szudzik et al. 2018). Une fois réduit, il entre dans les entérocytes par un **transporteur des métaux divalent 1** (DMT1) (Figure 5) situé sur la membrane apicale. Ce transporteur est également impliqué dans l'absorption d'autres métaux tels que le cuivre, le zinc et le cobalt (Munoz, Garcia-Erce, et Remacha 2011a). Son expression est régulée par les besoins en fer de l'organisme.

Une fois dans les cellules intestinales, le fer peut être soit stocké par séquestration par la **ferritine**, soit exporté à travers la membrane latérobasale à l'aide d'une protéine de transport membranaire du fer : la **ferroportine** (fpn) (Gozzelino et Arosio 2016; Szudzik et al. 2018) (Figure 5).

2.1.2. [Fer héminique](#)

Le fer héminique provient des produits carnés. Il est absorbé par les entérocytes par un mécanisme non complètement identifié, impliquant une protéine porteuse de l'hème 1 (HCP1) présente dans la portion proximale de l'intestin (Munoz, Garcia-Erce, et Remacha 2011a). Une fois internalisé dans les entérocytes, l'hème est dissocié du Fe^{2+} par l'hème oxygénase. Le fer héminique suit ensuite une voie commune au fer non héminique (Munoz, Garcia-Erce, et Remacha 2011a) (Figure 5).

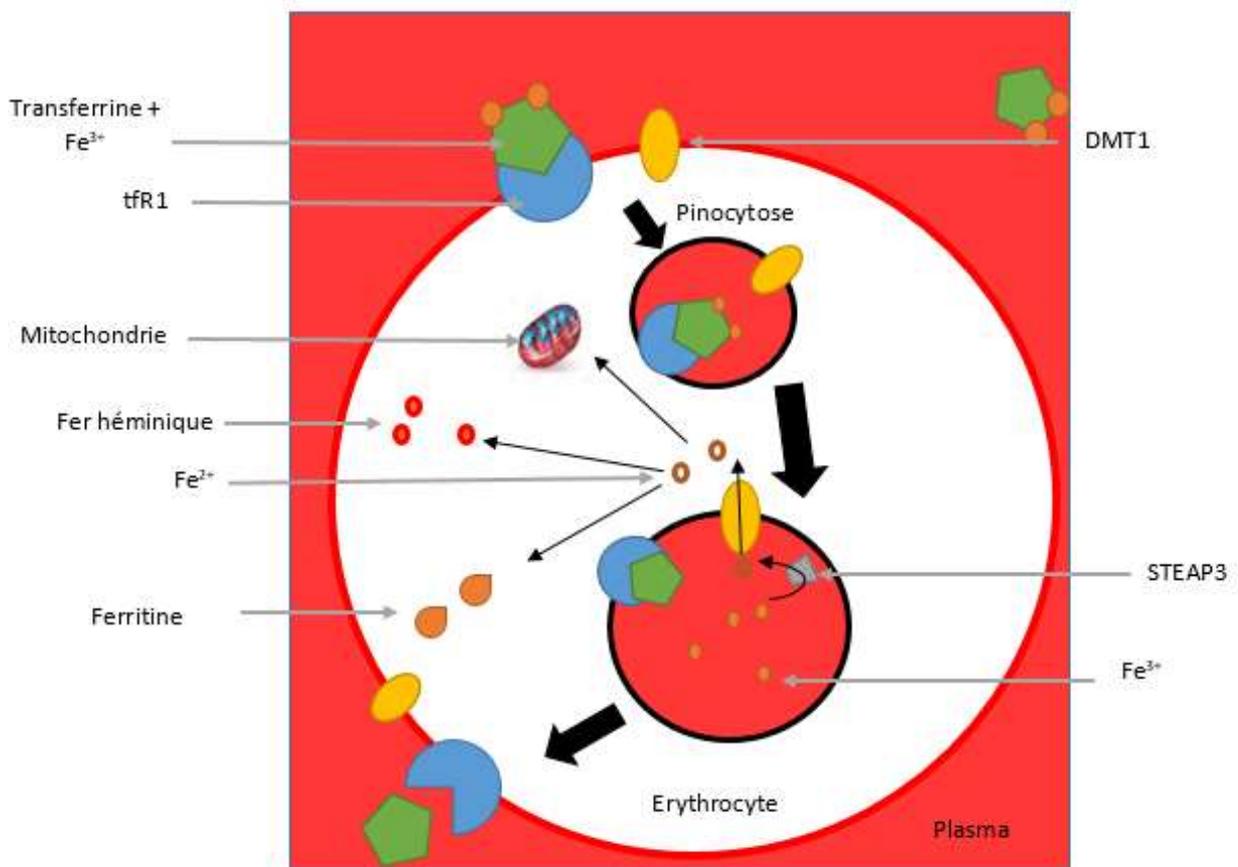


Figure 6 : Le cycle de la transferrine (exemple au sein d'un érythrocyte)

2.2. Transport et absorption cellulaire du fer

Le fer libéré dans la circulation sanguine est oxydé en Fe^{3+} par une oxydase : soit la héphaestine présente sur la face basolatérale des cellules intestinales, soit la **céruleoplasmine**, synthétisée et sécrétée par le foie et présente dans le sang (Hentze et al. 2010). La forme ferrique Fe^{3+} se fixe à une protéine de transport, la **transferrine** qui est libre dans le plasma. Cette β -globuline hépatique est capable de fixer deux atomes de fer de façon réversible (Oliveira, Rocha, et Fernandes 2014; Jaillardon 2018) (Figure 5) . Le fer (Fe^{3+}) libre est toxique pour l'organisme. C'est pourquoi, chez un individu sain, il est fixé à la transferrine. Ce complexe (**transferrine- Fe^{3+}**) apporte le fer aux différents sites où il sera utilisé ou stocké, tel que le foie, la rate, la moelle osseuse hématopoïétique et les cellules immunitaires (Munoz, Garcia-Erce, et Remacha 2011b).

Le complexe Transferrine- Fe^{3+} se fixe, grâce au **récepteur à la transferrine 1 (TfR1)**, à la surface des cellules (ex : les érythroblastes, les hépatocytes...) (Hentze et al. 2010). Une fois fixé, le récepteur et le complexe transferrine- Fe^{3+} sont endocytés par la cellule. Une fois endocyté, le fer (Fe^{3+}), fixé à la transferrine, est libéré grâce à la pompe à proton $Na^+/K^+/ATPase$. Dans les cellules érythroïdes, ce fer ferrique est réduit sous sa forme ferreuse par une métallo-réductase, la STEAP3 (Ohgami et al. 2005). Ensuite, il sera transporté vers le cytoplasme de l'érythrocyte grâce au transporteur DMT1 (Figure 6). La transferrine rejoint la circulation sanguine où elle peut de nouveau fixer deux atomes de fer, tandis que le TfR1 est recyclé vers la surface de la membrane cellulaire afin d'accueillir à nouveau un complexe transferrine- Fe^{3+} (Figure 6).

2.3. Utilisation et stockage

Une fois dans le cytoplasme, le fer sous sa forme ferreuse (Fe^{2+}) peut être soit :

- utilisé pour l'**érythropoïèse** pour fabriquer de l'hémoglobine (Gozzelino et Arosio 2016). Cette dernière représente approximativement 60 % du fer dans l'organisme (Perri 2015) (Figure 6).
- utilisé par les autres organes tels que les muscles pour fabriquer de l'**hémoglobine, de la myoglobine, des cytochromes**
- utilisé par les **enzymes de la chaîne respiratoire** (Hentze et al. 2010) (Figure 6).
- stocké sous **forme de ferritine** (qui pourra être utilisée ultérieurement pour l'érythropoïèse) dans différentes cellules comme les érythrocytes, les hépatocytes, les entérocytes, les macrophages.... (Hentze et al. 2010) (Figure 6 et Figure 4) et **d'hémosidérine** (Jaillardon 2018).

Dans les tissus, un tiers du fer est stocké sous forme de **ferritine** ou d'hémosidérine. La ferritine est une forme de stockage facilement mobilisable, présente dans la plupart des tissus. C'est une protéine ubiquitaire, volumineuse, qui peut fixer jusqu'à 4000 atomes de fer. L'hémosidérine quant à elle, est peu mobilisable surtout dans certains tissus tels que le système réticulo-endothélial de la moelle osseuse hématopoétique, de la rate, du foie et les muscles (Jaillardon 2018).

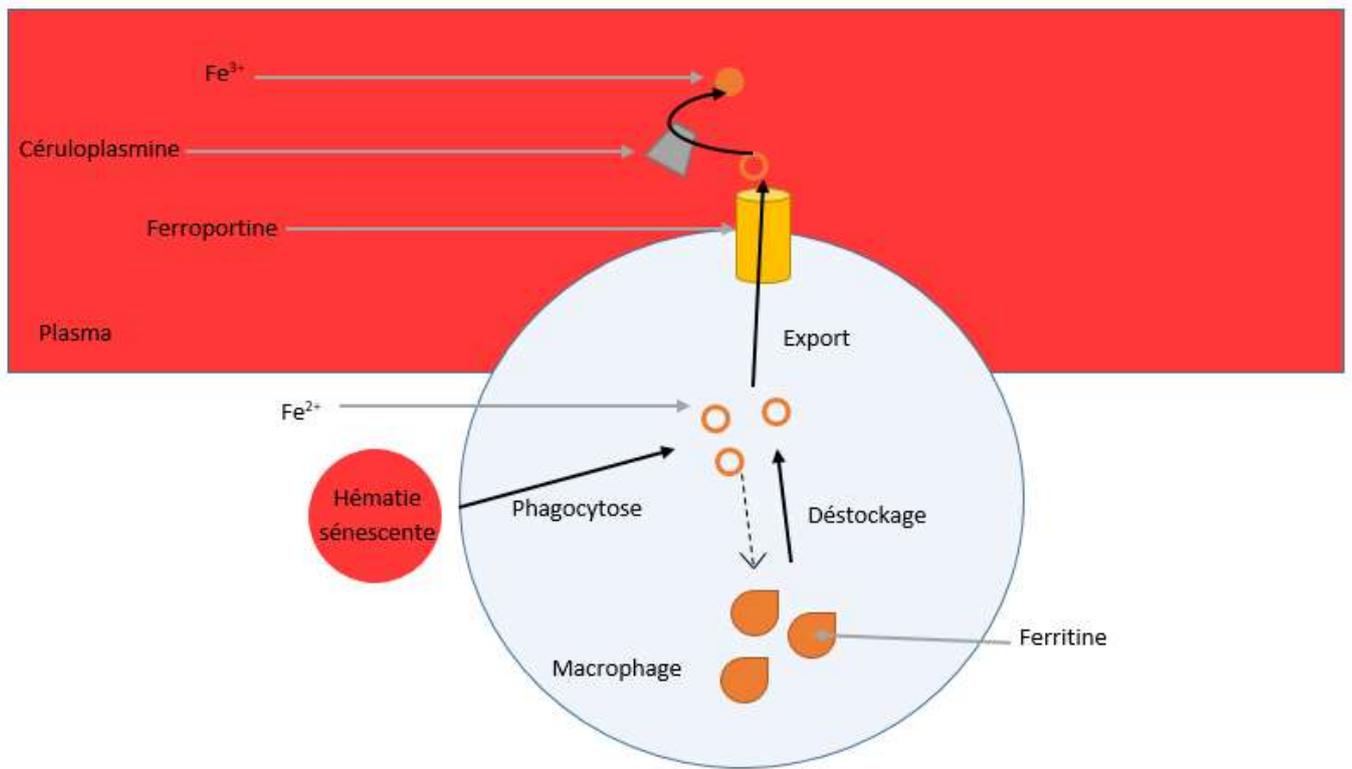


Figure 7 : Schéma du recyclage des hématies sénescences

2.4. Recyclage des hématies sénescents

Chez l'adulte, le fer présent dans l'organisme provient à **90 % de la sénescence des hématies** (le recyclage est réalisé par les macrophages dans la rate essentiellement) alors que seulement 10 % provient de l'alimentation (Gozzelino et Arosio 2016) (Figure 4).

Le fer contenu dans les hématies sénescents peut être recyclé grâce aux **macrophages** situés dans la rate et dans les autres tissus (foie, moelle osseuse hématopoïétique). Le macrophage phagocyte l'hématie puis catabolise le fer contenu dans la cellule grâce à l'hème oxygénase (Hentze et al. 2010). Le fer peut alors être soit stocké sous forme de ferritine soit exporté en dehors de la cellule grâce à la ferroportine (Figure 7).

2.5. Régulation

Il n'existe **pas de mécanisme d'excrétion du fer de manière active** (Jaillardon 2018). En revanche, il existe un phénomène d'excrétion passive lié à la desquamation cellulaire (notamment les entérocytes)(Figure 4). Ceci pourrait expliquer la présence de mécanismes de contrôles stricts qui régulent aussi bien l'absorption, la mobilisation, le stockage et le recyclage du fer dans l'organisme. Ces **mécanismes de régulation** interviennent à deux niveaux : **cellulaire et systémique**.

2.5.1. Régulation cellulaire : les IRP (Iron Responsive Proteins) et les IRE (Iron Responsive Elements)

Dans la cellule, le taux de fer est régulé par des mécanismes post-transcriptionnels impliquant des éléments de réponse au fer (**IRE** : Iron Responsive Elements) qui fixent des protéines cytoplasmiques de régulation du fer (**IRP** : Iron Responsive Proteins) : IRP1 et IRP2 (Hentze et al. 2010; Gozzelino et Arosio 2016). Ce phénomène de régulation cellulaire peut être mis en place dans tous types de cellules stockant du fer, par exemple dans les hépatocytes.

Dans le cas d'une carence en fer, l'affinité des IRP envers les IRE est augmentée. Ce mécanisme entraîne l'inhibition de la traduction de l'ARNm codant pour la ferritine, et celui codant pour le récepteur à la transferrine TfR1 se stabilise (Gozzelino et Arosio 2016)

Le phénomène est inversé dans le cas d'une surcharge en fer.

2.5.2. Régulation systémique : l'hepcidine

2.5.2.1. L'hepcidine, régulateur négatif du fer

L'homéostasie systémique du fer est assurée par une hormone peptidique produite par le foie et excrétée par les urines, **l'hepcidine**. Sa synthèse est stimulée lors d'une surcharge en fer, d'une inflammation ou d'une atteinte hépatique et est inhibée dans le cas d'une carence en fer, d'une hypoxie ou d'une érythropoïèse inefficace. C'est **un régulateur négatif de l'absorption de fer** (Pouillevet 2018; Jaillardon 2018; Siddique et Kowdley 2012).

L'hepcidine entraîne **l'internalisation de la ferroportine** dans la cellule (la protéine de transport membranaire d'exportation du fer), d'où son rôle de régulateur négatif. Par conséquent, le fer est séquestré dans les cellules. Dans le cas d'une carence en fer, le phénomène est inversé et les molécules de fer peuvent passer rapidement dans la circulation sanguine (Nicolas 2009).

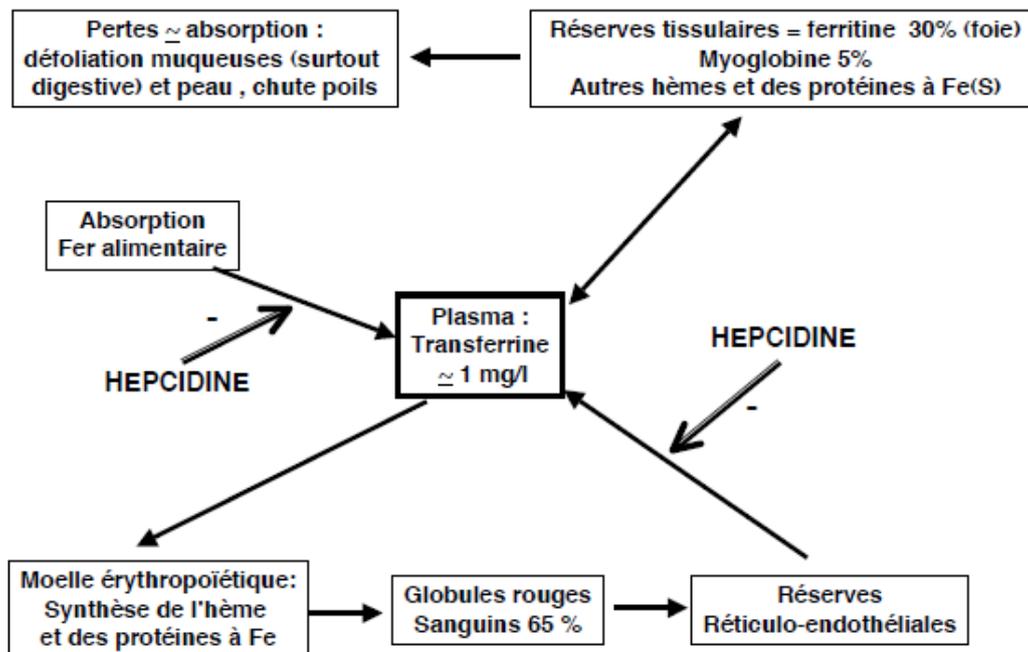


Figure 8 : Rôle central de l'hepcidine dans l'homéostasie du fer (D'après Jaillardon 2018)

L'hepcidine joue **un rôle central dans la régulation du métabolisme du fer** (Figure 8). Ce peptide hormonal, et notamment sa production est donc un élément clef dans certaines maladies ou syndromes tels que : l'anémie ferriprive, l'hémochromatose (surcharge en fer) ou encore l'anémie due à un état inflammatoire chronique.

2.5.2.2. La régulation de la synthèse de l'hepcidine

Plusieurs protéines participent à la régulation de la production de l'hepcidine (Nicolas 2009) :

- La protéine HFE
- Le récepteur de la transferrine de type 2
- L'hémojuvéline
- Le facteur de transcription SMAD 1/5/8

A l'heure actuelle, le mécanisme de régulation n'est pas totalement élucidé. Un modèle a été proposé en 2014 par Ruchala. Il y aurait trois « voies » de régulation de l'hepcidine : par l'érythropoïèse, par le fer ou par l'inflammation (Ruchala et Nemeth 2014).

Seule la voie de régulation par l'inflammation sera abordée par la suite.

Dans le cas d'une **inflammation**, la quantité d'hepcidine est augmentée. En effet, Ruchala propose un modèle faisant intervenir des cytokines telles que l'interleukine 6 et d'autres cytokines (IL-22, oncostatine M). Elles interviendraient dans la sécrétion de l'hepcidine par la voie Stat3 (Ruchala et Nemeth 2014).

Bilan sur le métabolisme du fer :

- Le fer entre dans les cellules intestinales par le **DMT1** après avoir été réduit en fer ferreux par le **cytochrome B duodéal**.
- Dans la cellule, il peut être stocké sous forme de **ferritine** ou exporté grâce à la **ferroportine** (protéine de transport membranaire)
- Le fer (Fe^{3+}) est transporté par la **transferrine** dans le sang formant le **complexe Tf- Fe^{3+}** . Il se fixe ensuite au **récepteur à la transferrine 1 (TfR1)**, le fer est endocyté et est utilisé pour l'érythropoïèse, dans la chaîne respiratoire, ou stocké sous forme de ferritine ou d'hémosidérine
- Le métabolisme du fer est régulé au niveau cellulaire **par des IRP et des IRE** ainsi qu'au niveau systémique par l'**hepcidine (peptide hormonal sécrété par le foie, régulateur négatif du fer)** qui est elle-même régulée par plusieurs mécanismes, notamment stimulée par les cytokines inflammatoires.

3. L'anémie du porcelet

3.1. L'anémie et ses marqueurs

L'anémie est un syndrome défini par la baisse de la concentration en hémoglobine en deçà des valeurs usuelles (Zimmerman 2019). L'anémie se manifeste cliniquement par une tachycardie, une tachypnée, une fatigabilité et une pâleur des muqueuses. Les signes cliniques étant non pathognomoniques, le diagnostic clinique n'est pas suffisant pour diagnostiquer une anémie (Jaillardon 2018).

Le diagnostic s'établit grâce à la réalisation d'un hémogramme rouge. Le marqueur le plus représentatif de l'anémie est la concentration en **hémoglobine** puisqu'elle est responsable des signes cliniques observés (hypoxie tissulaire) (Zimmerman 2019). **Le nombre de globules rouges et l'hématocrite** sont également des marqueurs de l'anémie. D'autres paramètres sanguins calculés comme le **VGM** (Volume Globulaire Moyen = Hématocrite x 10 / numération globulaire), la **TCMH** (Teneur Corpusculaire Moyenne en Hémoglobine = Hémoglobine x 10 / numération globulaire) et la **CCMH** (Concentration Corpusculaire Moyenne en Hémoglobine = Hémoglobine x 100 / hématocrite) sont également des index qui caractérisent l'anémie.

Un diagnostic précoce peut être établi grâce à la **numération réticulocytaire** et le dosage de la **concentration en hémoglobine dans les réticulocytes**. Les réticulocytes sont des stades précurseurs des hématies matures, ils vont être relargués dans le sang par la moelle osseuse hématopoïétique dans les 3 à 5 jours suivant l'épisode d'anémie. D'autres marqueurs biochimiques participent au diagnostic précoce de l'anémie comme une **faible concentration de ferritine**, une **diminution du coefficient de saturation de la transferrine** (CST) et plus récemment décrite, une **augmentation** de la quantité de **récepteurs à la transferrine** (TfR1) (soluble dans le sérum). L'avantage de ce dernier est qu'il n'interfère pas avec les processus inflammatoires chroniques ou aigus (Thomas et Thomas 2002 ; Ioannou et al. 2002). Ces quatre derniers marqueurs biologiques sont rarement dosés en médecine vétérinaire.

Le fer total sérique n'est pas un indicateur spécifique de l'anémie. En effet, lors d'un processus inflammatoire, le fer peut être séquestré dans les cellules ainsi l'animal ne pourra pas utiliser correctement ces réserves ferriques et ainsi produire de l'hémoglobine (Jaillardon 2019). L'anémie inflammatoire va être abordé ultérieurement.

3.2. Les causes d'anémie chez les mammifères

Les index qui caractérisent les anémies sont des aides à la classification de ces dernières. Certaines sont dites **régénératives** (périphériques) c'est-à-dire que la moelle osseuse hématopoïétique tend à compenser l'anémie par une hyperplasie érythroblastique se traduisant par un nombre de réticulocytes circulants au-dessus des valeurs usuelles.

D'autres sont dites **non régénératives** (centrales) soit arégénératives ou hyporégénératives c'est-à-dire que la moelle osseuse a une activité érythroblastique diminuée par rapport à la normale ou qu'elle ne compense pas l'anémie. Les anémies non régénératives ont une numération réticulocytaire dans les valeurs usuelles ou en deçà (Nguyen 2016).

Toutes les causes d'anémies sont mentionnées dans le Tableau III.

En production porcine, il est communément admis que **la carence en fer** est la cause majoritaire d'anémie chez le porcelet (Lipiński et al. 2010). Cependant, **l'anémie inflammatoire** n'est pas à négliger (Nairz et al. 2016).

Tableau III : Les causes d'anémies potentielles (Jaillardon 2019)

Anémies régénératives	Hémorragiques	Saignement externe et intra-cavitaire	<ul style="list-style-type: none"> • Entéropathie hémorragique • Dysenterie • Ulcération gastrique • Volvulus • Parasitaire • Thrombocytopénie • Troubles de la coagulation
	Hémolytiques	A médiation immune ou auto-immune	<ul style="list-style-type: none"> • Médicamenteuse • Agents infectieux (FeLV, <i>Mycoplasma suis</i>, <i>Babesia</i>) • Néoplasie • Immunologique
		Hémoparasites	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Mycoplasma suis</i> • <i>Babesia sp.</i> • FeLV • <i>Leishmania sp.</i>
		Stress oxydant	<ul style="list-style-type: none"> • Processus inflammatoire • Toxique • Métabolique (diabète sucré) • Néoplasie
		Anomalies membranaires	<ul style="list-style-type: none"> • Angiopathie
Anémies non régénératives	Normocytaires (VGM dans les normes)	Inflammation chronique	<ul style="list-style-type: none"> • Inflammation (séquestration du fer) • Atteinte médullaire • Insuffisance rénale
	Microcytaires (VGM bas)	Pertes de sang chroniques	<ul style="list-style-type: none"> • Carence en fer
	Macrocytaires (VGM élevé)		<ul style="list-style-type: none"> • Carence en vitamine B 12

En bleu : causes potentielles et décrites chez le porc (Zimmerman 2019)

3.3. L'anémie ferriprive chez le porc

3.3.1. Caractéristiques de l'anémie ferriprive

Les données publiées chez le porcelet rapportent que l'anémie observée est principalement due à un déficit nutritionnel en fer (Lipiński et al. 2010). L'anémie **ferriprive** peut être caractérisée comme étant **microcytaire** (Volume Globulaire Moyen en deçà des valeurs usuelles), **hypochrome** (Teneur Corpusculaire Moyenne en Hémoglobine en deçà des valeurs usuelles) avec une **baisse de l'hémoglobinémie** et **peu régénérative** (Lipiński et al. 2010; Staroń et al. 2015; Jaillardon 2018). Par ordre chronologique, la carence en fer provoque dans un premier temps une microcytose, puis une baisse de la concentration en hémoglobine et enfin une hypochromie.

Lors d'une érythropoïèse normale, il existe une synchronisation entre le rythme mitotique et la production d'hémoglobine. Dans les anémies ferriprives, l'hémoglobine n'est pas produite en quantité suffisante pour atteindre une **TCMH normale**. Or c'est la TCMH qui provoque **l'arrêt des mitoses et l'expulsion du noyau**. Il en résulte une augmentation du nombre des mitoses. Par conséquent, les hématies produites sont microcytaires et hypochromes (Nguyen 2016).

3.3.2. Etiologie de l'anémie ferriprive chez le porc

La carence en fer chez le porcelet est due à plusieurs raisons. Tout d'abord, à la naissance, le porcelet possède de **faibles réserves en fer** estimées à 50 mg (Venn, Mc Cance, et Widdowson 1947).

Jusqu'au sevrage sa principale source d'alimentation est le **lait maternel** mais celui-ci est **naturellement carencé en fer** (Farmer 2015; Miller et Ullrey 1977). Seulement un à deux milligrammes de fer par jour sont garantis par l'alimentation lactée (Csapó et al. 1996) alors que les besoins journaliers sont estimés à sept milligrammes environ par jour afin de maintenir une concentration en hémoglobine correcte (Miller et Ullrey 1977). D'autre part, Lipinski (Lipiński et al. 2010) a montré dans son étude que le système d'absorption du fer chez le porcelet sous la mère n'était ni mature ni fonctionnel lors de ses premiers jours de vie.

Le porcelet a **une croissance très rapide**, il voit son poids initial multiplié par cinq en quatre semaines. Par conséquent l'anémie aura tendance à s'aggraver. De plus, ces dernières années, les animaux ont été sélectionnés sur leurs performances de croissance. Ce taux de croissance important (plus de 250 g par jour) accompagné d'une augmentation du volume sanguin et donc une activité érythropoïétique élevée, entraînent une augmentation du nombre de globules rouges ce qui nécessite donc une grande quantité de fer pour maintenir une concentration en hémoglobine adéquate (Szudzik et al. 2018).

Pour toutes ces raisons, sans supplémentation en fer additionnelle, les porcelets développent une anémie dans les sept à dix jours suivants leur naissance (Szabo et Bilkei 2002).

3.4. L'anémie inflammatoire

3.4.1. Mécanisme de l'anémie inflammatoire

Comme expliqué précédemment, le processus inflammatoire par l'intermédiaire de la **production de cytokines** (IL-6, IL-1 et TNF α notamment) stimule la production de **l'hepcidine par le foie**. Ainsi, lors d'inflammation, le fer est **séquestré dans les cellules** car l'hepcidine en se fixant à la ferroportine, entraîne son internalisation dans la cellule. Le fer ne peut alors pas être exporté dans la circulation plasmatique et être utilisé par les cellules (Jaillardon 2019). C'est pourquoi, le dosage du fer sérique total n'est pas un marqueur spécifique permettant

de différencier une anémie inflammatoire d'une anémie par carence en fer vraie : dans les deux cas, la sidérémie est faible.

En plus des effets sur le métabolisme du fer, les cytokines inflammatoires peuvent provoquer également une diminution de la synthèse érythropoïétine, altérer l'érythropoïèse et raccourcir la durée de vie des globules rouges (Fraenkel 2017).

3.4.2. [Marqueurs d'inflammation chez le porc](#)

Lors de processus inflammatoire, la synthèse de certaines protéines est stimulée (protéines positives de l'inflammation), alors que d'autres sont inhibées (protéines négatives de l'inflammation). Les concentrations plasmatiques de certaines protéines inflammatoires varient de façon importante lors d'inflammation dans l'espèce porcine :

- **La SAA** (Serum Amyloid A) est une apolipoprotéine. Elle permet la neutralisation des endotoxines, l'inhibition de la prolifération des lymphocytes et des cellules endothéliales ainsi que l'inhibition de l'agrégation des plaquettes (Fablet 2009). Elle peut être secrétée sous l'influence des cytokines pro inflammatoires Il-1, Il-6 et TNF α (Vreugdenhil 1999).
- **La PigMAP** : (Pig Major Acute Phase Proteins) est une protéine inflammatoire majoritaire avec une amplitude de réponse à l'inflammation importante (Fablet 2009). La corrélation entre la PigMAP et l'haptoglobine est bonne (Clapperton et al. 2007).
- **L'haptoglobine** est une α_2 globuline qui se lie à l'hémoglobine plasmatique libre en formant un complexe. Ce complexe permet de réduire les dégradations oxydatives induites lors d'hémolyse (Fablet 2009). C'est pourquoi le dosage de la concentration de l'haptoglobine est très sensible à l'hémolyse des échantillons. La concentration chute lorsque l'échantillon est hémolysé. D'autre part, l'haptoglobine a une activité bactériostatique en réduisant la concentration sérique du fer, ne le rendant pas disponible pour la croissance des bactéries (Eaton et al. 1982).

Ces 3 protéines sont des protéines positives de l'inflammation. Elles sont majeures et fréquemment dosées dans les études publiées en médecine porcine. Les concentrations varient selon la race, le sexe, l'âge et le stade physiologique des animaux.

3.5. [La prévention de l'anémie du porcelet passe par la supplémentation en fer](#)

L'anémie chez le porcelet, en plus d'être à l'origine des signes cliniques évoqués précédemment (Zimmerman 2019), entraîne des retards de croissance des animaux et est associée à une incidence plus forte de certaines maladies, comme les diarrhées dues à *E.coli* (M. Svoboda et Drábek 2005).

Comme la cause principale d'anémie chez le porcelet serait une carence en fer, les éleveurs supplémentent leurs animaux en fer pour éviter ces conséquences négatives. A l'heure actuelle, la majorité des porcs sont élevés en bâtiment. Dans ces conditions environnementales, la nécessité de la supplémentation en fer fait l'unanimité dans la littérature. En médecine vétérinaire, plusieurs voies d'administration sont possibles (Tableau IV). Dans ce tableau, les principaux avantages et inconvénients des différentes voies sont mentionnés.

Tableau IV : les différentes voies d'administration de la supplémentation en fer

Voies d'administrations		Avantages	Inconvénients
Orale	Par le sol	Contention non nécessaire Apport par le comportement de fouissage	Dose ingérée inconnue
	Sous forme de pâte orale	Dose administrée connue	Nécessité d'une contention, moins bonne absorption chez le nouveau-né que sous forme injectable (Lipiński et al. 2010)
	Mise à disposition	Facilité d'utilisation	Dose ingérée inconnue (aliment véritablement consommé qu'à partir de 15 jours d'âge environ)
Injectable	Intra musculaire (au niveau de l'encolure le plus souvent)	Dose exacte administrée connue Bonne efficacité de l'acte	Contention nécessaire, risque d'abcès suite à l'injection (Maes et al. 2011)

3.5.1. [Par la voie orale](#)

Sol

Lorsque les animaux sont élevés en plein air, les porcelets ont des sources de fer plus diversifiées qu'en bâtiment. En effet, ils peuvent obtenir du fer issu du sol et des plantes. Deux auteurs (Kleinbeck et McGlone 1999 et Brown et al. 1996) s'accordent à dire que dans ces conditions, **l'apport en fer est suffisant pour ne pas développer de symptômes liés au syndrome d'anémie** et avoir une concentration en hémoglobine supérieure à 110 g/L au sevrage (28 jours pour Kleinbeck et 21 jours pour Brown). Aucune différence sur les performances de croissance n'a été observées. L'administration de fer ne serait donc pas nécessaire pour des animaux élevés en plein air selon ces auteurs.

Cependant, à l'heure actuelle, la plupart des porcs sont élevés en bâtiment. Plusieurs formes orales de fer sont disponibles afin de prévenir l'anémie des porcelets.

Fer Dextran

Une des formes orales du fer est le **fer dextran**. Une fois administrée oralement, la molécule met 20 heures pour arriver aux cellules épithéliales de l'intestin grêle. Ces cellules ont une durée de vie de sept jours (Perri 2015). Afin de garantir une efficacité optimale, il est recommandé de l'administrer le plus rapidement possible après la naissance (dans les dix premières heures de vie) d'autant plus que l'absorption se réduit avec la fermeture progressive de la barrière intestinale (Martin Svoboda et Píšťková 2018). Jusqu'à maintenant, **aucun effet toxique n'a été reporté après l'administration de fer dextran par voie orale**. En accord avec Svoboda, une administration orale de fer dextran à la dose de 200 mg prévient l'anémie des porcelets et permet de maintenir une croissance comparable à celle des porcelets recevant une injection de fer (M. Svoboda et Drábek 2005). Au contraire, dans son étude, Iben a montré qu'une dose de 230 mg de fer n'était pas suffisante pour prévenir l'anémie et qu'une seconde dose par voie injectable était nécessaire (Martin Svoboda et Píšťková 2018).

Sels de fer

D'autres formes orales sont utilisées comme les sels de fer. Ils contiennent souvent du fer sous forme ferreuse. En production porcine, les sulfates de fer, les fumarates de fer et les lactates de fer sont les plus utilisées (M. Svoboda et Drábek 2005). L'efficacité du fer fumarate a été analysé à travers, une administration de 200 mg sous forme de pâte orale répétée à six et onze jours d'âge. Son efficacité est comparable à celle d'une injection de fer dextran de 200 mg (M. Svoboda et Drábek 2002). A cause de la toxicité du fer chez les nouveaux nés (réserve en vitamine E insuffisante), il est recommandé d'administrer ce type de fer après trois jours d'âge (Martin Svoboda et Píšťková 2018).

Fer chélaté à partir d'acides aminés

Un autre type de fer administrable par voie orale existe : le fer chélaté à partir d'acides aminés. Dans son étude en 2011, Maes a comparé l'injection de fer dextran (200 mg) à trois jours d'âge avec une alimentation enrichie en fer (fer chélaté : hemoral[®]) distribuée aux porcelets à l'aide d'une mangeoire spécifique (biofiber[®] Damino). La supplémentation orale s'est faite en 3 périodes : du 2^{ème} jour au 4^{ème} jour ; du 5^{ème} jour au 7^{ème} jour et du 8^{ème} jour au 12^{ème} jour. Lors du prélèvement sanguin réalisé au sevrage (25 jours d'âge), les animaux supplémentés par voie orale avaient une concentration en hémoglobine significativement plus élevée que les autres (Maes et al. 2011). Par ailleurs, en 2002, une autre étude a testé l'administration de fer méthionine par voie orale à une dose de 200 mg à 3 jours d'âge. Les résultats ont montré que la concentration en hémoglobine n'était pas suffisante pour prévenir de l'anémie. L'auteur conclut qu'une seconde dose est nécessaire (Kegley et al. 2002). Une autre étude menée plus tôt a également prouvé que les animaux supplémentés par voie orale avaient une concentration en hémoglobine moins importante que les animaux recevant une injection de fer dextran (Egeli et Framstad, 1998). De même, une étude menée en 2001, montre que des animaux ayant reçu une pâte orale contenant du fer chélaté à partir d'acides aminés à l'âge de trois jours, étaient (sub)anémisés avec une concentration en hémoglobine de 84,9 g/L au sevrage à 28 jours. L'efficacité du fer par voie orale et voie injectable a été comparée et leurs résultats montrent que les porcelets ayant reçu du fer par voie injectable ont une concentration en hémoglobine plus élevée (104,3 g/L) (Chwen et al. 2001).

Encapsulation

Plus récemment, une nouvelle technologie d'encapsulation du fer est apparue pour améliorer la biodisponibilité du fer administré par voie orale (Zimmerman 2019). En 2016, une étude a été menée prouvant l'efficacité de l'encapsulation de microparticules de fer sulfate et d'érythrocytes de porc (en 3 doses) équivalente à une injection de 200 mg de fer dextran à 2 jours d'âge (hémoglobine : 102 g/L à 101 g/L, respectivement). Les 3 doses de 84 mg ont été administrées à 2, 8 et 14 jours d'âge (Antileo, Figueroa, et Valenzuela 2016).

D'après Maes, l'administration parentérale requiert environ 30 secondes de plus par animal qu'en distribuant une alimentation enrichie en fer (Maes et al. 2011). Cependant, Marchant-Forde n'a pas trouvé de différence significative entre la voie orale et la voie injectable en terme de temps nécessaire à la procédure (20 secondes et 24 secondes respectivement) et de bien-être animal (vocalises et taux de cortisol) (Marchant-Forde et al. 2009).

3.5.2. Par voie injectable

Dextran ou gleptoferron

A l'heure actuelle, sur le marché du médicament vétérinaire, le fer administré par voie injectable existe sous forme de deux complexes : **le fer dextran ou le fer gleptoferron** (Tableau VI). La différence réside dans le procédé de fabrication. Le fer dextran est un fer

carbohydrate produit sans solvant organique ni cyanide. Alors que le gleptoferron est également une molécule de fer carbohydrate mais nécessitant l'utilisation de solvant organique et de cyanide (Pharmacocosmos 2018). Les différents complexes permettent une libération du fer grâce aux lysosomes. Les **résorptions sont différentes suivant les produits** (Tableau VI). Le fer **gleptoferron** a été mis en évidence comme étant **plus biodisponible** que le fer dextran avec un **temps de demi vie plus long** (17 heures au lieu de 10 heures pour le fer dextran) (Morales et Manso 2018). Des études ont été menées afin de comparer l'efficacité des deux formes. La forme gleptoferron a une influence positive plus importante sur les paramètres hématologiques (augmentation de la concentration en hémoglobine et de l'hématocrite) et sur le taux de fer plasmatique que la forme dextran. Cependant, aucune différence significative n'a été mise en évidence concernant les performances de croissance (Morales et Manso 2018; Sperling et al. 2018). Les deux produits sont efficaces dans la prévention de l'anémie du porcelet.

En 2005, une étude a été menée sur des porcelets ayant reçu ou non une injection de 200 mg de fer dextran à la naissance. Les dosages faits à 13 jours d'âge montrent que la concentration en hémoglobine et l'hématocrite sont plus élevés pour le groupe ayant reçu une injection de fer dextran. Cependant, aucune différence significative n'a été observée sur le GMQ (Rincker et al. 2005). Ventrella a établi des valeurs usuelles hématologiques des porcelets avec ou sans supplémentation. Les porcelets ne recevant pas de fer sont considérés comme anémiés (Hb : 60 g/L) (Ventrella et al. 2016).

Posologie

Cependant, aucun consensus concernant la posologie idéale à administrer aux porcelets n'est établi. Différentes études ont été menées afin de tester différents dosages de fer. En 1983, trois dosages ont été testés (100, 150 et 200 mg de fer dextran). Aucune différence au niveau des performances de croissance n'a été observée. Néanmoins, la concentration en hémoglobine et d'hématocrite sont plus élevés avec 200 mg de fer dextran (Ku, Miller, et Ullrey 1983). Quelques années plus tard, le même constat a été fait par d'autres auteurs (M. Svoboda et Drábek 2005). D'autres sont d'accord d'un point de vue hématologique mais ont observé une différence au niveau du GMQ des porcelets supplémentés avec un dosage à 200 mg plutôt que 100 mg (Gentry et al. 1997). Un dosage plus élevé (300 mg) a été évalué sans observer d'effets délétères avec une concentration en hémoglobine et un hématocrite plus élevés qu'avec l'administration de 200 mg mais sans effet sur les performances de croissance des animaux (Jolliff et Mahan 2011; Murphy, Friendship, et Dewey 1997). La dose la plus fréquemment recommandée par les fabricants est également de **200 mg de fer dextran** ou gleptoferron (Tableau VI).

Seconde injection

Dans certaines études, la nécessité d'une seconde injection a été mise en évidence. Un effet notable sur les paramètres hématologiques est observé grâce à une seconde injection de 100 mg à 10 jours d'âge (Maner, Lowrey, et Pond 1959; Jolliff et Mahan 2011) ou de 200 mg à 21 jours d'âge (Haugegaard, Wachmann, et Kristensen 2008). Pour d'autres auteurs, des effets positifs sur les performances de croissance sont notables avec une seconde injection à trois semaines d'âge (Von Bollwahn et Knörl 1983; Kamphues, Manner, et Netzler 1992; Haugegaard, Wachmann, et Kristensen 2008). Starzynski a mis en évidence qu'une seconde injection de fer présente l'intérêt de limiter les effets négatifs liés à un accroissement important de l'hepcidine dans l'absorption du fer (Starzyński et al. 2013). Les avis ont été résumés dans le Tableau V.

Age d'administration

L'anémie est un syndrome qui touche rapidement le porcelet. C'est dans l'objectif de répondre le plus rapidement possible aux besoins des porcelets que Egeli recommande une injection de fer dès le premier jour d'âge. D'après son étude, les conséquences de l'anémie sont moins nombreuses en administrant du fer le plus rapidement possible après la naissance (Egeli et Framstad, 1999). Cependant, plus l'animal est jeune, plus ses réserves en vitamine E et sélénium sont faibles ce qui constitue un facteur favorisant les effets toxiques de l'administration de fer. C'est pour ces raisons que Yu recommande une injection de fer de 200 mg à trois jours d'âge (Yu et al. 2002). Les posologies figurant dans les RCP préconisent de réaliser l'injection dans les trois premiers jours de vie (Tableau VI).

Administration par la voie injectable et par l'alimentation

Même si l'injection de fer à prouver son efficacité, certains auteurs constatent dans leur étude qu'elle ne permet d'avoir des résultats hématologiques corrects que si elle est accompagnée d'une supplémentation en fer dans l'alimentation soit à une dose de 300 mg (Dove et Haydon 1991), soit sous forme de prémix mélangeant alimentation de la mère, paille et terre (Payne et al. 2005). Plus récemment, Staron observe qu'avec une administration de 40 mg de fer via l'alimentation augmente la concentration en hémoglobine, le TIBC (Total Iron Binding Capacity), le fer sérique et le fer non héminique au sevrage des porcelets (Staroń et al. 2015).

En conclusion, en production porcine, en bâtiment, l'injection de fer reste le moyen de prévention le plus répandu pour prévenir l'anémie du porcelet avec un dosage de 200 mg de fer dextran ou de fer gleptoferron qui se réalise vers 3 ou 4 jours d'âge.

Tableau V : Avis sur la seconde injection de fer selon les auteurs

Auteurs	Avis	Dose/date/mode de complémentation	Arguments
(Maner, Lowrey, et Pond 1959)	Pour	100 mg à 3 jours et à 10 jours d'âge	Effet positif sur les paramètres hématologiques
(Von Bollwahn et Knörl 1983)	Pour	Seconde injection à 3 semaines d'âge	Effet positif sur la croissance
(Kamphues, Manner, et Netzler 1992)	Pour	Seconde injection de 200 mg à 21 jours	Effet positif sur les performances de croissance avant et après le sevrage
(Bruininx et al. 2000)	Pas d'intérêt à la double injection	200 mg à 3 jours d'âge et à 21 jours	Pas d'effet sur les performances de croissance des porcelets Les paramètres hématologiques sont plus élevés durant les six premiers jours suivant le sevrage puis les valeurs sont similaires.
(Haugegaard, Wachmann, et Kristensen 2008)	Pour	Seconde injection de 200 mg à 21 jours	Effet positif sur le nombre de globules rouges 25 g de GMQ supplémentaires
(Jolliff and Mahan 2011)	Contre	2 injections de fer dextran : 200 mg à la naissance et 100 mg à 10 jours	100 mg de fer ne sont pas réellement nécessaires durant la période d'allaitement des porcelets pour augmenter les performances de croissance (le niveau de fer alimentaire après le sevrage sera plus efficace)
	Pour		Paramètres hématologiques augmentés (hémoglobine et hématocrite)
(Starzyński et al. 2013)	Pour	200 mg à 3 jours et à 14 jours d'âge	Limite les effets négatifs sur l'absorption du fer liés à un accroissement important de l'hepcidine

Tableau VI : Les principaux fer administrés par voie injectable sur le marché du médicament vétérinaire (liste non exhaustive)

Nom déposé	Nature de produit	Laboratoire	Nature du solvant	Temps de résorption	Dose de fer par mL	Posologie recommandée par l'AMM
Ferro 2000 [®]	Dextran	Coophavet	Phénol (aqueux)	60 % après 3 jours suivant l'injection et 90 % après 1 à 3 semaines	200 mg	200 mg dans les 3 jours après la naissance
Cofafer [®]					100 mg	100 à 200 mg dans les 3 jours après la naissance
Dextrofer [®]	Qalian	Rapidement et totalement absorbée		100 mg	100 à 200 mg dans l'un des premiers jours de vie	
Fer Dextran B12		Dextran + Vitamine B12		95 % dans les 24 heures	200 mg	200 mg dans les 3 jours après la naissance
Gleptosil [®]	Gleptoferron	Ceva		100 % dans les 3 jours suivant l'injection	200 mg	200 mg dans les 3 jours après la naissance
Previon [®]		Hipra				

3.6. Les risques potentiels associés à la supplémentation en fer

L'administration de fer non raisonnée peut néanmoins avoir des conséquences négatives. En effet, quelques cas sporadiques de toxicité du fer chez le porcelet nouveau-né ont été répertoriés (M. Svoboda et Drábek 2005). Ceci s'explique par le fort **caractère pro-oxydant du fer**. En effet, celui-ci est capable de catalyser la conversion du peroxyde d'hydrogène en radicaux libres, ROS (Reactive Oxygen Species) (Oliveira, Rocha, et Fernandes 2014).

On parle d'état de **stress oxydant** en cas d'un excès de ROS ou quand les défenses antioxydantes sont insuffisantes (ex : une carence en vitamine E et en sélénium). La **carence en vitamine E et sélénium** serait le facteur principal impliqué dans la toxicité du fer (M. Svoboda et Drábek 2005). Effectivement, lorsqu'un animal présente un déficit en vitamine E et qu'on lui injecte du fer, ce dernier peut avoir un impact négatif, en dégradant les membranes cellulaires, les protéines et l'ADN (M. Svoboda et Drábek 2005; Perri 2015).

La toxicité ferreuse se manifeste aussi chez le porcelet par **une augmentation du potassium sérique** (en raison de la libération du potassium par les muscles endommagés autour du site d'injection). Le porcelet peut sembler affaibli, avoir des tremblements musculaires suivis de convulsions et parfois des troubles respiratoires (M. Svoboda et Drábek 2005). Il a été suggéré dans les cheptels où le cas se présentait régulièrement, d'injecter de la vitamine E, 24 heures après l'injection de fer pour éviter des effets indésirables (M. Svoboda et Drábek 2005).

Afin d'explorer le stress oxydant de l'animal, plusieurs tests peuvent être faits afin d'évaluer la capacité du sang à faire face à l'oxydation (Buchet 2018) :

- **BAP** (Biological Antioxidant Potential) : potentiel biologique antioxydant
- **TEAC** (Total Equivalent Antioxidant Capacity) : capacité équivalente en antioxydants
- **ORAC** (Oxygen Radical Absorbance Capacity) : capacité d'absorption radicale de l'oxygène
- **FRAP** (Ferric Reducing Ability of Plasma) : capacité de réduction ferrique du plasma
- **dROM** : permet de connaître la concentration en hydroperoxydes générés par la peroxydation des lipides, des protéines et des acides nucléiques.

D'autre part, si l'administration de fer est réalisée de façon systématique aux porcelets dans un contexte inflammatoire, il peut y avoir une surcharge en fer. En effet, lors d'**anémie inflammatoire**, le fer est **séquestré dans les cellules**, et ne peut plus être utilisé par les cellules de l'organisme. Lorsque le processus inflammatoire est terminé, le fer est relargué massivement dans la circulation sanguine ce qui induit **une surcharge en fer** provoquant un stress oxydant pour l'organisme (Jaillardon 2019).

3.7. D'autres facteurs peuvent faire varier la concentration en hémoglobine chez les porcelets

Par ailleurs, d'autres facteurs semblent intervenir sur la concentration en hémoglobine des porcelets.

La **corpulence des animaux** est une caractéristique qui a fait l'objet de plusieurs études. En effet, les animaux les plus lourds au sevrage auraient un nombre de globules rouges, une concentration en hémoglobine, un hématokrite et un taux de fer sérique plus faible que les autres (Jolliff et Mahan 2011; Perri 2015; Bhattarai et Nielsen 2015). Ce phénomène est expliqué par les auteurs en se basant sur le fait que la supplémentation allouée aux porcelets est la même quelle que soit la masse de celui-ci, or le volume sanguin n'est pas le même (Perri 2015; Jolliff et Mahan 2011). La concentration en hémoglobine sera proportionnellement plus élevée chez un porcelet plus léger (Perri 2015).

L'effet truie a été également étudié. Son alimentation et sa supplémentation en fer durant sa gestation est également un sujet portant à controverse.

Différents protocoles ont été testés :

- En 1978, Lillie a supplémenté des truies en fer et/ou en cuivre à différentes doses dans leur alimentation. Ses résultats montrent que le fer n'aurait pas d'influence sur le poids de naissance des porcelets ni sur les paramètres hématologiques des truies. En revanche, l'interaction du cuivre et du fer aurait un effet positif sur l'hématocrite et la concentration plasmatique en cuivre et en fer chez les porcelets. Toutes les valeurs hématologiques sont plus élevées sur un porcelet âgé de trois semaines par rapport à un porcelet à un jour d'âge (Lillie 1978).
- En 2005, Wei a comparé des aliments destinés à des truies. L'un enrichi en fer provenant d'un amino acide complexe et l'autre enrichi en fer $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dosé à 120 mg/kg pour chacun des aliments. Les paramètres hématologiques sont plus élevés chez les porcelets issus d'une mère ayant bénéficiée d'une supplémentation en fer provenant d'un amino acide complexe que chez ceux dont la mère a reçu un supplément en fer classique. Cependant, cette supplémentation dans l'alimentation de la mère ne remplace pas l'injection de fer aux porcelets afin de les prémunir de l'anémie (Wei et al. 2005).
- Quelques années plus tard, Wang fit le même constat en distribuant à des truies un aliment enrichi en fer organique et à d'autres un aliment contenant du fer classique (Wang et al. 2014).
- En 2010, Hugues Perrin a supplémenté 510 truies avec une injection de Gleptosil[®] à 7 et 4 semaines avant la mise bas. La supplémentation en fer et les différentes concentrations en hémoglobine des truies n'ont pas montré d'effets positifs sur les performances de reproduction (nés totaux, nés vivants ou sevrés à 3 semaines), ni sur les performances de croissance et la concentration en hémoglobine des porcelets (Perrin 2010).
- Plus récemment, en 2017, une supplémentation orale en fer (ajout de 256 mg/kg de DM) a été effectuée durant toute la durée de la gestation avec un effet notable sur la taille et le poids de la portée. Cependant, les porcelets étaient anémiés avec une concentration en hémoglobine est de 89 g/L, ce qui n'est pas élevé (Buffler, Becker, et Windisch 2017).

BILAN SUR L'ANEMIE DU PORCELET :

- L'anémie est définie par une **baisse de la concentration en hémoglobine** en deçà des valeurs usuelles
- L'anémie est un syndrome à l'origine de tachycardie, tachypnée, pâleur des muqueuses et dégradation des performances de croissances des animaux
- La cause majeure d'anémie chez le porc est l'anémie **ferriprive** caractérisé par une faible **concentration en hémoglobine, une microcytose, une hypochromie et une faible réticulocytose**
- L'anémie ferriprive est liée à de **faibles réserves en fer** du porcelet à la naissance associée à un **lait maternelle carencé** naturellement et des **besoins de croissance importants**
- L'anémie peut être également d'origine **inflammatoire** induisant une séquestration du fer dans les cellules.
- Les protéines inflammatoires majeures chez le porc sont la SAA, l'**haptoglobine** et la PigMAP
- Le moyen de prévention le plus répandu de ce syndrome est l'**administration de fer** par voie **orale** ou **injectable**. L'efficacité de l'administration par voie orale est discutable. En pratique l'injection de fer est fréquemment utilisée.
- L'administration du fer peut avoir des effets nocifs sur l'organisme dû à son caractère pro-oxydant.
- Plusieurs autres facteurs influent sur la concentration en hémoglobine chez le porcelet : l'**environnement**, la **corpulence** de l'animal, les modalités d'administration

Deuxième partie :
Analyse des
paramètres sanguins
chez le porcelet au
sevrage en agriculture
biologique

Le porcelet possède de faibles réserves en fer à la naissance, le lait maternel est naturellement carencé et ses besoins sont élevés dû à une croissance rapide. Pour ces raisons, au sevrage, les porcelets peuvent présenter une anémie par carence en fer, entraînant une diminution de la synthèse d'hémoglobine. Cette anémie peut néanmoins être multifactorielle, notamment en lien avec le profil inflammatoire des animaux. En effet, lors d'inflammation, une anémie est observée, dont le mécanisme majoritaire est lié à une séquestration du fer sous l'action de l'hepcidine.

Les conséquences sanitaires et économiques de ce syndrome anémique ne sont pas anodines avec une dégradation des performances de croissance et potentiellement une sensibilité accrue des porcelets à certaines maladies.

En élevage biologique, contrairement à l'élevage conventionnel, une administration de fer sous forme injectable n'est pas systématique puisqu'elle est considérée de façon aléatoire par les organismes certificateurs comme un traitement allopathique. Pourtant, selon les connaissances actuelles, il semblerait indispensable de compléter en fer les porcelets élevés en bâtiment. Lorsque les animaux sont élevés en plein air, le comportement de fouissage des animaux semble suffire pour éviter une carence martiale, mais peu de données sont disponibles. D'autre part, la santé en élevage porcin biologique, en particulier le contexte inflammatoire et les conséquences néfastes potentielles d'une surcharge en fer, fait l'objet de très peu de publications.

Plusieurs hypothèses peuvent être avancées à ce stade :

- Il existe une différence quant aux paramètres hématologiques, profil inflammatoire et niveau de stress oxydant entre les porcelets issus des différents systèmes d'élevage (plein air ou bâtiment)
- Il existe une différence quant aux paramètres hématologiques, profil inflammatoire et niveau de stress oxydant selon la forme de fer administrée

Ainsi, l'objectif principal de cette étude est de comparer les paramètres hématologiques, l'état inflammatoire et le stress oxydant selon les systèmes d'élevage et la forme de fer administrée.

1. Matériel et méthodes

Le protocole a été approuvé par le Comité d'Ethique en Recherche clinique et épidémiologique Vétérinaire d'Oniris (CERVO) avec le numéro de validation éthique CERVO_2018_15_V.

1.1. Description de la population étudiée

1.1.1. Critères d'inclusion des élevages dans l'étude

1.1.1.1. Les pratiques d'élevage

Les porcelets inclus dans l'étude sont issus de 20 élevages biologiques, environ la moitié élevés en plein air (n=11) et les autres en bâtiment (n=9). Ces élevages ont été pré-sélectionnés par leurs vétérinaires traitants avec lesquels cette étude a été menée en collaboration, à savoir Dr. Vincent Muller et Dr. Gwendoline Hervé.

Concernant les pratiques d'administration du fer, nous avons souhaité avoir une hétérogénéité dans les modalités, aussi bien du point de vue du mode d'administration (injectable ou apport par le sol), qu'au niveau de la forme (dextran ou gleptoferron) ainsi que de la dose administrée (Tableau VII).

Les porcelets qui sont élevés en :

- Bâtiment ont reçu :
 - Aucune administration de fer (1/9)
 - Une administration de 100 mg de dextran (1/9)
 - Une administration de 200 mg de dextran (4/9)
 - Une administration de 200 mg de gleptoferron + accès à de la tourbe de la naissance jusqu'à 10 jours d'âge (1/9)
 - Une administration de 200 mg de gleptoferron (2/9)

- Plein air ont reçu :
 - Aucune administration de fer (10/11)
 - Une administration de 200 mg de fer gleptoferron (1/11)

Les âges d'administration du fer varient de la naissance à sept jours d'âge avec plus de la moitié des éleveurs réalisant l'administration de fer à trois ou quatre jours (5/9) conformément à ce que l'on trouve dans la littérature et les recommandations faites par les fabricants de fer injectable.

Lorsque les porcelets étaient élevés en plein air, l'éleveur a été questionné sur le type de sol de son exploitation (Tableau VII). Cependant, aucune analyse n'a été réalisé sur le substrat.

1.1.1.2. Situation géographique

Les exploitations sont situées dans un rayon de 200/250 km autour de Nantes (Annexe 1). En effet, un délai de quatre heures maximum devait être respecté entre le début des prélèvements et l'analyse au laboratoire à Oniris (LabONIRIS). Chez le porc, au-delà de quatre heures, une cytolysse des hématies apparaît ainsi qu'une importante formation d'agrégats plaquettaires (Données non publiées, LabONIRIS). Par conséquent, une erreur lors du comptage cellulaire réalisé avec l'analyseur pourrait subvenir.

1.1.1.3. Statut sanitaire

Le statut sanitaire des élevages sélectionnés a été renseigné sur la base du BSE (Bilan Sanitaire d'Elevage) et un questionnaire. Les élevages à problèmes sanitaires récurrents ont été exclus de l'étude.

Tableau VII : Les pratiques d'élevages concernant la supplémentation en fer

Nom de l'élevage	Mode de logement	Supplémentation en fer			
		Mode d'administration	Forme de fer administrée	Dose administrée (en mg)	Age d'administration
O	Bâtiment	Aucune supplémentation			
K	Bâtiment	Injectable	Dextran	100	3 jours
A	Bâtiment	Injectable	Dextran	200	3 jours
B	Bâtiment	Injectable	Dextran	200	3 jours
C	Bâtiment	Injectable	Dextran	200	4/5 jours
R	Bâtiment	Injectable	Dextran	200	1 jour
E	Bâtiment	Injectable + tourbe	Gleptoferron	200	A la naissance (injection) + distribution de tourbe de la naissance à 10 jours
F	Bâtiment	Injectable	Gleptoferron	200	1 jour
J	Bâtiment	Injectable	Gleptoferron	200	3 jours
D	Plein air	Sol (argileux)			
G	Plein air	Sol (limoneux sur sous-sol de schiste)			
H	Plein air	Sol (limoneux / argileux)			
I	Plein air	Sol (sableux)			
L	Plein air	Sol (sablo- limoneux sur sous-sol de schiste ferrigineux)			
M	Plein air	Sol (sablo-limoneux sous-sol granitique)			
N	Plein air	Sol (sableux / argileux sur sous-sol granitique)			
P	Plein air	Sol (?)			
Q	Plein air	Sol (sablo-limoneux)			
T	Plein air	Sol (sablo-limoneux très riche en fer)			
S	Plein air	Injectable	Gleptoferron + Sol	200	7 jours

1.1.2. [Les animaux prélevés : des porcelets au sevrage](#)

Dans les élevages visités, le sevrage était programmé à 42 jours (n= 18) ou à 49 jours (n= 2) en respectant le cahier des charges de l'agriculture biologique. Les prélèvements ont été réalisés au moment du sevrage autant que possible. En effet, pour des raisons d'emploi du temps et du statut sanitaire de certains élevages (7 élevages sont indemnes de mycoplasmes), les prises de sang ont été réalisées entre six jours avant le sevrage et jusqu'à 18 heures après le sevrage (n=1) (Tableau IX) .

Nous avons choisi de prélever 30 porcelets par élevage. Théoriquement, 600 échantillons auraient dû être collectés. Pour différentes raisons (taille de bande insuffisante, ou quantité de sang prélevée trop faible ou présence de caillots sanguins dans le tube EDTA), 584 échantillons ont pu être collectés et 568 ont été analysés. Les échantillons présentant une hémolyse trop importante ont été écartés. La prise de décision concernant l'analyse de l'hémolyse a été faite en utilisant des critères macroscopiques, tous les échantillons inférieurs au stade ++ ont été conservés (Annexe 2) .

Le protocole prévoyait de prélever les porcelets appartenant à :

- 2 portées issues de cochettes
- 3 portées issues de truies entre la 2^{ème} et la 5^{ème} portée
- 2 portées issues de truies ayant un rang de portée supérieur à 6

Cependant, deux élevages ayant été créés récemment (A et R), les truies sont de 2^{ème} ou 3^{ème} rang de portée maximum. Les prises de sang ont donc été faites sur la progéniture des truies, réparties de manière équitable selon leur parité. La répartition théorique n'a pas été celle effectuée en pratique dans les élevages E, G, J, L et O (absence porcelets issus de cochettes ou de truies ayant un rang de portée supérieur à 6 dans la bande prélevée ou en nombre insuffisant) (Tableau IX).

Dans chaque portée, le protocole prévoyait de collecter quatre porcelets dont au moins une femelle de faible poids, une femelle de poids élevé, un mâle de faible poids et un mâle de poids élevé, les deux derniers porcelets étaient pris au hasard dans l'une des sept portées retenues. Ce poids était estimé rapidement de façon visuelle au moment d'attraper le porcelet.

Ces critères de sélection visaient à rendre possible l'analyse de facteurs de variation intra-élevage tels que le sexe, la corpulence des animaux et le rang de portée des mères.

1.1.3. [Prise de contact avec les éleveurs et recueil d'informations zootechniques et sanitaires concernant l'élevage](#)

Après sélection des 20 élevages, les vétérinaires traitants ont présenté brièvement l'étude aux éleveurs en leur mentionnant qu'ils allaient être contactés dans les jours qui suivaient afin d'expliquer plus en détails le protocole et le projet dans lequel il s'inscrit ainsi que de convenir d'un rendez-vous et de répondre aux questions.

Les contacts téléphoniques ont été réalisés durant le mois de janvier 2019. Durant les appels, le projet a été expliqué aux éleveurs (contexte, objectifs, protocole expérimental). Dans les élevages en plein air ou les élevages en bâtiment où un mélange entre les portées pouvait être observé, des dispositifs de traçabilité devaient être mis en place avant le jour du prélèvement. Au cours de cet appel, les rendez-vous ont été pris en fonction des jours de sevrage des éleveurs, de leurs disponibilités et des contraintes sanitaires.

A la suite de cet appel, un mail ou un courrier a été envoyé aux éleveurs avec un résumé écrit du projet ainsi qu'un rappel de la date du rendez-vous. Il a été rajouté, en pièce jointe, le protocole expérimental détaillé (Annexe 3) , un consentement éclairé (Annexe 4) et le questionnaire permettant de recueillir des informations zootechniques et sanitaires sur leur élevage.

Avant le jour du prélèvement, les BSE (Bilan Sanitaire d'Elevage) des éleveurs, réalisés par leurs vétérinaires traitants, ont été consultés afin de mieux connaître le statut sanitaire des élevages.

Lors du rendez-vous, un questionnaire préalablement envoyé a été rempli avec l'éleveur (Annexe 5) . Les données zootechniques, sanitaires et les pratiques d'élevages, notamment vis-à-vis de la supplémentation en fer, ont été précisées.

Pour chaque élevage, une lettre de A à T a été attribuée pour les rendre anonymes. Les porcelets de chaque élevage étaient numérotés de 1 à 30.

1.2.Méthodes de prélèvements

1.2.1. Bouclage des animaux

Afin de garantir la filiation des porcelets, les porcelets élevés en plein air ou en bâtiment avec la possibilité de se mélanger entre les portées ont été bouclés. Le bouclage a été réalisé par les éleveurs lors des soins aux porcelets (castration ou injection de fer) vers 7 jours d'âge (élevage S en plein air). Ainsi chaque porcelet possédait une boucle auriculaire avec un numéro individuel se rapportant à sa mère.

1.2.2. Réalisation des prises de sang

Les prélèvements sanguins ont été réalisés chez les porcelets au niveau de la veine jugulaire droite ou gauche. Un premier opérateur maintenait le porcelet sur le dos en lui tenant les membres antérieurs écartés et en bloquant le reste du corps avec le coude. Le second opérateur réalisait le prélèvement (Figure 9).

Le prélèvement s'effectuait à l'aide d'une aiguille 20 G *0,9 mm * 1,25 mm (aiguille courte), d'un guide et d'un tube. Le protocole prévoyait de prélever deux tubes de 4 mL, un tube EDTA et un tube sec, de marque (VACUTEST® PLAST, Italie) ont été prélevés pour chaque animal.



Figure 9 : Photographie d'une prise de sang à la veine jugulaire (source personnelle)

Les informations individuelles sur les animaux (sexe, corpulence, parité de la mère) ont été répertoriées sur une feuille d'accompagnement des prélèvements (Annexe 6). Sur cette feuille, toutes informations relatives aux prélèvements ont été précisées telle que par exemple une prise de sang longue ou difficile.

1.2.3. Pesée

Une fois les prélèvements sanguins réalisés, l'animal était ensuite pesé à l'aide d'un peson de marque Kern and sohn® (HDB 30 K-2XL) et d'un grand sac cabas (Figure 10). Le peson a une capacité de mesure allant jusqu'à 30 kg. Le poids est mesuré au dixième de grammes. La fonction « hold » permet de réaliser 16 mesures dans un laps de temps très court et d'afficher la mesure moyenne du poids de l'animal la plus précise possible.



Figure 10 : Photographie de la pesée d'un porcelet (source personnelle)

1.2.4. Transport, traitement et conservation des échantillons

Après avoir effectué les prélèvements, les tubes sont placés dans des portoirs puis mis dans une glacière avec des pains de glace, le temps du trajet. Une fois arrivés au laboratoire, les tubes EDTA sont homogénéisés pendant cinq minutes avant de réaliser les numérations de formules sanguines.

Une fois les numérations formules sanguines réalisées, les tubes EDTA sont centrifugés. Le plasma récupéré de chaque porcelet est réparti en trois aliquots de 300 µL (un pour le dosage de l'haptoglobine et deux pour des réserves pour l'INRA de Saint Gilles et LabOniris). Quant aux tubes secs, ils sont également centrifugés puis le sérum de chaque porcelet était réparti en quatre aliquots de 300 µL (un pour le dosage du fer sérique, un pour le dosage du stress oxydatif : dROM et BAP, un pour le dosage des protéines totales et l'électrophorèse des protéines et un pour LabOniris). Une fois les aliquots réalisés, ils sont conservés au congélateur à -20 °C, dans l'attente des analyses.

1.2.5. La biosécurité

Lorsque les élevages étaient indemnes de mycoplasmes, un délai de carence de 48 heures sans visiter d'autre élevage de porcs au préalable devait être respecté. Par ailleurs, les tenues des opérateurs étaient soit des tenues de l'élevage soit des tenues jetables ou alors une tenue propre lavée et désinfectée (cotte et botte). Nous avons privilégié le matériel de l'élevage lorsque celui-ci était disponible. De plus, le peson et le sac cabas étaient lavés et désinfectés entre deux élevages. Le matériel de prélèvement sanguin était à usage unique. Enfin, la voiture n'était pas garée à proximité des bâtiments d'élevage.

1.2.6. Analyses sanguines

1.2.6.1. Numérations de formules sanguines (NFS) et frottis sanguins

A partir des tubes EDTA, des NFS ont été réalisées dans les quatre heures suivant les prélèvements. Un analyseur automatique a été utilisé (ProCyte DX[®], IDEXX, Luxembourg). Cet analyseur combine trois technologies à savoir (IDEXX, s. d.) :

- La cytométrie en flux par laser
- La fluorescence optique
- L'impédance en flux laminaire (les cellules sont alignées une par une pour permettre une meilleure caractérisation individuelle)

Les données relatives à la numération formule sanguine que nous avons utilisées par la suite, sont les suivantes :

- Concentration en hémoglobine (Hb)
- Numération érythrocytaire (GR)
- Hématocrite (Ht)
- Volume Globulaire Moyen (VGM)
- Teneur Corpusculaire Moyenne en Hémoglobine (TCMH)
- Concentration Corpusculaire Moyenne en Hémoglobine (CCMH)
- Numération réticulocytaire
- Concentration en hémoglobine contenue dans les réticulocytes

En complément des NFS, des frottis sanguins ont été réalisés.

1.2.6.2. Dosage du fer total sérique

Le fer total sérique a été dosé à partir du sérum décongelé grâce à des kits commerciaux (Iron, Thermo Scientific, Finlande). Ce dosage a été réalisé à l'aide d'un analyseur automatique, spectrophotomètre à filtres interférentiels (Konelab 20i, Thermo Scientific). Le fer est libéré de sa protéine transporteuse par un tampon guanidine. L'acide ascorbique est utilisé pour réduire le fer ferrique en fer ferreux, qui forme un produit coloré avec le Ferene S. Ensuite, l'intensité de la coloration est mesurée à 600 nm.

1.2.6.3. Evaluation du stress oxydant : dROM et BAP

Les hydroperoxydes et la capacité antioxydante du sérum ont été dosés à partir de kits commerciaux (Test dROM et BAP, Diacron, Grosseto, Italie) avec un spectrophotomètre à filtres interférentiels automatique (Konelab 20i, Thermo Scientific).

Le Test dROM a mesuré la concentration en hydroperoxydes. En présence du fer qui a été libéré par les protéines plasmatiques sous l'action d'un tampon acide (100µL), les hydroperoxydes ont produit des radicaux alkoxy et peroxy qui ont été oxydés par un substitut d'animes aromatiques produisant un dérivé de coloration rose détectable à 505nm. L'unité de mesure est le CARRU (Buchet 2018).

Le Test BAP a mesuré la capacité antioxydante du plasma grâce à une solution contenant du chlorure de fer et un dérivé de thiocyanate qui est ajouté à l'échantillon. L'intensité de la décoloration reflète la capacité du plasma à réduire les ions ferriques en ions ferreux. Le BAP est exprimé en µmol/L de vitamine C qui a servi d'agent de référence de réduction du fer (Buchet 2018).

1.2.6.4. Dosage de l'haptoglobine

La concentration plasmatique de l'haptoglobine a été dosée grâce à des kits commerciaux (Phase Haptoglobin Assay T801 ; Tridelata Ltd, Maynooth, Ireland) avec un spectrophotomètre à filtres interférentiels (Konelab 20i, Thermo Scientific). L'haptoglobine présente dans l'échantillon s'est combinée avec l'hémoglobine et, à un pH bas, a préservé l'activité de la peroxydase de l'hémoglobine liée. La préservation de l'activité peroxydase de l'hémoglobine est directement proportionnelle à la quantité d'haptoglobine présente dans l'échantillon. Il s'agit d'un dosage colorimétrique (Tridelata Development Limited, s. d.) dont la reproductibilité et la répétabilité est bonne (coefficient de variation d'environ 5%). Cependant, l'hémolyse peut interférer fortement avec les résultats du dosage.

1.3. Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel R (R version 3.5.3). Les hypothèses sur les effets du système d'élevage et du type de fer sur la concentration en hémoglobine, l'hématocrite, la numération globulaire, le VGM, la TCMH, la CCMH, la numération réticulocytaire, la quantité d'hémoglobine dans les réticulocytes, le fer total sérique, le BAP, le dROM et l'haptoglobine ont été testées grâce à des ANOVA mixtes de type 3 (effectifs déséquilibrés), à l'aide de la fonction « lmer » (package « lme4 ») et de la fonction « Anova » (package « car »). Le type de fer figurait en effet fixe, et l'effet de l'élevage et des porcelets (leur identifiant) en aléatoire (pour mieux prendre en compte les particularités de certains élevages pour ainsi diminuer la résiduelle du modèle). Pour tous les paramètres mesurés, nous avons en plus testé l'effet du sexe et du sexe en interaction avec le type de fer et le système d'élevage.

2. Résultats

2.1. Description de la population et des pratiques d'élevage

2.1.1. Les types de logement et activités des élevages

Sur les 20 élevages sélectionnés, neuf étaient en bâtiment et onze en plein air (Tableau VIII). Depuis février 2019, l'élevage O est passé en bâtiment. Les prélèvements ont été réalisés sur la première bande élevée dans ces conditions environnementales. Les élevages F et G correspondent à un seul et même éleveur ayant deux sites, un en bâtiment (F) et un en plein air (G).

En ce qui concerne l'activité des éleveurs, sept d'entre eux ont une activité de naisseur exclusivement, un est naisseur/ post-sevreur, onze sont naisseurs/ engraisseurs et un éleveur est naisseur/ engraisseur avec une activité de multiplicateur.

Les porcelets sevrés avaient généralement 42 jours d'âge en théorie sauf pour deux élevages (L et M) qui réalisaient un sevrage à 49 jours en moyenne.

2.1.2. La démographie des élevages

Les élevages sélectionnés avaient un nombre de truies très variable, allant de 25 à 400 truies (Tableau VIII).

Le nombre de bandes par élevage était également variable, de 3 à 23 bandes. Cependant, une majorité d'éleveur (12/20) fonctionnait avec une conduite en quatre bandes avec un intervalle entre les bandes de six semaines (Tableau VIII).

La démographie des âges de truies était homogène sauf pour deux élevages, A et R, qui venaient de débiter leur activité et dans lesquels les truies étaient au maximum à leur troisième lactation.

Le nombre d'animaux prélevés pour l'étude dans chaque élevage pour l'étude figure dans le Tableau IX (au total n=584). Dans les 20 élevages sélectionnés, 30 porcelets ont été prélevés sauf pour les élevages B,L,N et P. Les raisons ont été évoquées précédemment.

Tableau VIII : Présentation générale des élevages sélectionnés

Nom de l'élevage	Mode de logement	Type d'élevage (N : Naisseur, N/E : Naisseur/ Engraisseur, PS : Post sevrage)	Age au sevrage	Nombre de truies/ bande	Nombre de bandes
O	Bâtiment	N / E	42	45	4
K	Bâtiment	N		7	4
A	Bâtiment	N / E		5 à 9	7
B	Bâtiment	N / E		10	3
C	Bâtiment	N		30	4
R	Bâtiment	N / E		18	8
E	Bâtiment	N / E		12	4
F	Bâtiment	N / E		14	4
J	Bâtiment	N / E		12	4
D	Plein air	N / E , Multiplicateur		45	4
G	Plein air	N / E		14	4
H	Plein air	N / PS		15 à 18	4
I	Plein air	N		15	7
L	Plein air	N		49	3 à 7
M	Plein air	N / E	15		4
N	Plein air	N	42	15 à 17	23
P	Plein air	N/ E		55	7
Q	Plein air	N		20 à 25	8
T	Plein air	N / E		12	4
S	Plein air	N		10	8

2.1.3. [Les caractéristiques zootechniques des élevages](#)

Les lignées génétiques utilisées dans les élevages sélectionnés sont également diverses (Tableau X). Néanmoins, on a observé une quasi exclusivité de la race piétrain pure pour la lignée mâle (19/20) et une prédominance du croisement Large white * Landrace français pour la lignée femelle (9/20). Cette génétique n'est pas très différente de ce que l'on peut trouver en élevage de porcs conventionnel. Les autres croisements des lignées femelles possédaient une base de landrace français et/ou de large white. Trois éleveurs ont eu une génétique danoise (danbred), dont la lignée possède de grandes qualités maternelles avec une prolificité importante. Deux éleveurs ont choisi d'utiliser des croisements avec des races rustiques dans leur élevage comme le porc blanc de l'ouest (élevage B) et le saddleback (élevage T).

Les éleveurs ont été interrogés sur leurs performances moyennes concernant le nombre de porcelets sevrés par portée. Ce nombre variait de 8 à 12,5 porcelets sevrés par portée.

2.1.4. [Modalités de prélèvement](#)

Les modalités de prélèvement sanguins ont été réalisées dans différentes conditions suivant les élevages (Tableau IX). Le prélèvement a été réalisé le jour exact du sevrage comme prévu dans le protocole pour dix élevages. Pour des raisons d'organisation d'emploi du temps (manipulation des animaux compliquée, départ des animaux chez l'engraisseur, éleveurs sevrant le même jour, vacances des éleveurs...) et de biosécurité, le prélèvement a été réalisé 6 jours (Elevage J), 3 jours (Elevage E, O et R), 2 jours (Elevage C et K), 1 jour (Elevage A, F et G) avant le sevrage et 18 heures après le sevrage (Elevage T) (Tableau IX). La répartition exacte des animaux selon la parité de leurs mères figure dans le Tableau IX.

Tableau IX : Les modalités de réalisation des prélèvements en élevage

Nom de l'élevage	Date de réalisation du prélèvement par rapport au sevrage	Nombre d'animaux prélevés	Modalités de réalisation du prélèvement	Répartition des porcelets entre les portées		
				Issus de cochettes	Issus de truies (2 ^{ème} et 5 ^{ème} rang de portée)	Issus de truies (plus du 6 ^{ème} rang de portée)
O	J - 3 jours	30	Les porcelets sont restés avec leurs mères dans le même environnement	9	21	/
K	J - 2 jours	30		Parité des animaux non connues		
A	J - 1 jour	30		/	30	/
B	J	28	Absence des truies, même environnement	8	12	8
C	J - 2 jours	30	Les porcelets sont restés avec leurs mères dans le même environnement	9	13	8
R	J - 3 jours	30		8	22	/
E	J - 3 jours	30		/	21	9
F	J - 1 jour	30		5	17	8
J	J - 6 jours	30		12	18	/
D	J	30	Dans un nouvel environnement	8	12	10
G	J - 1 jour	30	Dans la remorque du tracteur, en plein air	13	17	/
H	J	30	Dans un nouvel environnement	Parité des animaux non connues		
I	J	30	Dans la remorque du tracteur, en plein air	5	15	10
L	J	18		6	12	/
M	J	30	Dans un nouvel environnement	7	6	17
N	J	29		9	13	7
P	J	28		9	11	8
Q	J	30		20	8	2
T	J + 17 heures	30	Dans un parc en extérieur	10	12	7
S	J	30	Dans un nouvel environnement	8	12	10

2.1.5. [Poids et âges des animaux lors du prélèvement](#)

La date exacte de mise bas n'a été connue que pour cinq élevages. Pour ces élevages où la date exacte de la naissance était connue, les extrêmes (minimum et maximum) ont été indiqués dans le Tableau X. Pour les autres élevages, l'âge au prélèvement a été estimé à partir d'une date unique de mise bas indiquée par l'éleveur lors de la visite. D'autre part, deux éleveurs (Elevage : L et M) ont sevrés leurs animaux à 49 jours d'âge. Finalement, pour des raisons d'organisation, comme mentionné précédemment, la date de prélèvement ne correspondait pas toujours avec la date du sevrage.

Le poids moyen par élevage au prélèvement varie de 8,9 kg à 14,7 kg (Tableau X). La différence entre les élevages est significative ($P < 0,01$).

Nom de l'élevage	Génétique femelle ★	Génétique mâle★	Nombres de porcelets sevrés par portée (performances habituelles) ★	Age en jours des porcelets au prélèvement (moyenne, mini - maxi)	Poids des porcelets en kg mesuré au prélèvement	
					moyenne (+/- SD)	Médiane (min-max)
O	LDR*Yorkshire (Danbred) ou LW * LDR	Piétrain	11	39,73 (37 - 47)	11,1 (3,13)	10,95 (6,54 – 21,76)
K	LW*LDR	Piétrain	10	42	12,5 (2,07)	12,51 (7,94 – 16,15)
A	LDR*Yorkshire (Danbred)	Piétrain	11,5	42	11,7 (2,6)	11,35 (8 – 16,9)
B	Porc blanc de l'ouest * LW	Piétrain * LW (33%)	9,5	44,57 (40 - 50)	14,5 (2,77)	14 (9,6 – 23)
C	LW*LDR	Piétrain	10,5	39,63 (38 - 42)	10,3 (2,37)	9,85 (5,5 – 13,8)
R	LDR*Yorkshire (Danbred)	Piétrain	12,5	39	8,9 (2,26)	9,16 (4,98 – 12,72)
E	LW*LDR * Meishan	Piétrain	11,5	39	13 (2,47)	13 (8- 18,8)
F	LW	Piétrain	10,5	40	10,5 (2,36)	10,18 (6,5 – 14,5)
J	LW	Piétrain	9,5	42	10,8 (2,12)	10,34 (6,4 – 14,58)
D	LW*LDR	Piétrain	10,5	42	13,3 (2,88)	12,95 (8,6 – 20)
G	LW	Piétrain	10,5	40	9,72 (2,25)	9,85 (5,9 – 13,1)
H	LW*LDR * Piétrain	Piétrain	10,3	42	13 (2,77)	13,05 (6,34 – 17,48)
I	LW*LDR	Piétrain	8	42	11,5 (3,42)	10,54 (7,54 – 15,28)
L	LW*LDR	Piétrain	8	49 *	14,3 (2,59)	14,15 (9,26 – 18,14)
M	LW*LDR	Piétrain	9,5	47,97 (45 - 57) *	14,7 (2,57)	14,72 (9,62 – 20,5)
N	LW*LDR	Piétrain	10,8	42	11,8 (2,39)	12,37 (7,2 – 15,46)
P	LW*LDR	Piétrain	11,03	42	13,8 (2,57)	14,29 (8,96 – 17,62)
Q	LW*LDR	Piétrain	10	42	12,09 (2,99)	12,06 (8 – 21,16)
T	LDR * Saddleback	Piétrain	8	45,83 (42 - 54)	12,3 (3,65)	12,96 (5,96 - 16)
S	LW*LDR	Piétrain	9	42	11,2 (2,30)	11,11 (6,76 - 18,06)

Tableau X : Caractéristiques zootechniques des élevages

*: sevrage à 49 jours ★ d'après les éleveurs--- LW : Large White ---- LDR : Landrace

2.1.6. Les pratiques d'élevages relatives à l'alimentation et l'eau de boisson

2.1.6.1. Alimentation

En majeure partie, les éleveurs ont acheté leurs aliments destinés aux truies (16/20) (Tableau XI). Seulement quatre éleveurs ont fabriqué leurs aliments à la ferme (B, F, G et K). L'alimentation en lactation ou en gestation n'était pas la même sauf pour deux éleveurs (L et T) qui ont donné un aliment unique pour tous les stades physiologiques de leurs truies.

Tous les éleveurs ont mis à disposition des porcelets un aliment solide sous la mère en majorité à partir de trois semaines (11/20). Pour deux élevages, l'information sur la nature de l'aliment manque. La nature de l'aliment était différente selon les éleveurs : soit de l'aliment 1^{er} âge (6/18) ; soit du 2^{ème} âge (6/18) ; soit de l'aliment nourrain (1/18) ; soit l'alimentation de la mère (5/18).

2.1.6.2. L'eau de boisson

L'eau de boisson a été en majorité celle du réseau (13/20) (Tableau XI). D'autres éleveurs ont utilisé de l'eau provenant d'un forage (5/20) ou d'un puits de surface (2/20). Dans quelques cas (3/20), l'eau a été déferrisée.

Un traitement sur l'eau de boisson a pu être observé chez certains éleveurs (8/20), en utilisant du peroxyde (1/8) ou du chlore (7/8).

Tableau XI : Pratiques d'élevages relatives à l'alimentation et à l'eau de boisson

Nom de l'élevage	Alimentation de la truie gestante	Alimentation de la truie en lactation	Alimentation porcelets		Origine de l'eau * : déferrisation	Traitement de l'eau
	Nature	Nature	Type d'aliment	Age de début distribution		
O	Achat aliment gestante	Achat aliment allaitant	1 ^{er} âge	4-5 jours	Eau de forage	Chlore
K	Fabrication à la ferme	Fabrication à la ferme	1 ^{er} âge	3 semaines	Eau du réseau	Chlore
A	Achat aliment gestante	Achat aliment allaitant	2 ^{ème} âge	3 semaines	Eau du réseau	Aucun
B	Achat aliment gestant	Fabrication à la ferme	Nourrain	3 semaines	Eau du réseau	Chlore
C	Achat aliment gestante	Achat aliment allaitant	Aliment de la mère sauf pour les portées nombreuses : 1 ^{er} âge	2 semaines	Eau du réseau	Aucun
R	Achat aliment gestante	Achat aliment allaitant	1 ^{er} âge	3 semaines	Eau du réseau	Aucun
E	Achat aliment gestante	Achat aliment allaitant	?	8 jours	Eau du réseau	Aucun
F	Fabrication à la ferme	Fabrication à la ferme	1 ^{er} âge puis mélange avec le 2 ^{ème} âge	3 semaines	Eau du réseau	Aucun
J	Achat aliment gestante	Achat aliment allaitant	Aliment de la mère	2 semaines	Eau de forage *	Aucun
D	Achat aliment gestante	Achat aliment allaitant	2 ^{ème} âge	3 semaines – 1 mois	Eau du réseau	Peroxyde
G	Fabrication à la ferme	Fabrication à la ferme	1 ^{er} âge puis mélange avec le 2 ^{ème} âge	3 semaines	Eau du réseau	Aucun
H	Achat aliment gestante	Achat aliment allaitant	2 ^{ème} âge	4 semaines	Eau du réseau	Aucun
I	Achat aliment gestante	Achat aliment allaitant	Aliment de la mère	4 semaines	Eau de forage	Chlore
L	Achat aliment truie unique	Achat aliment truie unique	Aliment de la mère	Depuis la naissance	Eau du réseau	Aucun
M	Achat aliment gestante	Achat aliment allaitant	2 ^{ème} âge	3-4 semaines	Eau de puits de surface	Chlore
N	Achat aliment gestante	Achat aliment allaitant	2 ^{ème} âge	4 semaines	Eau de forage	Chlore
P	Achat aliment gestante	Achat aliment allaitant	?	3 semaines	Eau du réseau	Aucun
Q	Achat aliment gestante	Achat aliment allaitant	1 ^{er} âge	3 semaines	Eau de puit de surface *	Aucun
T	Achat aliment truie unique	Achat aliment truie unique	2 ^{ème} âge	3 semaines	Eau du réseau	Aucun
S	Achat aliment gestante	Achat aliment allaitant	Aliment de la mère	3 semaines	Eau de forage *	Chlore

2.1.7. [Les pratiques d'élevages autour de la mise bas et celles relatives à l'adoption des porcelets](#)

Les éleveurs biologiques sont très peu interventionnistes en général sauf pour l'éleveur A qui au moment de la mise bas traite les truies et administre 10mL de colostrum aux porcelets. En effet, les mises bas ont été non surveillées ou discrètement par la plupart des éleveurs (14/20), afin de pas perturber les truies durant leur part.

En raison de l'absence d'utilisation d'hormone pour synchroniser les cochettes, les mises bas se déroulent sur une semaine ou plus dans la plupart des cas (13/20).

Des adoptions sont réalisées dans quasiment tous les élevages sauf pour trois d'entre eux qui n'en pratiquent que rarement. Lorsque les éleveurs équilibrent leurs portées en réalisant des adoptions, ils le font entre 6 heures et 48 heures après la naissance, ce qui permet une prise colostrale du nouveau-né avant son changement de portée.

Les pratiques sont résumées dans le Tableau XII.

Tableau XII : Pratiques d'élevages relatives à la mise bas et à l'adoption des porcelets

Nom des élevages	Durée d'étalement des mises bas	Assistance aux mises bas	Gestion des adoptions
O	3 jours	Surveillance des mises bas pour 30 % des truies	Oui après la prise colostrale
K	8 jours	Pas de surveillance	Oui à partir de 48 heures
A	1 semaine	Surveillance des mises bas pour 25 à 30 % des truies	Oui à partir de 48 heures
B	1 semaine	Quasiment jamais	Rarement réalisé
C	1 semaine	Pas de surveillance	Oui à partir de 6 heures
R	5 jours	Surveillance des mises bas pour 30/40 % des truies	Oui à partir de 24 heures
E	5 à 6 jours	Surveillance des mises bas pour 40 % des truies	Oui dès la naissance
F	1,5 semaines	Surveillance discrète	Oui à partir de 48 heures
J	Plus d'une semaine	Pas de surveillance	Oui à partir de 12 heures
D	8 jours	Surveillance discrète	Oui entre la naissance et 3 jours
G	1,5 semaines	Surveillance discrète	Oui à partir de 48 heures
H	4 jours	Surveillance discrète	Oui à partir de 48 heures
I	8 jours	Surveillance discrète	Oui entre 24 et 48 heures
L	1 semaine	Surveillance discrète	Oui à partir de 48 heures
M	1 semaine	Surveillance discrète	Très rarement
N	2 jours	Surveillance discrète	Oui à partir de 12 heures
P	1 semaine	Surveillance discrète	Oui à partir de 24 heures
Q	1 semaine	Surveillance des mises bas pour la plupart	Oui après la prise colostrale
T	3 jours	Surveillance discrète	Rarement
S	1 semaine	Surveillance discrète	Oui à partir de 24 heures

2.1.8. [Les pratiques d'élevages liées à la prophylaxie médicale](#)

2.1.8.1. Vaccination des truies

De manière quasi-systématique (19/20), les éleveurs ont vacciné contre la parvovirose et le rouget comme dans les élevages conventionnels, à l'exception d'un éleveur qui n'a vacciné contre aucune maladie. D'après le RCP du Parvoruvax[®] ou de l'Ery+Parvo[®], la vaccination doit se faire avant la mise à la reproduction des animaux, idéalement une semaine avant le sevrage. Cependant, trois éleveurs ont décalé le moment recommandé de la vaccination en profitant de l'échographie des truies pour les vacciner à ce moment-là. D'autre part, l'éleveur T préfère vacciner huit semaines après la mise bas pour des raisons personnelles.

Un peu moins de la moitié des éleveurs (9 sur 20) ont vacciné contre les diarrhées néonatales dont trois avec la double valence : *Escherichia Coli* et *Clostridium perfringens*, trois semaines avant la mise bas, comme recommandé dans le RCP.

La vaccination contre la rhinite atrophique a été réalisée par trois éleveurs. Le rappel de ce vaccin se réalise idéalement entre deux et quatre semaines avant la mise bas. Chez les éleveurs de l'échantillon, cela n'a pas été le cas.

Par ailleurs, trois élevages sont positifs vis-à-vis du SDRP (Syndrome Dysgénésique Respiratoire Porcin), c'est pourquoi une vaccination régulière est réalisée dans ces élevages.

L'élevage O possède un historique de leptospirose, c'est pourquoi les truies sont vaccinées également contre cette maladie en plus de la parvovirose et du rouget au moment des échographies des truies.

Les pratiques vaccinales sont résumées dans le Tableau XIII.

2.1.8.2. Vaccination des porcelets

Les vaccinations des éleveurs sont variables en fonction de leur statut sanitaire. Certains sont indemnes de mycoplasmes (3/20) ; trois autres éleveurs ont perdu leur statut indemne récemment.

Neuf éleveurs n'ont vacciné pas leurs porcelets soit parce qu'ils sont simplement naisseurs et si une vaccination doit être faite, elle le sera à l'arrivée des porcelets soit parce qu'il y n'y a pas de raisons apparentes à le faire.

Pour les onze éleveurs vaccinant leurs porcelets, cinq vaccinent contre *Mycoplasma hyopneumoniae* entre cinq et six semaines d'âge. Six éleveurs vaccinent contre le circovirus porcin de type 2 (PCV2) au moment du sevrage. D'autres vaccinations sont faites comme celle contre les diarrhées colibacillaires (3/11), ou contre la maladie de l'œdème (3/11), ou le SDRP (1/11) ou le rouget (1/11).

Toutes les pratiques vaccinales sur les porcelets sont récapitulées dans le Tableau XIV.

Tableau XIII : Pratiques d'élevages relatives à la vaccination des truies

Nom des élevages	Les vaccinations des truies					
	Parvovirose Rouget	Colibacillose	Clostridiose	Rhinite atrophique	SDRP	Leptospirose
O	11 sem. ap. MB (écho)					11 sem. ap. MB (écho)
K	3 sem. ap. MB					
A	3 sem. ap. MB	3 sem. av. MB				
B	3 sem. ap. MB					
C	3 sem. ap. MB			5 sem. av. MB		
R	3 sem. ap. MB				Toutes les 15 sem.	
E	2 sem. ap. MB	3 sem. av. MB		5 sem. av. MB	2 sem. ap. MB	
F	6 sem. ap. MB					
J	5 sem. ap. MB					
D	3 sem. ap. MB	3 sem. av. MB				
G	6 sem. ap. MB					
H	11 sem. ap. MB (écho)	3 sem. av. MB				
I	6 sem. ap. MB	3 sem. av. MB	3 sem. av. MB			
L	Aucune vaccination					
M	3 sem. ap. MB					
N	2ème écho	3 sem. av. MB				
P	2 */ an					
Q	6 sem. ap. MB	3 sem. av. MB	6 sem. av. MB	6 sem. av. MB		
T	8 sem. ap. MB	3 sem. av. MB			4 sem. av. MB	
S	5 sem. ap. MB	3 sem. av. MB	3 sem. av. MB			

Tableau XIV: Pratiques d'élevages relatives à la vaccination des porcelets

Nom de l'élevage	Les vaccinations des porcelets					
	Mycoplasmes	Circovirus (PCV2)	Maladie de l'œdème	Diarrhée colibacillaire du sevrage	Rouget	SDRP
O						
K						
A	6 semaines	6 semaines				
B	6 semaines	6 semaines				
C		5 semaines		4 semaines		
R	6 semaines					6 semaines
E	6 semaines	6 semaines				
F		6 semaines		8 jours	Avant sortie de PS	
J	5 semaines	5 semaines				
D			5 jours			
G		6 semaines		8 jours	Avant sortie de PS	
H						
I						
L			Parfois	Parfois		
M						
N	*		5 jours			
P						
Q						
T						
S						

* : élevage indemne de mycoplasmes

2.1.9. [Les pratiques d'élevages liées au parasitisme \(Tableau XV\)](#)

La quasi-totalité des éleveurs (18/20) a utilisé des antiparasitaires sur les truies, le plus souvent avant l'entrée en maternité. D'autre part, onze éleveurs ont administré des antiparasitaires aux porcelets. Les molécules qui ont été utilisées sont de même nature pour les truies et les porcelets.

Les molécules utilisées sont :

- Fenbendazole sous deux formes :
 - Poudre orale :
 - ❖ Panacur 4%[®] (pour les truies : 8/18 – pour les porcelets 3/11)
 - ❖ Curofen[®] (pour les truies :1/18))
 - Suspension à mélanger à l'eau de boisson :
 - ❖ Panacur Aquasol[®] (pour les truies : 7/18 – pour les porcelets : 5/11)
- Flubendazole sous forme de poudre orale à mélanger à l'aliment :
 - ❖ Flubenol[®] (pour les truies : 2/18 – pour les porcelets : 2/11)
- Lévamisole sous forme de suspension buvable (pour les porcelets : 1 /11)

Tableau XV : Les antiparasitaires des truies et des porcelets

Nom de l'élevage	Les antiparasitaires des truies		Les antiparasitaires des porcelets		
	Fenbendazole (Panacur 4% [®] ou Panacur aquasol [®] ou Curofen [®])	Flubendazole (Flubenol [®])	Fenbendazole	Flubendazole	Lévamisole
O	Tous les 6 mois				
K	1 sem. avant entrée en maternité				
A	En maternité		Avant sortie de PS		
B					
C					
R	Tous les 3 mois			Toutes les 6 semaines	
E	1 sem. avant MB				1 semaine et 1 mois après l'entrée en PS
F	Avant l'entrée en maternité		3 jours avant la sortie de PS		
J	Avant l'entrée en maternité			Avant la sortie de PS	
D	Oui		3 jours après le sevrage et 3 jours après la sortie de PS		
G	Avant l'entrée maternité		3 jours avant la sortie de PS		
H	2 sem. avant MB		1 sem. après l'entrée en PS		
I	A l'entrée et à la sortie de maternité				
L	2 */ an				
M	Avant la MB		Avant la sortie de PS		
N	Tous les 3 mois				
P	3 semaines avant MB		Le lendemain du sevrage		
Q	Avant la MB				
T		Après sevrage	Après le sevrage		
S		4 sem. av. MB + 1 sem. après le sevrage			

2.1.10. [Les pratiques d'élevages relatives aux médecines alternatives](#)

Dans les élevages biologiques, les indications et les modalités d'utilisation des médecines alternatives (la phytothérapie, l'aromathérapie et l'homéopathie) sont très variées. L'ensemble des pratiques utilisées dans les élevages sélectionnées ont été répertoriées dans l'Annexe 7, ainsi que leurs indications et posologies en Annexe 8.

Bilan de la description des élevages de l'échantillon :

- L'échantillon compte **20** élevages biologiques : **9 en bâtiment et 11 plein air**
- **Le sevrage à 42 jours** sauf pour deux élevages (L et M) à **49 jours**
- **Aucune administration de fer** n'a été réalisée sur les porcelets **en plein air sauf un (S)**
- **Une administration de fer** a été réalisée sur les porcelets **en bâtiment sauf un (O)** :
 - **5** élevages ont administré du fer **dextran** (4 avec 200 mg et 1 avec 100 mg)
 - **3** élevages ont administré 200 mg de fer **gleptoferron**
- 584 porcelets ont été prélevés (de 18 à 30 porcelets par élevage) et **564** échantillons ont été analysés
- Les prélèvements ont été réalisés **autour du sevrage** (entre 6 jours avant le sevrage et jusqu'à 17 heures après le sevrage)
- **Les poids et les âges** des porcelets étaient **hétérogènes** mais ils étaient tous au même stade physiologique : **le sevrage**
- Les lignées génétiques utilisées étaient proches de celles utilisées en élevage conventionnel
- La prophylaxie médicale (vaccination et anti-parasitaire) était **comparable à l'élevage conventionnel**

2.2. Paramètres sanguins de la lignée érythrocytaire

2.2.1. Description par élevage

Notre échantillon, dans son ensemble, compte 266 porcelets élevés en bâtiment (9 élevages) et 302 élevés en plein air (11 élevages).

Dans un premier temps, nous nous intéresserons à la concentration en hémoglobine (Figure 11). Les résultats par élevage sont les suivants :

- **L'élevage O** : les porcelets sont élevés en bâtiment et n'ont reçu aucune administration de fer. La médiane de la concentration en hémoglobine est la plus faible de l'ensemble de l'échantillon.
- **L'élevage K** : les porcelets ont reçu une administration de 100 mg de fer dextran. Leur concentration en hémoglobine est légèrement plus élevée que celle des animaux de l'élevage O mais sans être significativement différente.
- **L'élevage A** : malgré une administration de 200 mg de fer dextran aux porcelets, leur concentration en hémoglobine est très hétérogène.
- **L'élevage B** : la concentration en hémoglobine des porcelets est légèrement plus élevée en moyenne que celle de l'élevage A ayant reçu la même administration de fer. Le constat est le même pour l'élevage R.
- **L'élevage C** : la concentration en hémoglobine médiane des porcelets est faible.
- **L'élevage E** : les porcelets sont élevés en bâtiment et ils ont reçu une administration de gleptoferron à la naissance et un accès à de la tourbe de la naissance jusqu'à 10 jours. La médiane de la concentration en hémoglobine est quand même plus élevée que pour l'élevage O et K.
- **Les élevages F et J** : une administration de fer gleptoferron a été réalisée aux porcelets dans leurs trois premiers jours de vie. La médiane de la concentration en hémoglobine est plus élevée que l'élevage E.
- **Les élevages I et N** : les porcelets sont élevés en plein air et n'ont reçu aucune administration de fer. Nous pouvons constater que la concentration en hémoglobine de ces porcelets élevés en plein air est proche de celle des animaux de l'élevage R, J et F (Figure 11).
- **Les élevages G, L, M et Q** : les porcelets sont élevés en plein air sans administration de fer. La concentration en hémoglobine est plus élevée que les autres élevages présentés jusqu'à présent (Figure 11).
- **Les élevages D, H, P et T** sont des élevages en plein air et ils ont la concentration en hémoglobine la plus élevée.

- **L'élevage S** est un élevage où les porcelets sont élevés en plein air et ont reçu une administration de 200 mg de gleptoferron à 7 jours d'âge. Leur concentration en hémoglobine est très élevée en moyenne.

La tendance observée pour la concentration en hémoglobine est globalement identique pour l'hématocrite (Figure 13), le VGM (Figure 15) et la TCMH (Figure 14).

Les autres paramètres mesurés tels que la numération globulaire (Figure 12), la CCMH (Figure 16), la numération réticulocytaires (Figure 17) et la concentration en hémoglobine dans les réticulocytes (Figure 18) sont représentés sur les figures correspondantes.

En conclusion, nous pouvons observer que le système d'élevage (plein air ou bâtiment) *a priori* une influence sur la plupart des paramètres hématologiques mesurés.

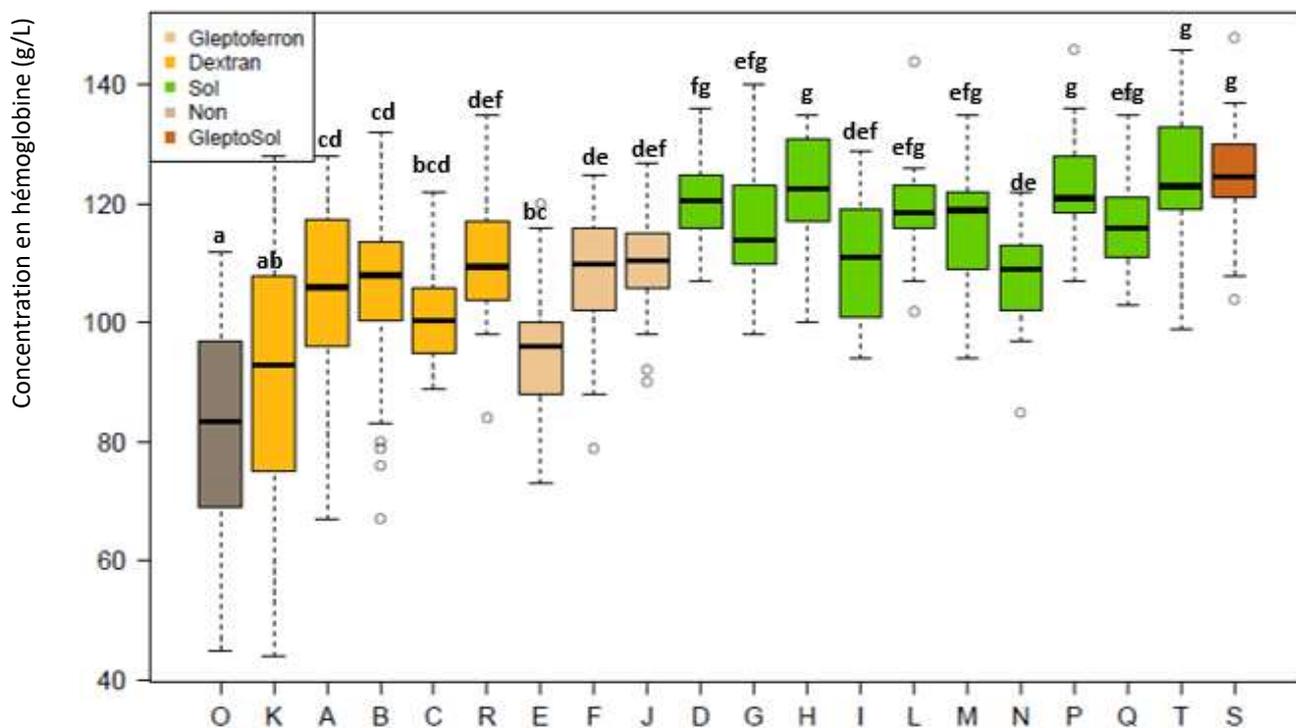


Figure 11 : La concentration en hémoglobine (en g/L) en fonction des élevages

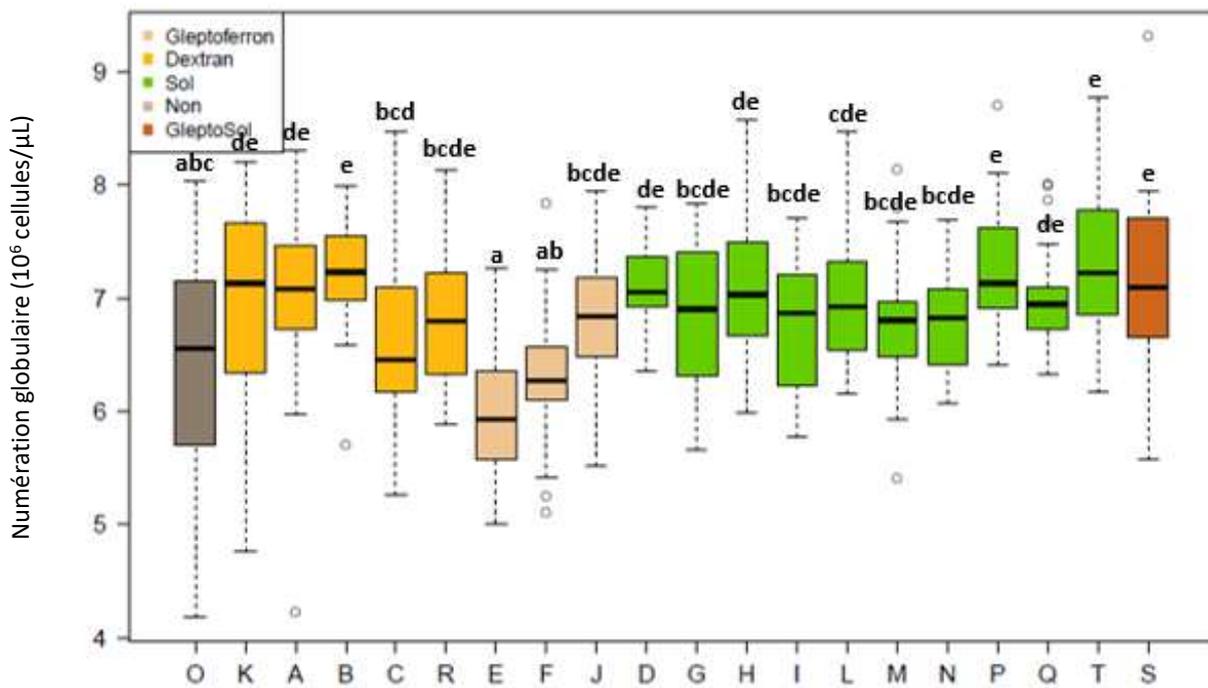


Figure 12 : Le nombre de globules rouges (10⁶ cellules/μL) en fonction des élevages

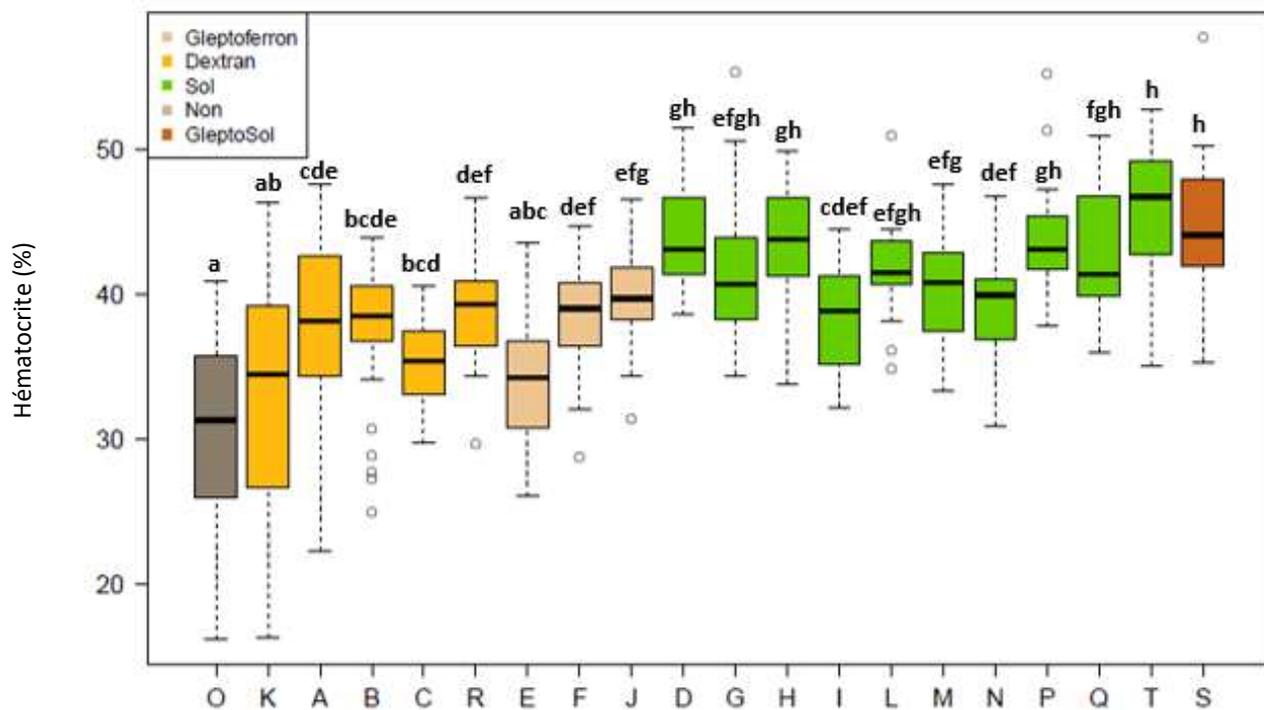


Figure 13: L'hématocrite (en %) en fonction des élevages

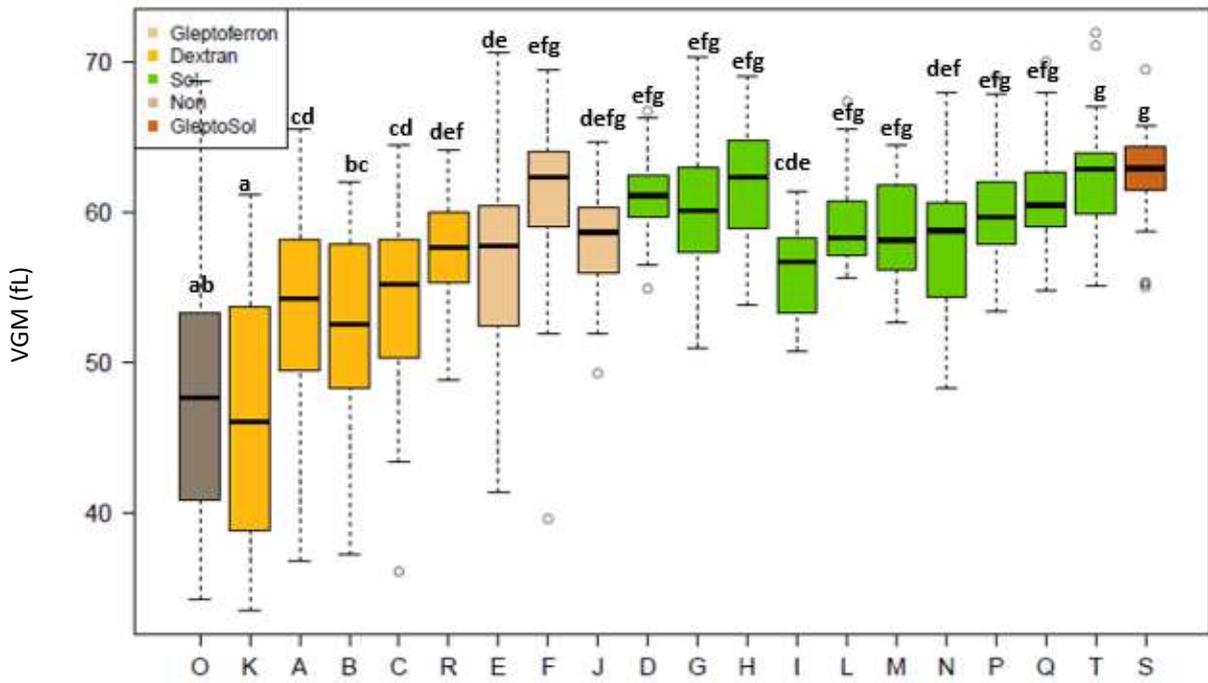


Figure 15 : Le VGM (en fL) en fonction des élevages

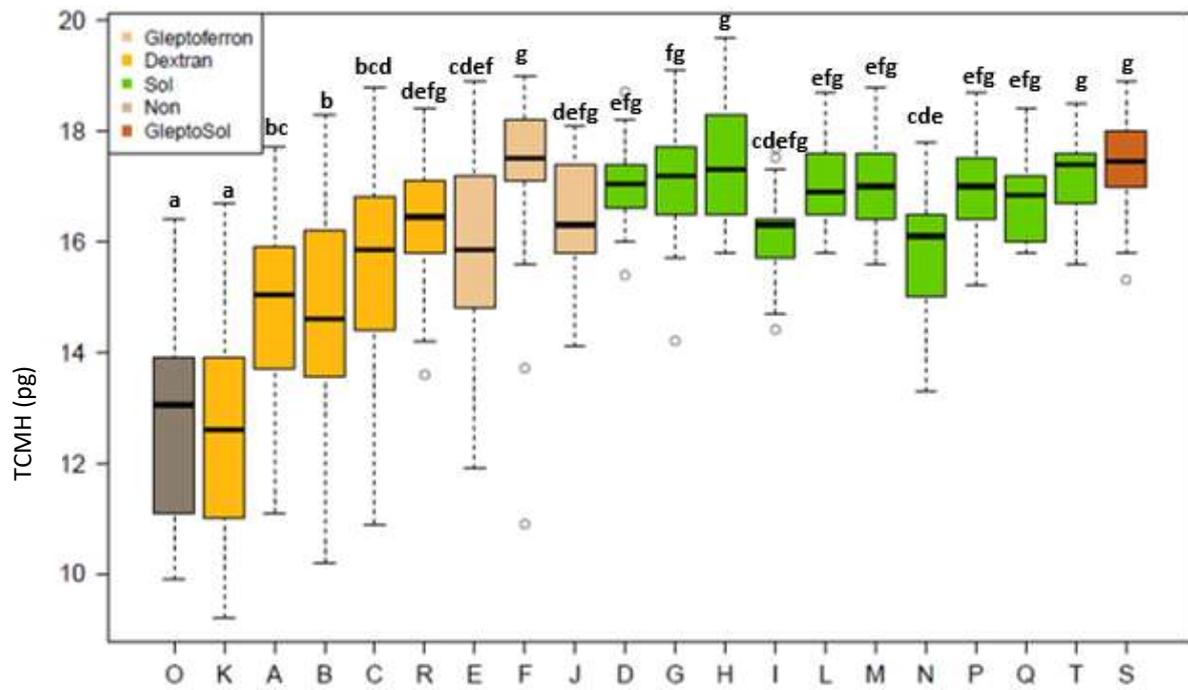


Figure 14 : Le TCMH (en pg) en fonction des élevages

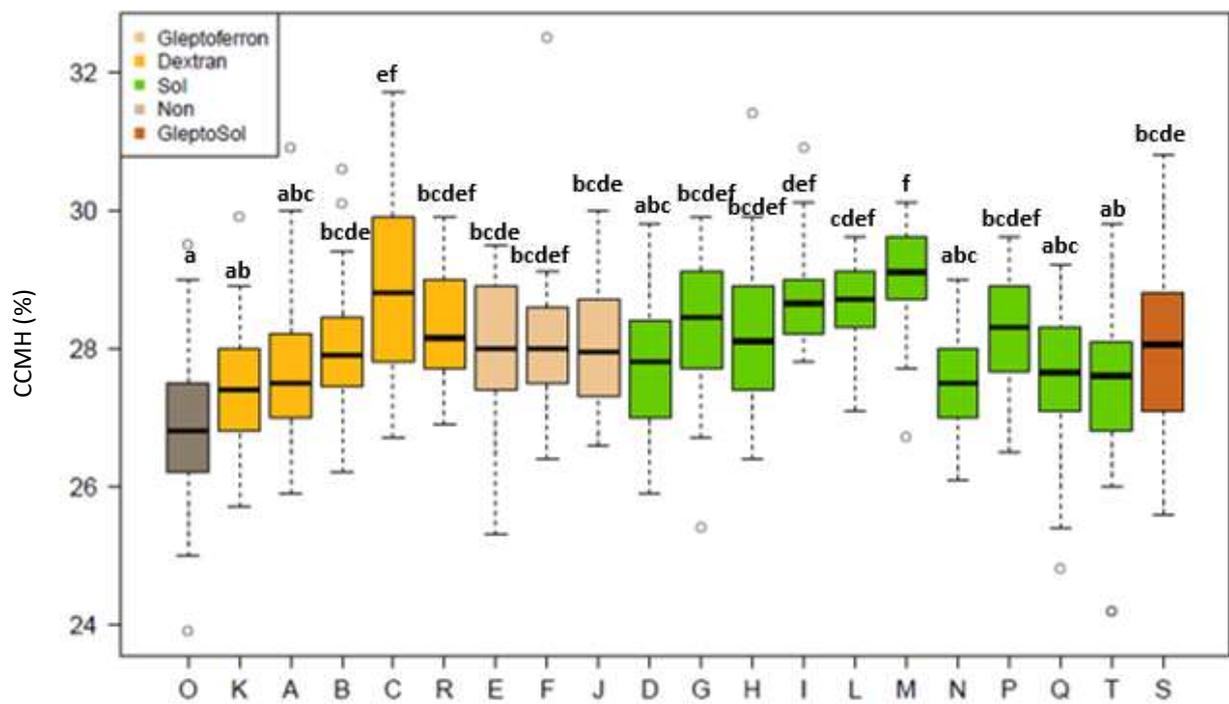


Figure 16 : Le CCMH (en %) en fonction des élevages

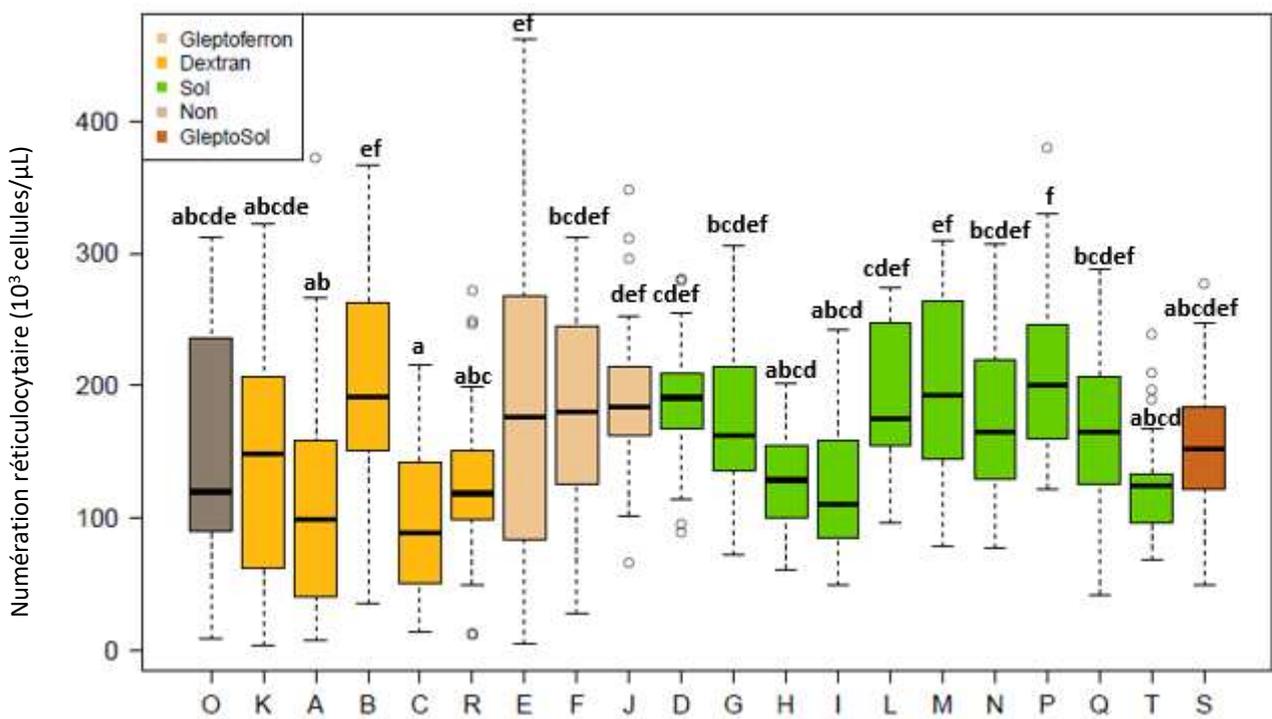


Figure 17 : Le nombre de réticulocytes (en 10^3 cellules/ μ L) en fonction des élevages

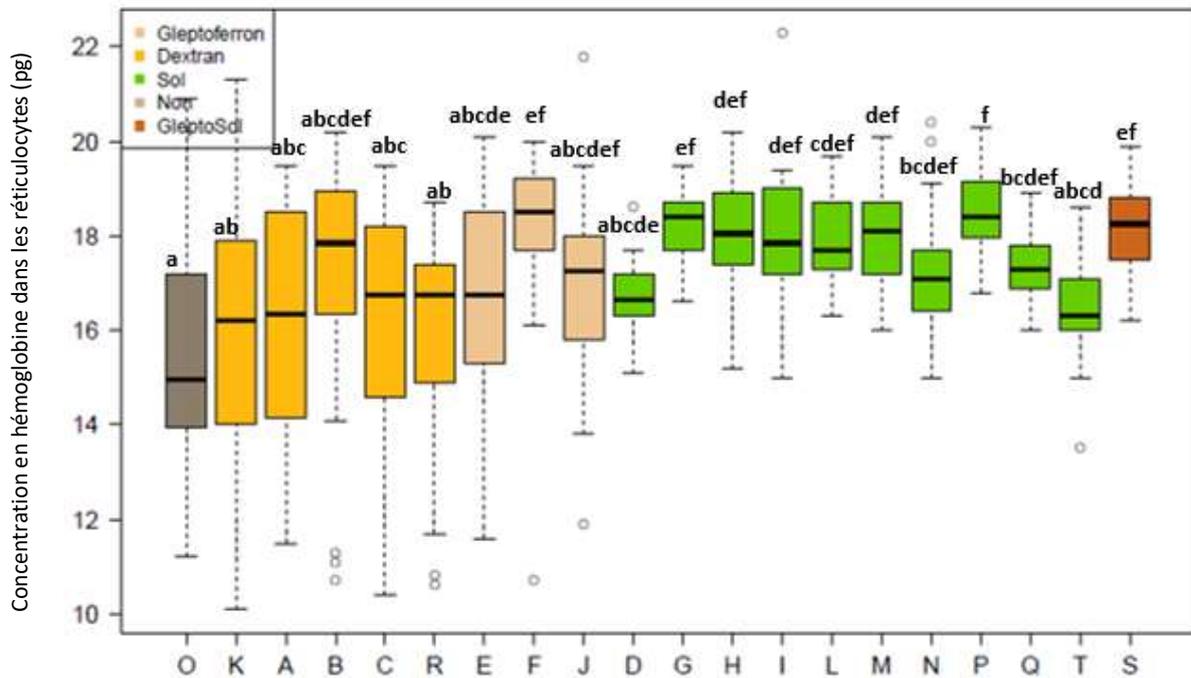


Figure 18 : La concentration en hémoglobine dans les réticulocytes (en pg) en fonction des élevages

2.2.2. L'influence du système d'élevage sur les paramètres de la lignée érythrocytaire

Les élevages ayant des pratiques d'administration du fer « particulières » (c'est-à-dire l'élevage O : aucune administration de fer en bâtiment ; l'élevage K : administration de 100 mg de dextran en bâtiment et l'élevage S : administration de 200 mg de gleptoferron en plein air) ont été exclus de l'analyse statistique puisque les pratiques d'administration du fer ont été jugées trop différentes des autres élevages. L'analyse statistique a donc été réalisée sur 206 porcelets élevés en bâtiment provenant de 7 élevages et 272 porcelets élevés en plein air provenant de 10 élevages.

Les résultats des paramètres sanguins relatifs aux cellules de la lignée érythrocytaire sont décrits dans le Tableau XVI.

La concentration en **hémoglobine est plus élevée chez les animaux élevés en plein air** avec une médiane de 119 g/L (85g/L - 146 g/L) contre 106 g/L (67 g/L - 135 g/L) en bâtiment ($P < 0,001$).

Le constat est le même pour la plupart des marqueurs comme pour l'**hématocrite** qui a une médiane plus élevée à 42 % (31 % - 55%) pour les porcelets élevés en plein air contre 37 % (22 % - 48 %) pour les porcelets en bâtiment ($P < 0,001$).

La médiane du **nombre de globules rouges** est plus élevée pour les porcelets élevés en plein air avec $6,9 \cdot 10^6$ cellules/ μL ($5,4$ cellules/ μL - $8,7$ cellules/ μL) contre $6,6 \cdot 10^6$ cellules/ μL ($4,2$ cellules/ μL - $8,4$ cellules/ μL) en bâtiment ($P = 0,005$).

Les globules rouges ont un **VGM** plus important en plein air avec 60 fL (médiane) (48,3 fL - 72 fL) contre 57,5 fL (médiane) (36,1 fL - 70,7 fL) en bâtiment ($P < 0,001$).

Il en est de même pour la **TCMH en plein air**, qui a une médiane de 16,9 pg (13,3 pg - 19,7 pg) contre de 16,1 pg (10,2 - 19) en bâtiment ($P = 0,007$).

La quantité d'hémoglobine dans les réticulocytes est significativement plus élevée chez les animaux élevés en plein air avec 17,5 pg (médiane) (13,5 pg – 22,3 pg) contre 17,4 pg (médiane) (10,4 pg – 21,8 pg) en bâtiment (P= 0,003).

Trois paramètres sanguins : la CCMH (P= 0,92), le nombre de réticulocytes (P= 0,53) et le taux de fer total sérique (P= 0,14) ne sont pas significativement différents entre les porcelets en bâtiments et en plein air.

Tableau XVI : Les paramètres sanguins selon le système d'élevage

Paramètres sanguins	Système d'élevage		P-values	Elevages particuliers		
	Bâtiment N=206 (Médiane) (min-max)	Plein air N= 272 (Médiane) (min-max)		Elevage O N= 30 (Médiane) (min-max)	Elevage K N= 30 (Médiane) (min-max)	Elevage S N= 30 (Médiane) (min-max)
Hémoglobine (g/L)	106 (67 – 135)	119 (85 – 146)	0.0003	83 ,5 (45 – 112)	93 (44 – 128)	124,5 (104 – 148)
Hématocrite (%)	38 (22 – 48)	42 (31 – 55)	0.0006	31,3 (16,2 – 40,9)	34,45 (16,3 – 46,3)	44, (35,3- 57,7)
Globules rouges (10⁶ cellules/μL)	6,6 (4,2 - 8,4)	6,9 (5,4 – 8,7)	0.05	6,5 (4,2 – 8,0)	7,13 (4,7 – 8,2)	7,1 (5,5 – 9,3)
VGM (fL)	57,5 (36,1 – 70,7)	60,0 (48,3 – 72,0)	0.0001	47,7 (34,2 – 68,8)	46,05 (33,5 – 61,2)	62,95 (55 -69,5)
TCMH (pg)	16,1 (10,2 – 19,0)	16,9 (13,3 – 19,7)	0.007	13,05 (9,9 -16,4)	12,6 (9,2 – 16,7)	17,45 (15,3 – 18,9)
CCMH (%)	28 (25,3 – 32,5)	28,1 (24,2 – 31,4)	0.92	26,8 (23,9 – 29,5)	27,4 (25,7 – 29,9)	28,05 (25,6 – 30,8)
Nombre de réticulocytes (10³ cellules/μL)	150,9 (4,4 – 462,5)	160,5 (42,2 – 379,6)	0.53	119,75 (8,5 – 312)	148,15 (3,5 – 322,5)	152,30 (49,3 – 277,1)
Quantité d'hémoglobine dans les réticulocytes (pg)	17,4 (10,4 – 21,8)	17,5 (13,5 – 22,3)	0.03	14,95 (11,2 – 20,9)	16,2 (10,1 – 21,3)	18,25 (16,2 – 19,9)
Fer (μmol/L)	17,2 (1,8 - 54,0)	20,4 (3,4 – 72,0)	0.1417	14,2 (1,4 – 62,6)	26,2 (1,7 – 59,9)	19,6 (5,7 – 34,5)

2.2.3. [L'influence de la forme de fer administrée aux porcelets en bâtiment](#)

Aucune différence significative n'est observée entre le groupe des porcelets ayant reçu une administration de fer dextran et ceux ayant reçu une administration de fer gleptoferron (Tableau XVII).

La concentration en hémoglobine des porcelets ayant reçu du gleptoferron (107 g/L) est non significativement plus élevée que celle des porcelets ayant reçu du dextran (106 g/L) (P = 0,85).

Ce constat est le même pour le VGM (59,8 fL et 55,4 fL respectivement) (P = 0,1) et la TCMH (15,75 pg et 16,85 pg respectivement) (P = 0,18). L'ensemble des résultats sont décrits dans le Tableau XVII.

Tableau XVII : Les paramètres sanguins selon la forme de fer administrée en bâtiment

Paramètres sanguins	Dextran N= 116 (Médiane) (min-max)	Gleptoferron N= 90 (Médiane) (min-max)	p-values
Hémoglobine (g/L)	106 (67 - 135)	107 (73 - 127)	0,85
Globules rouges (10 ⁶ cellules/μL)	6,95 (4,23 - 8,47)	6,35 (5,01 - 7,95)	0,10
Hématocrite (%)	37,9 (22,3-47,5)	28,1 (26,1 - 46,5)	0,94
VGM (fL)	55,4 (36,1 - 65,6)	59,8 (39,6 - 70,7)	0,10
TCMH (pg)	15,8 (10,2 - 18,8)	16,9 (10,9 - 19,0)	0,18
CCMH (%)	28,0 (25,9 - 31,7)	28,0 (25,3 - 32,5)	0,49
Nombre de réticulocytes (10 ³ cellules/μL)	118,9 (7,5 - 371,7)	182,1 (4,4 - 462,5)	0,08
Quantité d'hémoglobine dans les réticulocytes (pg)	17,0 (10,4 - 20,2)	17,9 (10,7 - 21,8)	0,10
Fer (μmol/L)	15,10 (1,81 - 48,20)	23,03 (2,28 - 54,07)	0,05

2.2.4. Influence du sexe

Notre échantillon est composé d'environ 50 % de femelles et 50 % de mâles dans chacun des systèmes d'élevage.

Une différence significative entre les mâles et les femelles élevés en plein air est notée pour la numération globulaire et le fer total sérique. De même, la CCMH et la quantité d'hémoglobine dans les réticulocytes des porcelets mâles et femelles élevés en bâtiment (Tableau XVIII) sont significativement différentes.

Aucune raison biologique à ces différences n'a pu être avancée. L'effet du type de fer ou du système d'élevage n'est donc pas significativement modulé par le sexe, ou il ne s'exprime pas de façon différente selon le sexe.

Tableau XVIII : Les paramètres hématologiques selon le sexe des animaux dans les différents systèmes d'élevage

	Plein air		p-value	Bâtiment		p-value
	Femelle Médiane (min-max) N = 139	Mâle Médiane (min-max) N = 142		Femelle Médiane (min-max) N = 100	Mâle Médiane (min-max) N = 106	
Hémoglobine (g/L)	120 (94-146)	117 (85-140)	0,13	108 (67-132)	104 (67-135)	0,19
Hématocrite (%)	42 (32- 55)	42 (31 – 55)	0,19	38 (22 – 46)	38 (24 – 47)	0,50
Globules rouges (10 ⁶ cellules/μL)	7 (5,8 - 8,7)	6,9 (5,4 – 8,7)	0,04	6,6 (4,2 – 8,4)	6,7 (5,0 – 8,1)	0,67
VGM (fL)	59,9 (48,3 – 71,1)	59,9 (46,3 – 72,0)	0,46	57,6 (36,1 – 66,0)	57,3 (36,8 – 70,7)	0,22
TCMH (pg)	16,9 (13,3 – 19,3)	17 (13,5–19,7)	0,46	16,3 (10,3 – 18,9)	15,9 (10,2 – 19,0)	0,06
CCMH (%)	28,1 (24,2 – 30,9)	28,1 (24,2 -31,4)	0,94	28,2 (26,1 – 31,7)	27,8 (15,3 – 32,5)	0,04
Nombre de réticulocytes (10 ³ cellules/μL)	164 (69 – 398)	159 (42 – 330)	0,62	150 (4 – 372)	158 (10 – 462)	0,79
Quantité d'hémoglobine dans les réticulocytes (pg)	17,6 (15,1 – 22,3)	17,5 (13,5 – 20,3)	0,17	17,6 (10,4 – 20,2)	17 (10,6 – 21,8)	0,02
Fer (μmol/L)	20,9 (3,4 – 72,0)	19,5 (3,5 – 60,9)	0,03	17,6 (1,8 – 48,2)	16,6 (2,4 -54,1)	0,35

Bilan des résultats hématologiques de la lignée érythrocytaire :

- **La concentration en hémoglobine de l'élevage O** est de **83,5 g/L**
- **La concentration en hémoglobine de l'élevage K** est de **93 g/L**
- **La concentration en hémoglobine de l'élevage S** est de **124,5 g/L**
- L'analyse statistique a été réalisée sans les élevages K, O et S en raison de pratiques de supplémentation en fer trop différentes des autres.
- Le **système d'élevage** a une **influence significative** sur la **plupart des paramètres hématologiques** en faveur des porcelets élevés en plein air sauf la CCMH et la numération réticulocytaire.
- **La concentration en hémoglobine est plus élevée en plein air** (119 g/L) qu'en bâtiment (106 g/L)
- La forme de fer administrée (fer dextran ou fer gleptoferron) ainsi que le sexe des animaux **n'influencent pas significativement** sur les paramètres hématologiques

2.3. Indicateurs de l'état inflammatoire et du stress oxydant des porcelets

D'autres mesures ont été faites afin de donner une indication de l'état de santé général des porcelets. Certaines variables sont des indicatrices, quasi directes comme l'haptoglobine, ou indirectes comme le stress oxydant (dROM et BAP), d'une réponse inflammatoire systémique.

Les mesures ont été faites avec le même échantillon d'animaux à un élevage près. Des données sont manquantes pour un élevage en plein air, l'élevage Q. Par conséquent, le nombre de porcelets en plein air est de 242 (10 élevages) et toujours 206 (9 élevages) en bâtiment.

2.3.1. En fonction du système d'élevage

Nous observons que le BAP ($P = 0,80$) et le dROM ($P = 0,67$) ne sont pas significativement différents selon le système d'élevage (Tableau XIX).

Cependant, la concentration en haptoglobine est significativement différente selon le système d'élevage ($P = 0,001$). En effet, la concentration est plus élevée pour les animaux vivants en bâtiment (0,55 g/L (médiane) (0 g/L – 4,1 g/L) contre 0,42 g/L (médiane) (0,05 g/L – 3 g/L) en plein air (Tableau XIX) .

Tableau XIX : Les indicateurs généraux de santé selon les système d'élevage

Indicateurs généraux de santé	Système d'élevage		P-values	Elevages particuliers		
	Bâtiment N=206 (Médiane) (min-max)	Plein air N= 242 (Médiane) (min-max)		Elevage O N= 30 (Médiane) (min-max)	Elevage K N= 30 (Médiane) (min-max)	Elevage S N= 30 (Médiane) (min-max)
BAP (µmol/L)	2472 (1857 – 3232)	2475 (1731 – 3100)	0.8011	2607 (2314 – 2906)	2613 (2112 – 3150)	2587 (1949 – 2965)
dROM (carru)	758,9 (427 - 1852)	792 (470 – 1301)	0.6706	692 (479 – 1490)	777,5 (450 – 1256)	781 (484 – 1137)
Haptoglobine (g/L)	0,55 (0 – 4,10)	0,42 (0,05 – 3,00)	0.001	1 (0,06 – 3,8)	0,8 (0,2 – 4,3)	0,4 (0,11 – 1,32)

2.3.2. [En fonction de la forme de fer injectable administrée](#)

En ce qui concerne les indicateurs généraux de santé, aucune différence significative n'est observable entre les porcelets ayant reçu une administration de fer dextran ou de fer gleptoferron ($P > 0,05$) (Tableau XX).

Cependant, les porcelets ayant reçu une administration de gleptoferron semblent avoir un statut inflammatoire moins marqué (haptoglobine : 0,45 g/L – BAP : 2488 $\mu\text{mol/L}$ – dROM : 743 carru) que les porcelets ayant reçu une administration de dextran (haptoglobine : 0,71 g/L – BAP : 2465 $\mu\text{mol/L}$ – dROM : 770 carru) (Tableau XX).

Tableau XX : Indicateurs généraux de santé selon le type de fer injectable administrée

Indicateurs généraux de santé	Dextran N= 116 (Médiane) (min-max)	Gleptoferron N= 90 (Médiane) (min-max)	p-values
BAP ($\mu\text{mol/L}$)	2465 (1857 – 2882)	2488 (2032 – 3232)	0,558
dROM (carru)	770 (427 -1678)	743 (466 – 1852)	0,7746
Haptoglobine (g/L)	0,71 (0 – 4,1)	0,45 (0 - 4)	0,073

En conclusion, la concentration d'haptoglobine est significativement plus élevée chez les porcelets en bâtiment que chez les porcelets en plein air (Figure 19). Dans la figure 30 figure également les élevages particuliers (O, S et K).

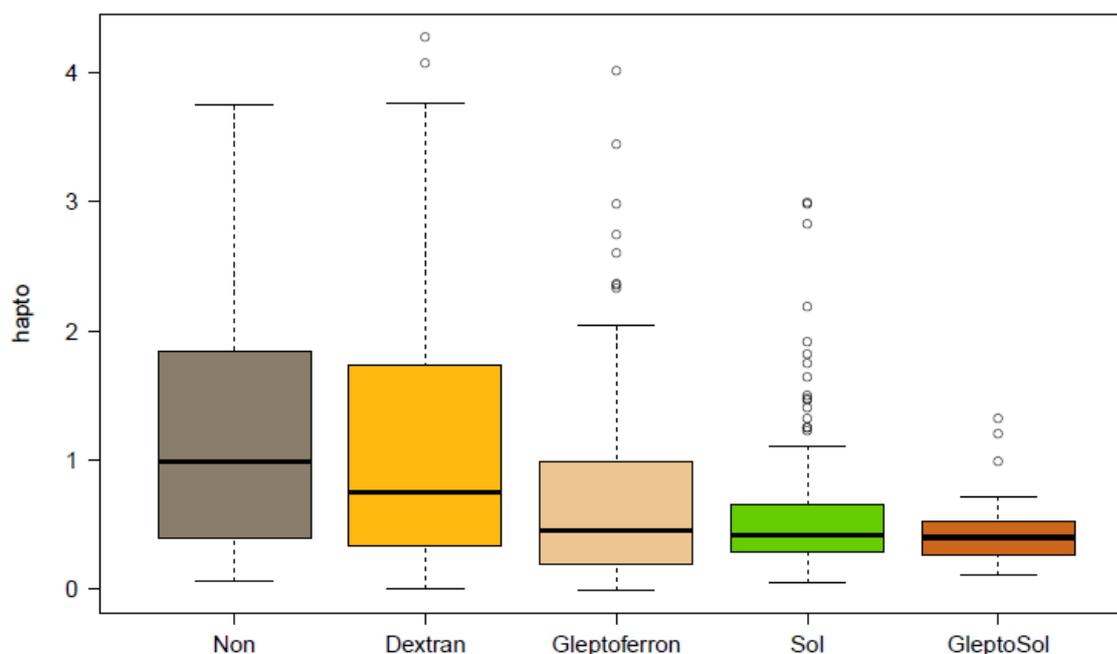


Figure 19 : L'haptoglobine en fonction du type de supplémentation en fer

2.3.3. Influence du sexe

Aucune différence significative n'est observée pour le BAP, le dROM et l'haptoglobine sauf le BAP pour les porcelets en plein air. Cette différence significative n'a pas de raison biologique (Tableau XXI). Il en est de même pour l'interaction entre le sexe et type de fer / système d'élevage.

Tableau XXI : Les indicateurs généraux de santé en fonction du sexe des animaux

	Plein air		p-value	Bâtiment		p-value
	Femelle Médiane (Min-Max) N = 124	Mâle Médiane (Min-Max) N = 127		Femelle Médiane (Min-Max) N = 100	Mâle Médiane (Min-Max) N = 106	
BAP ($\mu\text{mol/L}$)	2509 (1739 – 3100)	2440 (1731 – 2861)	0,004	2464 (1876 – 3232)	2494 (1857 – 3080)	0,27
dROM (carru)	804 (470 – 1301)	760 (524 – 1274)	0,215	743 (427 – 1852)	777 (458 – 1472)	0,25
Haptoglobine (g/L)	0,4 (0 – 3)	0,44 (0 – 3)	0,44	0,5 (0 – 4)	0,6 (0 – 4)	0,23

Bilan des résultats sur les indicateurs de l'état inflammatoire et le stress oxydant :

- Le **BAP** et le **dROM** ne sont **pas influencés significativement** par le système d'élevage, ni par la forme de fer administrée, ni par le sexe du porcelet
- La **concentration en haptoglobine est significativement plus élevée en bâtiment** (0,55 g/L) qu'en plein air (0,42 g/L)
- La **concentration en haptoglobine n'est pas significativement différente** selon la forme de fer administrée et le sexe des porcelets

3. Discussion

Les limites de l'étude

Notre échantillon de porcelets est **hétérogène** au niveau de l'âge et du poids des animaux mais représentatif et inhérent à la production porcine biologique. Ce point sera abordé et détaillé ultérieurement. Nous avons souhaité avoir une diversité dans les pratiques de supplémentation en fer. Cependant, dans notre échantillon, nous n'avons **aucun porcelet ayant reçu une administration de fer oral** puisque d'une part aucun fer oral n'est agréé pour la production biologique et d'autre part les vétérinaires intervenant dans les élevages n'en prescrivent pas.

Une différence significative des paramètres hématologiques selon les systèmes d'élevage est observée en faveur des porcelets élevés en plein air n'ayant reçu aucune administration de fer (médiane Hb : 119g/L). Les porcelets élevés en bâtiment ont reçu pour la plupart une administration de fer sous forme injectable. L'administration de fer incombe **une intervention de l'éleveur**. Celle – ci a pu être réalisée de **façon incorrecte** et ainsi interférer avec les résultats. Une autre interférence peut être avancée quant aux modalités de prélèvement qui ont été différentes selon les élevages. En effet, dans certains élevages, en particulier les élevages en plein air, pour des questions de praticité lors du prélèvement, les porcelets ont été rassemblés dans un **nouvel environnement**. Ce contexte peut être **plus stressant** pour ces animaux que ceux en bâtiment qui sont restés la plupart du temps dans un environnement connu. Le stress de ces animaux peut induire un **phénomène de splénocontraction**. Une étude a été menée sur le stress des porcs à l'abattoir et l'influence du stress sur les paramètres hématologiques des animaux. Une augmentation de la concentration en hémoglobine, de l'hématocrite et de la numération globulaire a été mise en évidence. Cependant, les conditions de cette étude (abattoir, transport) peuvent être jugées plus stressantes que les nôtres (Elbers 1991). Lors d'une situation de stress, chez le cheval ou la baleine, la rate peut libérer dans la circulation sanguine jusqu'à 50 % d'hématies supplémentaires alors que chez l'Homme les capacités de la rate sont beaucoup plus faibles (Stewart 2002).

L'anémie inflammatoire est une cause potentielle d'anémie chez les porcelets. C'est pourquoi, des analyses sanguines ont été réalisées pour évaluer le statut inflammatoire des porcelets. Pour cela, un dosage de la concentration d'haptoglobine a été effectué. Ce paramètre est régulièrement dosé en production porcine. Cependant, **l'hémolyse des échantillons interfère fortement avec l'interprétation des résultats**. Nous avons écarté les échantillons considérés comme ayant une hémolyse trop importante. La caractérisation des échantillons a été fondée sur des critères macroscopiques (rose pâle : ++) (Annexe 2). En effet, cette caractérisation n'est pas très précise ni sensible. Ainsi, le profil inflammatoire des porcelets est complété par une électrophorèse des protéines (les analyses sont en cours de réalisation). En complément, un dosage de l'hepcidine aurait pu être réalisé. Cependant, ce dosage est difficile à réaliser et n'est pas validé dans l'espèce porcine. D'autre part, nous ne connaissons pas le statut parasitaire des animaux de notre échantillon. En effet, certains parasites du porc sont hématophages, ce qui peut interférer également avec les résultats.

Finalement, une dernière limite de notre étude est fondée sur **l'absence de valeurs de référence hématologique en production porcine biologique**. Par conséquent, l'interprétation des données n'est pas optimale concernant le diagnostic ou non d'anémie chez les porcelets de notre échantillon. Ce point sera abordé ultérieurement dans la discussion. De plus, les animaux n'ont pas été suivis ce qui aurait permis d'évaluer la valeur pronostique des paramètres de l'héogramme rouge au sevrage sur les performances de croissance et l'état de santé à l'engraissement.

Représentativité de l'échantillon vis-à-vis de la production biologique porcine française

La production biologique est assez peu représentée en France (Fédération Nationale d'Agriculture Biologique 2019). Cependant, la filière a l'ambition de se développer dans les années à venir. Néanmoins, à l'heure actuelle, peu d'études abordent la production porcine biologique.

Notre échantillon est composé d'éleveurs du Grand Ouest de la France, région où se situe la majorité des élevages porcs biologiques (Fédération Nationale d'Agriculture Biologique 2019). En 2017, en France, environ **la moitié des maternités en élevage biologique étaient en plein air et l'autre en bâtiment** (Fédération Nationale d'Agriculture Biologique 2019). Cette répartition correspond à celle de notre échantillon, 11 issus d'élevages en plein air et neuf en bâtiment. La majorité des éleveurs de l'échantillon **sevrant les porcelets aux alentours de 42 jours de lactation**. Ce constat est le même pour la production porcine biologique en France, avec certains éleveurs sevrant à 49 jours (Fédération Nationale d'Agriculture Biologique 2019).

L'hétérogénéité des poids au prélèvement, que nous avons constatés lors de l'étude, s'explique à travers divers points. D'une part, **le moment de réalisation du prélèvement** était variable d'un élevage à l'autre en fonction de la disponibilité de l'éleveur (prélèvement réalisé jusqu'à six jours avant le sevrage). Deuxièmement, **les mises bas s'étalent sur une semaine** en moyenne à cause de l'interdiction d'utilisation des hormones en production biologique pour la synchronisation des cochettes et d'un impact moins important du sevrage sur la cyclicité des truies (dû à un sevrage plus tardif qu'en conventionnel). Et enfin, **deux éleveurs sevrant leurs animaux à 49 jours d'âge**.

Concernant les pratiques vaccinales, les éleveurs de notre échantillon vaccinent principalement leurs porcelets contre le circovirus porcin (PCV2) qui est une vaccination assez répandue en production porcine. Habituellement, la vaccination contre *Mycoplasma hyopneumoniae* est plus fréquemment réalisée dans les élevages. Dans notre échantillon, ce n'est pas le cas, sept élevages sont indemnes de cette maladie.

Absence de valeurs de référence en production biologique porcine

Toutes nos valeurs hématologiques **ne peuvent pas être réellement comparées à la littérature** puisque les porcelets biologiques sont sevrés à 42 jours contrairement aux porcelets conventionnels qui sont sevrés à 21 ou 28 jours. Avant leur sevrage, les porcs de notre étude ont **deux sources alimentaires de fer** :

- Liée à l'allaitement de la truie
- Liée à la consommation de nourriture (depuis l'âge de trois semaines environ). La quantité ingérée par l'animal est difficile à évaluer mais ils consomment une quantité plus importante que les porcs conventionnels au même stade physiologique (le sevrage).

Tandis que les porcelets en élevage conventionnel consomment quasi exclusivement de l'aliment lacté avant le sevrage (qui est effectué au plus tard à quatre semaines), les porcelets biologiques sevrés plus tardivement, a minima après 40 jours, consomment plus d'aliment solide en quantité significative avant le sevrage. Malgré cette différence due à l'apport alimentaire, on retrouve le même ordre de grandeur de concentration en hémoglobine au sevrage pour les animaux élevés en bâtiment en conventionnel (ayant reçu une injection à trois jours d'âge) et en biologique (Maes et al. 2011; Dove et Haydon 1991). Il aurait pu être intéressant de prélever des animaux à 28 jours d'âge issus d'élevages biologiques. Cependant,

pour des raisons d'organisation (animaux élevés en plein air) et de temps limité pour réaliser les prélèvements, les prises de sang n'ont été réalisées que lors du sevrage.

Néanmoins, une étude a été réalisée visant à établir des valeurs de références hématologiques et biochimiques sur des porcs élevés en condition stérile (EOPS) de six semaines d'âge. Ces porcs ont reçu une injection de fer dextran à trois jours d'âge (Cooper et al. 2014). Leur concentration moyenne en hémoglobine est proche de celle trouvée dans notre étude de 108 g/L (Cooper et al. 2014). Dans notre étude, l'hématocrite, le TCMH et le nombre de globules rouges sont plus élevés que dans celle de Cooper. Cependant, les valeurs restent dans les mêmes ordres de grandeur.

Afin de pouvoir interpréter les résultats et faire des comparaisons entre les élevages, la définition de valeurs de références est nécessaire. Afin d'établir des valeurs de références, il faut se référer aux guidelines de l'ASVCP (Friedrichs et al. 2012). Il est nécessaire d'avoir au minimum 120 animaux ayant des caractéristiques d'élevages (lieu géographique, système d'élevage, administration de xénobiotiques, alimentation...) et individuelles (âge, poids, sexe, race identiques, absence de maladies...) similaires.

La concentration en hémoglobine permettant de définir le seuil d'anémie ne fait pas l'objet de consensus. L'interprétation de nos données hématologiques a été réalisées à partir de plusieurs références scientifiques :

- **Kleinbeck et Mc Glone** en 1999 établit la limite inférieure de la concentration en hémoglobine à **110 g/L**. L'étude est réalisée sur 20 porcelets (race : PIC Camborough 15) au sevrage (28 jours) élevés en plein air issus d'un élevage.
- **Zimmerman** en 2019, dans l'ouvrage de référence en médecine porcine (Disease of swine 11 th édition) évalue la limite inférieure de la concentration en hémoglobine à **105 g/L**. Les valeurs de références ont été établies sur 104 porcelets (race : Landrace x Yorkshire pour la lignée femelle et Landrace x Duroc pour la lignée mâle) de 12 à 16 semaines issus de 3 fermes différentes pesant de 30 à 50 kg.
- **Bhattarai et Nielsen** en 2015 prennent comme limite inférieure de la concentration en hémoglobine à **90 g/L** (limite inférieure provenant de (Thorn 2010)). Les intervalles ont été établis sur 9 porcelets (race : Duroc x Jersey), issu d'un élevage, âgés de 36 jours. L'étude de Bhattarai est réalisée sur des porcelets sous la mère.

A partir de ces valeurs hématologiques, un pourcentage d'animaux anémiés a été calculé selon les élevages et selon les références choisies (Tableau XXII). Ces pourcentages sont exploités dans la suite de la discussion.

Tableau XXII : Nombre d'individus ainsi que le pourcentage d'animaux considérés comme anémié selon les références scientifiques utilisées

Elevage	(Kleinbeck et McGlone 1999) Plein air/ Bât – [Hb] : 110 g/L		(Zimmerman 2019) Bâtiment – [Hb] : 105 g/L		(Bhattarai et Nielsen 2015) Bâtiment – [Hb] : 90 g/L	
	Nombre d'individus	Pourcentage	Nombre d'individus	Pourcentage	Nombre d'individus	Pourcentage
O			27	90 %	20	66.6 %
K			20	66.6 %	15	50 %
A			13	43 %	5	16.6 %
B			10	33 %	5	16.6 %
C			20	66 %	1	3 %
R			9	30 %	1	3.3 %
E			27	90 %	11	36.6 %
F			9	30 %	2	6.66 %
J			6	20 %	0	0 %
D	1	3.3 %	0	0 %	0	0 %
G	7	23 %	4	13 %	0	0 %
H	1	3.3 %	1	3.3 %	1	3.3 %
I	7	38.8 %	6	33 %	0	0 %
L	4	13.3 %	2	6.6 %	0	0 %
M	8	26.6 %	4	13.3 %	0	0 %
N	16	53.3 %	11	36.6 %	1	3.3 %
P	1	3.3 %	0	0 %	0	0 %
Q	5	16.6 %	1	3.3 %	0	0 %
T	3	10 %	1	3.3 %	0	0 %
S	2	6.6 %	1	3.3 %	0	0 %

Paramètres érythrocytaires en plein air

Les résultats de notre étude ont montré que les porcelets **élevés en plein air** et n'ayant reçu aucune administration de fer **ne sont pas anémiés** puisqu'ils ont une concentration médiane en hémoglobine de 119 g/L. Nos résultats sont cohérents avec les deux études réalisées en Grande Bretagne sur des porcelets sevrés de 21 et 28 jours d'âge élevés en plein air dans les années 90 (Kleinbeck et McGlone 1999; Brown et al. 1996). *A contrario*, nos résultats diffèrent de ceux d'une étude menée en Hongrie sur 4691 porcelets issus d'un même élevage et qui montrent que les porcelets élevés en plein air n'ayant pas reçu d'administration de fer sont considérés comme anémiés (concentration en hémoglobine : 51 g/L). Cette anémie est associée à une mortalité plus élevée au sevrage ainsi qu'un poids de sevrage plus faible comparativement aux porcelets ayant reçu une administration de fer dextran à trois jours d'âge (Szabo et Bilkei 2002).

Paramètres érythrocytaires en bâtiment

Dans tous les élevages sauf un, du fer injectable a été administré. Deux cas peuvent être jugés particulier :

- **L'élevage O**, dans lequel les porcelets n'ont reçu **aucune administration** de fer. Nos résultats mettent en évidence une anémie chez ces porcelets (concentration médiane en hémoglobine : 83,5 g/L). 90 % des animaux sont considérés comme anémiés selon Zimmerman (Hb : 105 g/L) et 66 % selon Bhattarai (Hb : 90 g/L). **L'administration de fer en bâtiment semble donc nécessaire**. Ce constat est le même que celui observé dans plusieurs études (Ventrella et al. 2016; Ku, Miller, et Ullrey 1983; Staroń et al. 2015).
- **L'élevage K**, dans lequel les porcelets ont reçu une administration de **100 mg de fer dextran** réalisée à trois jours d'âge. Nos résultats montrent que les porcelets ont une concentration médiane en hémoglobine plus élevée (93 g/L) que l'élevage O mais celle-ci reste inférieure à la limite de Zimmerman. En effet, 66 % des animaux sont anémiés selon Zimmerman et 50 % selon Bhattarai. Les résultats hématologiques des porcs sont proches de ceux des animaux de l'élevage O. De plus, si on compare avec les porcelets ayant reçu une administration de 200 mg de dextran (Hb : 105,5 g/L), la concentration en hémoglobine est moins élevée. Nos résultats corroborent donc les publications précédentes, qui concluent que **la dose de 100 mg semble insuffisante pour obtenir une concentration en hémoglobine satisfaisante** (Gentry et al. 1997; M. Svoboda et Drábek 2005).

Ces deux élevages ont donc été exclus.

Dans notre échantillon d'élevages en bâtiment conservés pour l'analyse statistique, la concentration médiane en hémoglobine des animaux ayant reçu une administration de fer en bâtiment est de 106 g/L en moyenne. Cependant, dans l'élevage ayant la plus faible concentration en hémoglobine (**Elevage E**), 90 % des animaux sont anémiés selon Zimmerman et 36 % selon Bhattarai. Une explication peut être avancée puisque dans cet élevage les porcelets ont reçu **une administration de gleptoferron à la naissance** contrairement aux autres éleveurs qui l'administrent plus tard, à plus de 24 heures d'âge. En prenant en compte la résorption rapide du gleptoferron, en 24 heures, l'animal a reçu 95 % de la dose de fer. Or dans les **deux premiers jours de vie, l'animal n'a quasiment aucun transporteur fonctionnel DMT1 ou Fpn** (Lipiński et al. 2010). Par ailleurs, l'élevage F administre du fer gleptoferron à un jour d'âge, ce qui est proche de la naissance. Néanmoins, l'élevage ne compte que 30 %

d'anémiés selon Zimmerman. Il en est de même pour l'élevage R qui lui, administre à un jour d'âge du fer dextran. D'après le RCP, cette forme se résorbe moins rapidement, 60 % sont résorbés dans les trois jours suivant l'injection et 90 % dans les trois semaines qui suivent l'administration. L'injection précoce (à la naissance) est une hypothèse quant à la mauvaise utilisation du fer administré par l'organisme ne permettant pas une synthèse d'hémoglobine suffisante.

Dans notre échantillon, deux formes de fer ont été administrées aux animaux en bâtiment (**dextran et gleptoferron**). **Aucun paramètre hématologique mesuré n'est significativement différent entre les deux types de fer**. Cependant, les animaux ayant reçu du fer dextran ont une concentration en hémoglobine, un VGM et une TCMH inférieurs comparativement aux porcelets ayant reçu du gleptoferron. En revanche, le nombre de globules rouges est plus faible chez les animaux ayant reçu du gleptoferron. Pharmacologiquement, le gleptoferron aurait une biodisponibilité plus importante (Morales et Manso 2018; Sperling et al. 2018), ce qui expliquerait que la « qualité » des hématies soit globalement meilleure avec le gleptoferron qu'avec le dextran.

L'efficacité du fer administré par voie orale n'a pas été testé dans cette étude mais des données sont disponibles dans la littérature en production conventionnel. En 2011, Maes a testé l'efficacité d'un fer sous forme chélaté à partir d'acides aminés en le distribuant dans l'aliment durant trois périodes de deux, trois et cinq jours. D'après lui, l'administration semblait efficace et prévenait l'anémie des porcelets (Hb : 131,4 g/L au sevrage) (Maes et al. 2011). Svoboda constate également une efficacité de l'administration de fer par voie orale (M. Svoboda et Drábek 2002). Cependant, ce mode d'administration est fondé sur la quantité d'aliment ingérée par l'animal. Or, durant les premiers jours de vie, le porcelet ne consomme que très peu d'aliments. Dans une autre étude, Chwen a comparé différentes voies d'administration et de type de fer : l'administration de 200 mg de fer chélaté à partir d'acides aminés sous forme de pâte orale à des porcelets de 3 jours d'âge, l'injection de 200 mg de fer dextran à 3 jours d'âge et l'administration de lactate de fer par l'eau de boisson à partir de 3 jours d'âge jusqu'au sevrage (28 jours). D'après son étude, les animaux ayant reçu du fer par voie orale seraient (sub)anémiés (84,9 g/L) tandis que les animaux ayant reçu une injection de fer dextran auraient une concentration en hémoglobine de 104,3 g/L (Chwen et al. 2001). Une autre étude montre l'inefficacité à prévenir l'anémie avec l'administration de fer par voie orale (Egeli et Framstad, 1998).

Malgré l'absence de consensus, ce mode d'administration du fer serait jugé plus acceptable par les organismes certificateurs. Néanmoins, à l'heure actuelle, **aucun fer administrable par voie orale n'est autorisé en agriculture biologique**.

L'élaboration d'une formulation contenant du fer administrable par voie orale ainsi que l'étude de son efficacité sur des porcelets issus de l'agriculture biologique seraient intéressants.

Influence du système d'élevage sur la lignée érythrocytaire

Dans notre étude, **la concentration en hémoglobine des porcelets en plein air est significativement plus élevée que celle des porcelets élevés en bâtiment**. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées :

- Le porcelet ayant un comportement naturel de fouissage va trouver du fer en quantité abondante (20 - 40 g/kg) dans le sol (Colombo et al. 2013). Cependant, le fer n'est pas toujours biodisponible pour l'animal. Sa biodisponibilité dépend des conditions acido-basiques, d'oxydo-réduction du milieu ainsi que par la présence de

ligands organiques. Ces paramètres sont sous la dépendance des activités microbiennes qui modifient les conditions physico-chimiques du sol en permanence (McBride 1994).

A partir de sept jours environ (âge à partir duquel le porcelet élevé en plein air sort dans la cabane de naissance), il va débiter son approvisionnement en fer. Il pourra ajuster son approvisionnement en fonction de ses besoins. D'autre part, chez le porcelet nouveau-né, il a été mis en évidence que l'expression de la Fpn et du DMT1 était à peine détectable avant quatre jours d'âge. L'expression de ces transporteurs est à son maximum vers sept jours d'âge (Lipiński et al. 2010). Par conséquent, on pourrait penser que le porcelet en plein air valoriserait mieux les petites quantités de fer absorbées chaque jour plutôt qu'un bolus de fer injectable à trois ou quatre jours d'âge

- L'injection de fer est perçue par l'organisme comme un bolus. Cette injection va entraîner une production d'hepcidine (Lipiński et al. 2010). L'hepcidine étant un régulateur négatif du fer, elle pourrait entraîner la dégradation de la Fpn et ainsi réduire, voire empêcher, le transport du fer vers le plasma et, par conséquent, son utilisation dans la fabrication de l'hémoglobine.
- L'administration de fer par voie orale est considérée comme moins toxique pour l'organisme (Martin Svoboda et Píšťková 2018). De plus, dans notre étude, les porcelets élevés en bâtiment ont une concentration en haptoglobine significativement plus élevée, sous-entendant que l'inflammation est plus importante chez ces animaux que chez ceux élevés en plein air. Ce point sera détaillé ultérieurement.

Ces hypothèses peuvent expliquer le fait que même si peu de porcelets sont anémiés, **l'administration de fer injectable est moins efficace que la supplémentation naturelle en fer lié à la production des animaux en plein air.**

Les marqueurs sanguins de l'anémie

Les publications portant sur l'administration de fer chez le porcelet utilisent fréquemment la concentration en hémoglobine comme marqueur principal de l'anémie. Cependant, ce marqueur n'est pas précoce de l'anémie. D'autres marqueurs que la concentration en hémoglobine peuvent être utilisés pour détecter plus rapidement l'anémie ou pour la qualifier plus précisément :

- Les marqueurs précoces de l'anémie :
 - **VGM** : c'est un marqueur plus précoce que la concentration en hémoglobine. Il qualifie l'anémie de microcytaire ou de normocytaire. Dans le cas d'une anémie ferriprive, le VGM va diminuer avant la concentration en hémoglobine (Jaillardon 2019).
 - **Nombre de réticulocytes** : les réticulocytes sont les précurseurs des hématies. Ils permettent de définir le caractère régénératif ou non d'une anémie (Nguyen 2016). C'est un marqueur également plus précoce que la concentration en hémoglobine dans le cadre de l'anémie du porcelet (Martin Svoboda, Ficek, et Drábek 2007). Néanmoins, la précision de ce paramètre est faible car sa reproductibilité est moyenne. Ce manque de reproductibilité pourrait expliquer la non significativité du paramètre dans notre étude. Par ailleurs, le ProCyteDX peut donner encore plus de détails sur la précocité de l'anémie avec une maturation des réticulocytes différentes. L'appareil classe les réticulocytes

selon 3 types : LF (Low Fluorescence), MF (Medium Fluorescence), HF (High Fluorescence). Il pourrait être intéressant de s'y attarder.

- **Concentration en hémoglobine dans les réticulocytes** (Jaillardon 2018; Martin Svoboda, Ficek, et Drábek 2007).
 - **Coefficient de saturation de la transferrine** (Bhattarai et Nielsen 2015; Staroń et al. 2015).
- Intérêt d'autres paramètres hématologiques que la concentration en hémoglobine :
 - Prioritaire :
 - **TCMH** : paramètre calculé à partir de la concentration en hémoglobine. Il indique si l'anémie est hypochrome ou normochrome. Lors de l'érythropoïèse, lorsque l'hémoglobine est à saturation dans les hématies (TCMH dans les valeurs usuelles), le processus de mitose est stoppé et les hématies sont expulsées dans la circulation (Nguyen 2016).
 - **Numération globulaire** : le nombre de globules rouges fait partie intégrante du syndrome d'anémie, en diminuant en deçà des valeurs usuelles.
 - Mineure :
 - **CCMH** : paramètre calculé à partir de la concentration en hémoglobine et de l'hématocrite. Il est donc corrélé avec le TCMH et le VGM. Il reflète la concentration moyenne en hémoglobine dans les hématies. Néanmoins, dans notre étude, ce paramètre ne varie pas de façon significative selon le système d'élevage et le type de fer. Ce constat peut être due à l'hémolyse de certains échantillons, même si les plus hémolysés ont été écartés. Ce phénomène a déjà été observé dans d'autres thèses d'exercice vétérinaire.

Dans notre étude, la plupart de paramètres de la lignée érythrocytaire sont significativement différents selon le système d'élevage sauf la CCMH et la numération réticulocytaire. Comme expliqué précédemment, l'interprétation de ces deux paramètres est sujette à des biais techniques (hémolyse des échantillons et capacité de comptage cellulaire de l'appareil).

Le statut inflammatoire et le profil hématologique

Dans notre étude, la concentration en **haptoglobine est significativement plus élevée chez les porcelets élevés en bâtiment** (Hp : 0,54 g/L) que chez les porcelets en plein air (Hp : 0,42 g/L) (P=0,001).

Ceci suggère **un état inflammatoire plus marqué chez les porcelets élevés en bâtiment**. Ceci pourrait être dû à une pression microbienne plus importante. Cette hypothèse était également avancée par Kleinbeck (Kleinbeck et McGlone 1999). Comme expliqué précédemment, l'inflammation a une influence sur le statut en fer des porcelets notamment grâce à l'interleukine 6 (IL-6) qui influence la production d'hepcidine et donc la dégradation de la Fpn (Ruchala et Nemeth 2014).

Ceci pourrait contribuer à expliquer la différence de concentration en hémoglobine selon le système d'élevage. Pour affiner le profil inflammatoire des animaux, une électrophorèse des protéines est en cours de réalisation, associée à un dosage des protéines totales.

Dans notre étude, nous nous sommes également intéressés aux paramètres du **stress oxydant**. Ils ne sont pas significativement différents selon le système d'élevage. Le BAP et le dROM sont des paramètres récemment utilisés en recherche porcine. Quelques références en

production porcine conventionnelle sont disponibles (à 26 jours d'âge), dans des conditions optimales d'élevage, BAP : 2546 $\mu\text{mol/L}$ (Buchet 2018). Dans notre étude, le BAP est moins élevé (BAP : 2471 $\mu\text{mol/L}$ en bâtiment et 2474 $\mu\text{mol/L}$ en plein air), les capacités de résistance de l'organisme sont donc moins bonnes. Ceci peut également s'expliquer par des conditions environnementales qui ne sont pas toujours jugées comme optimales dans nos élevages.

Nos résultats ne permettent pas d'établir le rôle potentiel de l'administration de fer dans l'induction et/ou l'aggravation d'une réponse inflammatoire chez le porcelet au sevrage. Cependant, ces résultats sont cohérents avec l'hypothèse que le statut inflammatoire pourrait être associé à une diminution des paramètres de l'hémogramme rouge, notamment la concentration en hémoglobine.

Les perspectives de l'étude

Cette étude ouvre des perspectives quant à l'évolution potentielle du **statut réglementaire associé à l'injection de fer** en élevage porcin biologique en bâtiment. Ce point doit être discuté auprès des organismes certificateurs afin de compléter la réglementation européenne.

D'autre part, l'administration de **fer par voie orale** étant considérée comme plus acceptable par les organismes certificateurs, une étude visant à élaborer un fer administrable par voie orale, agréé pour la production biologique et avec une efficacité équivalente à l'injection de fer, pourrait être envisageable.

En raison de l'absence de **valeurs de référence hématologique** en production porcine biologique, notre étude pourrait permettre d'établir des intervalles de référence pour des animaux en plein air issus de la production biologique, au sevrage, en prenant les paramètres hématologiques d'au moins 120 animaux supposés sains des 2 sexes issus de différents élevages. Ces références faciliteraient l'interprétation de futures études.

Un **suivi des porcelets**, au-delà du sevrage, pourrait être intéressant afin d'évaluer la répercussion d'une concentration en hémoglobine sur les performances de croissance ou encore l'état de santé des animaux. Une méthode de prélèvement simple, rapide et utilisable sur place peut être envisagée telle que l'HemoCue Hb 201 +. Dans le cadre de cette étude, cette méthode a été évaluée sur 198 porcelets issus de 7 élevages (en plein air et en bâtiment). La mesure effectuée par cet appareil a été comparée à la mesure réalisée par le ProCyteDX au laboratoire. Grâce à un test de Bland Altman nous pouvons affirmer que les deux méthodes sont concordantes entre elles (Annexe 9).

Conclusion

L'ensemble des résultats a permis d'avoir une description des paramètres hématologiques des porcs au sevrage issus de l'agriculture biologique ainsi que l'influence de l'administration de fer.

La plupart des paramètres de la lignée érythrocytaire (sauf la CCMH et la numération réticulocytaire) sont significativement différents chez les porcelets élevés en plein air, comparativement à ceux élevés en bâtiments et ce malgré la supplémentation en fer reçue par ces derniers.

L'administration de fer à la dose de 200 mg semble ainsi être une nécessité pour les porcelets élevés en bâtiment afin d'éviter le développement potentiel d'une anémie et prévenir ses conséquences potentielles sur les performances de croissance et l'état de santé à l'engraissement.

Parmi les porcelets élevés en bâtiment, aucune différence significative n'est observée entre les formes de fer injectable (gleptoferron et dextran).

L'état inflammatoire établi par le dosage de l'haptoglobine est plus marqué chez les porcelets élevés en bâtiment qu'en plein air, suggérant potentiellement le rôle du statut inflammatoire dans le développement et/ou l'aggravation des anomalies de l'hémogramme rouge chez le porcelet au sevrage.

Bibliographie

- Antileo, R., J. Figueroa, et C. Valenzuela. 2016. « Characterization of a Novel Encapsulated Oral Iron Supplement to Prevent Iron Deficiency Anemia in Neonatal Piglets 1 ». *Journal of Animal Science* 94 (suppl_3): 157-60. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9698>.
- Bhattarai, Sheeva, et Jens Peter Nielsen. 2015. « Association between Hematological Status at Weaning and Weight Gain Post-Weaning in Piglets ». *Livestock Science* 182 (décembre): 64-68. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.10.017>.
- Bourguignon, Patrick, et Vincent Muller. 2016. Problèmes de santé en élevage de porcs biologiques : Enjeux de recherche.
- Brown, J.M.E, S.A Edwards, W.J Smith, E Thompson, et J Duncan. 1996. « Welfare and Production Implications of Teeth Clipping and Iron Injection of Piglets in Outdoor Systems in Scotland ». *Preventive Veterinary Medicine* 27 (3-4): 95-105. [https://doi.org/10.1016/0167-5877\(96\)01013-6](https://doi.org/10.1016/0167-5877(96)01013-6).
- Bruininx, E.M.A.M, J.W.G.M Swinkels, H.K Parmentier, C.W.J Jetten, J.L Gentry, et J.W Schrama. 2000. « Effects of an Additional Iron Injection on Growth and Humoral Immunity of Weanling Pigs ». *Livestock Production Science* 67 (1-2): 31-39. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(00\)00189-5](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(00)00189-5).
- Buchet, Arnaud. 2018. « Identification de marqueurs de la robustesse du porcelet au sevrage », 311.
- Buffler, Marzell, Christiane Becker, et Wilhelm M. Windisch. 2017. « Effects of Different Iron Supply to Pregnant Sows (*Sus Scrofa Domestica* L.) on Reproductive Performance as Well as Iron Status of New-Born Piglets ». *Archives of Animal Nutrition* 71 (3): 219-30. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2017.1301059>.
- Calvar, Catherine. 2016. « Enquêtes sur les préconisations des techniciens et vétérinaires et sur les pratiques des éleveurs », 12.
- Camaschella, Clara, et Paolo Strati. 2010. *Recent advances in iron metabolism and related disorders*. Vol. 5. <https://doi.org/10.1007/s11739-010-0387-4>.
- Chwen, Loh Teck, Leong Kah Heng, Too Heng Lee, Mah Choew Kong, et Choo Pow. 2001. « The Effects of Iron Supplementation in Prewaning Piglets », 8.
- Clapperton, M., S.C. Bishop, M. Piñeiro, F.M. Campbell, et E.J. Glass. 2007. « The Association between Plasma Levels of Acute Phase Proteins, Haptoglobin, Alpha-1 Acid Glycoprotein (AGP), Pig-MAP, Transthyretin and Serum Amyloid A (SAA) in Large White and Meishan Pigs ». *Veterinary Immunology and Immunopathology* 119 (3-4): 303-9. <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2007.05.008>.
- Colombo, Claudio, Giuseppe Palumbo, Ji-Zheng He, Roberto Pinton, et Stefano Cesco. 2013. *Review on iron availability in soil: Interaction of Fe minerals, plants, and microbes*. Vol. 14. <https://doi.org/10.1007/s11368-013-0814-z>.
- Cooper, Caitlin A, Luis E Moraes, James D Murray, et Sean D Owens. 2014. « Hematologic and Biochemical Reference Intervals for Specific Pathogen Free 6-Week-Old Hampshire-Yorkshire Crossbred Pigs ». *Journal of Animal Science and Biotechnology* 5 (1): 5. <https://doi.org/10.1186/2049-1891-5-5>.
- Csapó, J., T.G. Martin, Z.S. Csapó-Kiss, et Z. Házás. 1996. « Protein, Fats, Vitamin and Mineral Concentrations in Porcine Colostrum and Milk from Parturition to 60 Days ». *International Dairy Journal* 6 (8-9): 881-902. [https://doi.org/10.1016/0958-6946\(95\)00072-0](https://doi.org/10.1016/0958-6946(95)00072-0).
- Dove, C. R., et K. D. Haydon. 1991. « The Effect of Copper Addition to Diets with Various Iron Levels on the Performance and Hematology of Weanling Swine ». *Journal of Animal Science* 69 (5): 2013-19. <https://doi.org/10.2527/1991.6952013x>.

- Eaton, JW, P Brandt, Mahoney, et JT Lee. 1982. « Haptoglobin: a natural bacteriostat ». *Science* 215 (4533): 691. <https://doi.org/10.1126/science.7036344>.
- Egeli, et Framstad,. 1998. *Evaluation of the Efficacy of Perorally Administered Glutamic Acid-Chelated Iron and Iron-Dextran Injected Subcutaneously in Duroc and Norwegian Landrace Piglets*. Vol. 45. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0442.1998.tb00800.x>.
- Elbers, AR. 1991. « Changes in haematological and clinicochemical profiles in blood of apparently healthy slaughter pigs, collected at the farm and at slaughter, in relation to the severity of pathological-anatomical lesions ». *Vet. Q.*
- Fablet, C. 2009. « Protéines de la phase aiguë de l'inflammation chez le porc : Intérêt en santé animale et en santé publique vétérinaire ». *Revue Méd. Vét.*, 16.
- Farmer, Chantal, éd. 2015. *The Gestating and Lactating Sow*. Wageningen: Wageningen Academic Publ.
- Fédération Nationale d'Agriculture Biologique. 2019. « élever des porcs bio ». Agence Bio. 29 mai 2019.
- Fraenkel, Paula G. 2017. « Anemia of Inflammation ». *Medical Clinics of North America* 101 (2): 285-96. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2016.09.005>.
- Friedrichs, Kristen R., Kendal E. Harr, Kathy P. Freeman, Balazs Szladovits, Raquel M. Walton, Kirstin F. Barnhart, et Julia Blanco-Chavez. 2012. « ASVCP Reference Interval Guidelines: Determination of de Novo Reference Intervals in Veterinary Species and Other Related Topics ». *Veterinary Clinical Pathology* 41 (4): 441-53. <https://doi.org/10.1111/vcp.12006>.
- Gentry, J L, J W Swinkels, M D Lindemann, et J W Schrama. 1997. « Effect of Hemoglobin and Immunization Status on Energy Metabolism of Weanling Pigs. » *Journal of Animal Science* 75 (4): 1032. <https://doi.org/10.2527/1997.7541032x>.
- Gkouvatsos, Konstantinos, George Papanikolaou, et Kostas Pantopoulos. 2011. *Regulation of iron transport and the role of transferrin*. Vol. 1820. <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2011.10.013>.
- Gozzelino, Raffaella, et Paolo Arosio. 2016. « Iron Homeostasis in Health and Disease ». *International Journal of Molecular Sciences* 17 (1): 130. <https://doi.org/10.3390/ijms17010130>.
- Haugegaard, John, H Wachmann, et P.J. Kristensen. 2008. *Effect of supplementing fast-growing, late-weaned piglets twice with 200mg iron dextran intra-muscularly*. Vol. 61.
- Hentze, Matthias W., Martina U. Muckenthaler, Bruno Galy, et Clara Camaschella. 2010. « Two to Tango: Regulation of Mammalian Iron Metabolism ». *Cell* 142 (1): 24-38. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2010.06.028>.
- IDEXX. s. d. « Fiche produit ProCyte DX (R) IDEXX ».
- Ioannou, George N, Jeremy Spector, Kevin Scott, et Don C Rockey. 2002. « Prospective Evaluation of a Clinical Guideline for the Diagnosis and Management of Iron Deficiency Anemia », 7.
- Jaillardon, Laetitia. 2018. « Pathologie clinique : polycopié 2 ».
- . 2019. « Démarche diagnostique face à une anémie ».
- Jolliff, J. S., et D. C. Mahan. 2011. « Effect of Injected and Dietary Iron in Young Pigs on Blood Hematology and Postnatal Pig Growth Performance^{1,2} ». *Journal of Animal Science* 89 (12): 4068-80. <https://doi.org/10.2527/jas.2010-3736>.
- Kamphues, J., K. Manner, et C. Netzler. 1992. « Effect of a 2nd iron injection in suckling pigs on iron retention and performance before and after weaning ». In .
- Kegley, E.B, J.W Spears, W.L Flowers, et W.D Schoenherr. 2002. « Iron Methionine as a Source of Iron for the Neonatal Pig ». *Nutrition Research* 22 (10): 1209-17. [https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(02\)00434-7](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(02)00434-7).

- Kleinbeck, S N, et J J McGlone. 1999. « Intensive Indoor versus Outdoor Swine Production Systems: Genotype and Supplemental Iron Effects on Blood Hemoglobin and Selected Immune Measures in Young Pigs. » *Journal of Animal Science* 77 (9): 2384. <https://doi.org/10.2527/1999.7792384x>.
- Ku, P K, E R Miller, et D E Ullrey. 1983. « EFFECT OF PARENTERAL IRON ON SERUM ELECTROLYTES OF THE BABY PIG I », 7.
- « Le cahier des charges Agriculture Biologique ». 2001 24: 7.
- Lillie, R J. 1978. « EFFECT OF COPPER AND IRON SUPPLEMENTS ON PERFORMANCE AND HEMATOLOGY OF CONFINED SOWS AND THEIR PROGENY THROUGH FOUR REPRODUCTIVE CYCLES », 8.
- Lipiński, Paweł, Rafał R. Starzyński, François Canonne-Hergaux, Barbara Tudek, Ryszard Oliński, Paweł Kowalczyk, Tomasz Dziaman, et al. 2010. « Benefits and Risks of Iron Supplementation in Anemic Neonatal Pigs ». *The American Journal of Pathology* 177 (3): 1233-43. <https://doi.org/10.2353/ajpath.2010.091020>.
- Maes, D., M. Steyaert, C. Vanderhaeghe, A. Lopez Rodriguez, E. de Jong, R. del Pozo Sacristan, F. Vangroenweghe, et J. Dewulf. 2011. « Comparison of Oral versus Parenteral Iron Supplementation on the Health and Productivity of Piglets ». *Veterinary Record* 168 (7): 188-188. <https://doi.org/10.1136/vr.c7033>.
- Maner, J. H., R. S. Lowrey, et W. G. Pond. 1959. « Effect of Method and Level of Iron Administration on Growth, Hemoglobin and Hematocrit of Suckling Pigs ». *Journal of Animal Science* 18 (4): 1373-77. <https://doi.org/10.2527/jas1959.1841373x>.
- Marchant-Forde, J. N., D. C. Lay Jr., K. A. McMunn, H. W. Cheng, E. A. Pajor, et R. M. Marchant-Forde. 2009. « Postnatal piglet husbandry practices and well-being: The effects of alternative techniques delivered separately1,2 ». *Journal of Animal Science* 87 (4): 1479-92. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1080>.
- McBride, M.B. 1994. *Environmental chemistry of soil*. Oxford University Press.
- Miller, E R, et D E Ullrey. 1977. *Baby pig anemia*. Pork.Ind. Handb.
- Morales, J, et Manso. 2018. « Journal of Swine Health and Production ». *Journal of Swine Health and Production* 26 (4): 8.
- Munoz, M., J. A. Garcia-Erce, et A. F. Remacha. 2011a. « Disorders of Iron Metabolism. Part 1: Molecular Basis of Iron Homeostasis ». *Journal of Clinical Pathology* 64 (4): 281-86. <https://doi.org/10.1136/jcp.2010.079046>.
- . 2011b. « Disorders of Iron Metabolism. Part II: Iron Deficiency and Iron Overload ». *Journal of Clinical Pathology* 64 (4): 287-96. <https://doi.org/10.1136/jcp.2010.086991>.
- Murphy, Kimberly A, Robert M Friendship, et Catherine E Dewey. 1997. « Effects of Weaning Age and Dosage of Supplemented Iron on the Hemoglobin Concentrations and Growth Rate of Piglets ». *Swine Health and Production* 5 (4): 4.
- Nairz, Manfred, Igor Theurl, Dominik Wolf, et Günter Weiss. 2016. « Iron Deficiency or Anemia of Inflammation?: Differential Diagnosis and Mechanisms of Anemia of Inflammation ». *Wiener Medizinische Wochenschrift* 166 (13-14): 411-23. <https://doi.org/10.1007/s10354-016-0505-7>.
- Nguyen, Frédérique. 2016. « Polycopié d'hématologie clinique, UV 91 Pathologie clinique ».
- Nicolas, GAËL. 2009. *L'hepcidine : Le chef d'orchestre de l'homéostasie du fer*. Vol. 4.
- Ohgami, Robert S, Dean R Campagna, Eric L Greer, Brendan Antiochos, Alice McDonald, Jing Chen, John J Sharp, Yuko Fujiwara, Jane E Barker, et Mark D Fleming. 2005. « Identification of a Ferrireductase Required for Efficient Transferrin-Dependent Iron Uptake in Erythroid Cells ». *Nature Genetics* 37 (11): 1264-69. <https://doi.org/10.1038/ng1658>.

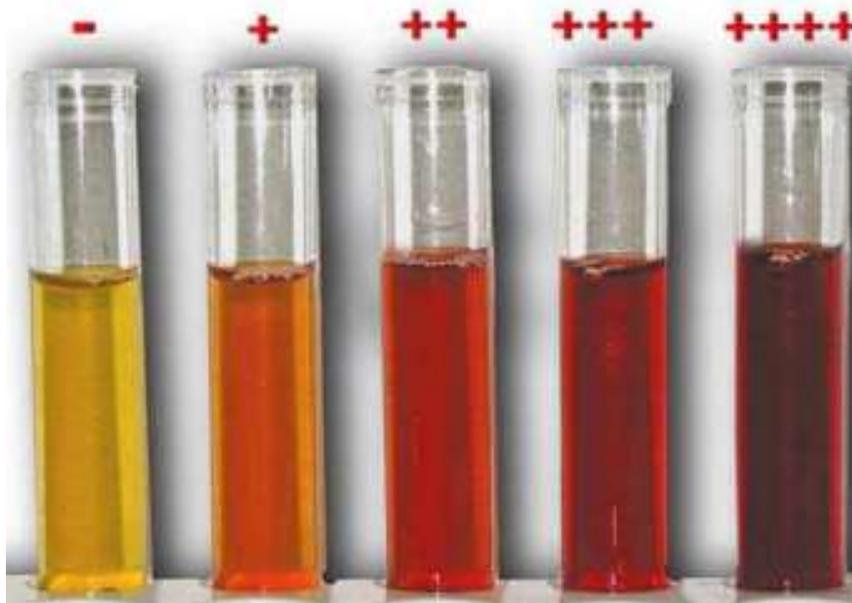
- Oliveira, Fernando, Sara Rocha, et Rúben Fernandes. 2014. « Iron Metabolism: From Health to Disease: Iron Metabolism ». *Journal of Clinical Laboratory Analysis* 28 (3): 210-18. <https://doi.org/10.1002/jcla.21668>.
- Papanikolaou, G., et K. Pantopoulos. 2005. « Iron Metabolism and Toxicity ». *Toxicology and Applied Pharmacology* 202 (2): 199-211. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2004.06.021>.
- Payne, H G, B P Mullan, R R Nicholls, S M McCulloch, J R Pluske, et P Clark. 2005. « Haematological Indices of Piglets Provided with Parenteral Iron Dextran and Creep Feed or Soil Prior to Weaning », 1.
- Perri, Amanda Matilde. 2015. « An Investigation of Various Hematological and Biochemical Parameters to Assess the Health of Nursery Pigs », 165.
- Perrin, Hugues. 2010. « L'anémie chez la truie hyperproliférique. Effet de l'administration de fer (gleptosil (R)) en fin de gestation sur les performances et l'hémoglobininémie ». Oniris.
- Pharmacosmos. 2018. *The uniferon Handbook 5 th edition*.
- Pouillevet, Hanae. 2018. « présentée et soutenue publiquement le 15 juin 2018 devant la Faculté de Médecine de Nantes par », 140.
- Ruchala, Piotr, et Elizabeta Nemeth. 2014. « The Pathophysiology and Pharmacology of Heparin ». *Trends in Pharmacological Sciences* 35 (3): 155-61. <https://doi.org/10.1016/j.tips.2014.01.004>.
- Siddique, A., et K. V. Kowdley. 2012. « Review Article: The Iron Overload Syndromes ». *Alimentary Pharmacology & Therapeutics* 35 (8): 876-93. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2036.2012.05051.x>.
- Sperling, Daniel, Barbara Freudenschuss, Aruna Shrestha, Barbara Hinney, Hamadi Karembe, et Anja Joachim. 2018. « Comparative Efficacy of Two Parenteral Iron-Containing Preparations, Iron Gleptoferron and Iron Dextran, for the Prevention of Anaemia in Suckling Piglets ». *Veterinary Record Open* 5 (1): e000317. <https://doi.org/10.1136/vetreco-2018-000317>.
- Staroń, Robert, Rachel P. L. Van Swelm, Paweł Lipiński, Anna Gajowiak, Małgorzata Lenartowicz, Aleksandra Bednarz, Małgorzata Gajewska, et al. 2015. « Urinary Heparin Levels in Iron-Deficient and Iron-Supplemented Piglets Correlate with Heparin Hepatic mRNA and Serum Levels and with Body Iron Status ». Édité par Kostas Pantopoulos. *PLOS ONE* 10 (8): e0136695. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136695>.
- Starzyński, Rafał R., Coby M. M. Laarakkers, Harold Tjalsma, Dorine W. Swinkels, Marek Pieszka, Agnieszka Styś, Michał Mickiewicz, et Paweł Lipiński. 2013. « Iron Supplementation in Suckling Piglets: How to Correct Iron Deficiency Anemia without Affecting Plasma Heparin Levels ». Édité par James R. Connor. *PLoS ONE* 8 (5): e64022. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064022>.
- Stewart. 2002. « The human spleen during physiological stress ». *Sports Medicine*.
- Svoboda, M., et J. Drábek. 2002. « Effect of Oral Administration of Fe²⁺-Fumarate on Erythrocyte Profile and Growth Rate of Suckling Piglets ». *Acta Veterinaria Brno* 71 (2): 217-22. <https://doi.org/10.2754/avb200271020217>.
- . 2005. « Iron deficiency in suckling piglets: parenteral and oral iron administration to piglets », 2005, folia vet édition.
- Svoboda, Martin, Radek Ficek, et Josef Drábek. 2007. « RETICULOCYTE INDICES IN THE DIAGNOSIS OF IRON DEFICIENCY IN SUCKLING PIGLETS », 6.
- Svoboda, Martin, et Karolína Píšťková. 2018. « Oral Iron Administration in Suckling Piglets – a Review ». *Acta Veterinaria Brno* 87 (1): 77-83. <https://doi.org/10.2754/avb201887010077>.
- Szabo, P, et G Bilkei. 2002. « Iron deficiency in outdoor pig production », 2002, J. Vet. Med. A Physiol. Pathol. Clin. Med. édition.

- Szudzik, Mateusz, Rafał Starzyński, Aneta Jończy, Rafał Mazgaj, Małgorzata Lenartowicz, et Paweł Lipiński. 2018. « Iron Supplementation in Suckling Piglets: An Ostensibly Easy Therapy of Neonatal Iron Deficiency Anemia ». *Pharmaceuticals* 11 (4): 128. <https://doi.org/10.3390/ph11040128>.
- Thomas, Christian, et Lothar Thomas. 2002. « Biochemical Markers and Hematologic Indices in the Diagnosis of Functional Iron Deficiency ». *Clinical Chemistry*, n° 7: 11.
- Thorn. 2010. *Schalm's Veterinary hematology sixth edition*. Wiley BlackWell.
- Tridelta Development Limited. s. d. « "Phase" TM Haptoglobin Assay ».
- Venn, J. A. J., R. A. Mc Cance, et E. M. Widdowson. 1947. « Iron Metabolism in Piglet Anaemia. » *Journal of Comparative Pathology* 57: 314-25. [https://doi.org/10.1016/S0368-1742\(47\)80037-2](https://doi.org/10.1016/S0368-1742(47)80037-2).
- Ventrella, Domenico, Francesco Dondi, Francesca Barone, Federica Serafini, Alberto Elmi, Massimo Giunti, Noemi Romagnoli, Monica Forni, et Maria L. Bacci. 2016. « The Biomedical Piglet: Establishing Reference Intervals for Haematology and Clinical Chemistry Parameters of Two Age Groups with and without Iron Supplementation ». *BMC Veterinary Research* 13 (1). <https://doi.org/10.1186/s12917-017-0946-2>.
- Von Bollwahn, W., et H. Knörl. 1983. *Klinik und Diagnose des latenten Eisenmangels beim Ferkel*.
- Vreugdenhil, AC. 1999. « Lipopolysaccharide binding protein and serum amyloid A secretion by human intestinal epithelial cells during the acute phase response ». *Journal of Immunology*.
- Wang, Jun, Desheng Li, Lianqiang Che, Yan Lin, Zhengfeng Fang, Shengyu Xu, et De Wu. 2014. « Influence of Organic Iron Complex on Sow Reproductive Performance and Iron Status of Nursing Pigs ». *Livestock Science* 160 (février): 89-96. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.11.024>.
- Wei, K. Q., Z. R. Xu, X. G. Luo, L. L. Zeng, W. R. Chen, et M. F. Timothy. 2005. « Effects of Iron from an Amino Acid Complex on the Iron Status of Neonatal and Suckling Piglets ». *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 18 (10): 1485-91. <https://doi.org/10.5713/ajas.2005.1485>.
- Yu, I. T., J. Lin, J. F. Wu, H. T. Yen, S. L. Lee, et T. S. Yang. 2002. « Reevaluation of the Necessity of Iron Injection to Newborn Piglets ». *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 15 (1): 79-83. <https://doi.org/10.5713/ajas.2002.79>.
- Zimmerman, J. 2019. *Diseases of swine*. 11 th edition.

Annexe 1 : Répartition géographique des élevages sélectionnés pour l'étude



Annexe 2 : Echelle des différents stades d'hémolyse des échantillons



Annexe 3 : Protocole expérimental

INRA-Agrocampus Ouest	MODE OPERATOIRE	N°d'expérience : Version : 1 <i>à discuter :</i> Date : 23/02/19
Protocole expérimental		Pages : 7

Vers une définition de valeurs de référence d'indicateurs sanguins de bonne santé des porcelets

Mots clés : *porc, fer, élevage biologique*

Titre abrégé : *Statut en fer des porcelets issus d'élevage biologiques*

Période expérimentale : *mars 2019 – juin 2019*

Département(s) + Champs Thématique(s) couvert(s) : *Phase, Champs Thématiques A*

Modification(s) effectuée(s) par rapport à la version précédente :

1. Responsable(s) de l'expérience :

- ✓ Porteur du projet : *Armelle Prunier*
- ✓ Rédacteur : *Maud Pauwels*

2. Collaboration scientifique :

Elodie Merlot (Equipe Adaptation de PEGASE)

Catherine Belloc (ONIRIS)

3. Collaboration technique :

- ✓ **PEGASE ou ADNC :**

Service	Nom	Localisation	N° poste
PEGASE	Françoise Thomas		
PEGASE	Sophie Darré		

- ✓ **Hors PEGASE ou ADNC :**

Laetitia Jaillardon (ONIRIS)

Mily Le Blanc-Maridor (ONIRIS)

Vincent Muller (vétérinaire praticien)

Gwendoline Hervé (vétérinaire praticienne)

4. Financement :

ERANET POWER

5. Contexte :

Les apports de fer aux porcelets dans le jeune âge sont essentiels pour la synthèse d'hémoglobine. Un déficit peut rendre les animaux plus sensibles aux maladies et être à l'origine d'un retard de croissance. En élevage biologique contrairement à l'élevage conventionnel, un apport par injection dans les jours suivants la naissance est loin d'être systématique. Lorsque les animaux sont élevés en plein air avec des sols contenant du fer, cela semble suffire pour éviter une carence mais cela reste à vérifier car peu de données sont disponibles. En élevage en bâtiment, certains éleveurs utilisent des apports de substitution via la tourbe par exemple. Cependant, peu, voire pas, de données sont disponibles dans la bibliographie pour évaluer le statut en fer des porcs recevant ce type d'apport.

6. Objectifs ou hypothèse de travail :

L'objectif de l'étude est d'évaluer le statut en fer de porcelets issus d'élevages biologiques de plein air ou en claustration.

7. Stratégie expérimentale :

7.1. Principe de l'expérience :

L'expérience se déroulera dans 19 élevages de porcs biologiques (10 en plein air et 9 en bâtiment). Les pratiques de suppléments des élevages seront prises en considération afin d'obtenir des élevages pratiquant ou non une supplémentation en fer (par voie injectable lorsqu'elle est réalisée). Les prises de sang se feront le jour du sevrage (-3 jours, +1 jour), sur 30 porcelets maximum par élevage. La répartition se fera de la manière suivante : 7 portées retenues (2 portées issues de cochettes ; 3 portées issues de truies de la 2^{ème} au 5^{ème} rang de portée ; 2 portées issues de truies ayant un rang de portée supérieur à 6 (ou les truies les plus vieilles de l'élevage)) avec 4 porcelets par portée (femelle de petite taille, femelle de grande taille, mâle de petite taille et mâle de grande taille) ainsi que 2 porcelets supplémentaires pris au hasard. Cette répartition nous permet d'avoir une approche globale du statut en fer de l'élevage mais également de prendre en compte certains paramètres pouvant influencer le taux d'hémoglobine des porcelets (à savoir : le sexe, la taille des animaux, le rang de portée des mères).

7.2. Mesures en cours d'expérimentation

- ✓ Les porcelets élevés en plein air (ou en bâtiment lorsque les portées se mélangent) seront bouclés lors des soins (vers 7 jours) afin de garantir une traçabilité de leur filiation.
- ✓ Chaque porcelet sera pesé le jour de la prise de sang, qui sera le jour du sevrage dans la mesure du possible (pour des questions de biosécurité et d'indisponibilité de l'éleveur ; le jour du sevrage n'est pas toujours le jour du prélèvement). Cependant, lorsque le jour du prélèvement ne correspond pas au jour du sevrage, le prélèvement se fait maximum 3 jours avant le sevrage et maximum le lendemain. La pesée se fera à l'aide de pesons (dynamomètre de marque Kern & Sohn 5KHN). L'animal sera placé dans un sac cabas pour faciliter la pesée.
- ✓ Dans certains élevages, un test à l'hémocue® (dosage de l'hémoglobine en ferme) sera réalisé en parallèle sur les porcelets afin de constater une différence ou non entre l'analyse en laboratoire et l'analyse à l'hémocue®.
- ✓ Les données concernant les pratiques de l'élevage seront collectées au maximum grâce aux Bilans Sanitaires d'Élevages (BSE) réalisés par leurs vétérinaires traitants (Vincent Muller et Gwendoline Hervé). Les pratiques mentionnées et non renseignées dans les BSE seront confirmées et demandées le jour de la visite avec l'éleveur. La collecte de ces informations sera résumée dans un questionnaire (annexe 1). Les informations concernant les prélèvements (identification de l'animal, son sexe, sa taille, son poids et son affiliation) seront répertoriées sur place à l'aide d'une feuille de prélèvement (annexe 2).

- ✓ Intervenants : *Maud Pauwels avec aide ponctuelle d'A. Prunier, V. Muller, C. Belloc*

7.3. Prélèvements en cours d'expérimentation et/ou à l'abattoir

- ✓ Les prises de sang seront réalisées avec une aide à la contention de l'animal (l'éleveur ou les aides). La contention se fera par une personne assise maintenant l'animal sur le dos entre ses genoux avec la tête de celui-ci vers le bas en direction de la personne réalisant la prise de sang. Le manipulateur se trouvera face à la personne assise. Le prélèvement se fera à la veine jugulaire grâce à un vacutainer, 2 tubes de prélèvements seront nécessaires pour l'analyse des paramètres sanguins (tube sec (4mL) et EDTA (4mL)). Elles se feront le jour du sevrage (-3 jours, +1 jour).
- ✓ Intervenants : *Maud Pauwels avec aide ponctuelle d'A Prunier, V. Muller, C Belloc...*

7.4. Précautions particulières :

Des mesures de biosécurité devront être prises. En ce qui concerne le matériel de prélèvements, une aiguille (20G*25mm) sera utilisée pour chaque porcelet. Le prélèvement se réalisera via le vacutainer, il sera nettoyé et désinfecté entre chaque portée. Le peson sera nettoyé et désinfecté entre chaque élevage. Le sac cabas sera propre à chaque élevage. Les tenues des manipulateurs (bottes et cottes) seront celles de l'élevage si celles-ci sont à disposition. Si ce n'est pas le cas, une tenue propre sera utilisée pour chaque élevage. Les bottes seront lavées et désinfectées. Les manipulateurs porteront une paire de gant qui sera changée entre chaque portée. Le véhicule sera garé le plus loin possible de l'élevage. Des mesures de biosécurité supplémentaires pourront être prises en fonction du statut sanitaire de l'élevage (ex : douche chez les multiplicateurs).

7.5. Coordination des intervenants :

Maud Pauwels

7.6. Récupération des échantillons et des données brutes.

- ✓ Echantillons : 600 échantillons
- ✓ Des aliquots seront réalisés au fur et à mesure
 - 3 aliquots de plasma EDTA :
 - Haptoglobine (300µL)
 - Conservation de 300 µL pour l'INRA Pégase (en réserve)
 - Conservation du reste à -20°C pour d'autres analyses éventuelles
 - 4 aliquots de sérum :
 - Electrophorèse des protéines, protéines totales et albumine (250µL)
 - Fer (300 µL)
 - dROM/ BAP (300µL)
 - Conservation du reste à -20°C pour d'autres analyses éventuelles
- ✓ Données mesurées : Numération formule, protéines totales, albumine, électrophorèse des protéines, fer, haptoglobine, stress oxydatif (FRAP et dROM)
- ✓ Données éventuellement mesurées par la suite : TIBC, transferrine, hepcidine
- ✓ Intervenants : Maud Pauwels, Laetitia Jaillardon, Léa
- ✓ Identification des aliquots :
 - Nom de l'expérience : Power 1
 - N° du porcelet, lettre anonymante de l'élevage
 - Nature de l'anticoagulant
 - Nature de l'analyse réalisée
- ✓ Conservation des échantillons : à -20°C au congélateur

7.7. Gestion des déchets

Récupération des aiguilles souillées ainsi que les déchets biologiques dans un bac collecteur prévu à cet effet.

7.8. Analyses biologiques :

Type(s) d'échantillon(s)	Type(s) d'analyse(s)	Nombre	N° MO	Intervenant(s)
Sang total (EDTA)	Formule sanguine	600		M.Pauwels
Plasma (EDTA)	haptoglobine	600		F Thomas/S Darré
Sérum	fer	600		F Thomas/S Darré
Sérum	BAP et dROM	600		F Thomas/S Darré
Sérum	Protéines totales/ albumines	600		M.Pauwels / Léa
Sérum	Electrophorèse des protéines	600		Léa

7.13. Analyses statistiques :

ANOVA ou tests non paramétriques selon la distribution des mesures. Modèles mixtes en ANOVA avec le mode de logement en effet fixe, l'élevage en effet aléatoire. Selon la structure de l'échantillon, on testera l'effet du sexe, du poids au sevrage (covariable) et de la parité des truies

8. Calendrier :

Fin Février jusque 20 Avril : prélèvements dans les élevages

Mi-mai : analyse du fer, de l'haptoglobine et du stress oxydatif (dROM et BAP)

Mars-Juin : rédaction de la thèse

9. Ethique :

- ✓ Soumission au comité d'éthique (CERVO) :

A venir

10. Valorisation des résultats :

Thèse vétérinaire, rapport pour POWER, article pour JRP

<i>Rédigé par :</i> <i>Nom : Maud Pauwels</i> <i>Fonction : stagiaire vétérinaire</i>	<i>Discuté :</i> <i>En équipe (le 20/02/19)</i>	<i>Archivage :</i> ✓ <i>Intranet</i> ✓ <i>Démarche qualité</i>
<i>Diffusion :</i> - à tous les intervenants - sur Intranet (démarche qualité et/ou installations expérimentales)		
<i>Restitution le : 20/06/19 et le 12 / 07 /19</i> <i>Par : Maud Pauwels</i>		

Lettre de consentement éclairé

« Je soussigné(e) (Nom Prénom), demeurant
..... (Adresse) à (Localité) reconnais avoir été informé(e) par Maud
PAUWELS de l'intégralité des procédures mises en jeu lors de l'étude sur *l'évaluation du
statut en fer des porcelets d'élevages biologiques* dans laquelle j'accepte librement que soient
inclus les animaux suivants dont je suis le propriétaire* ou le détenteur* (précisez ci-dessous
les éléments d'identification disponibles : Numéro de lot, espèce, race et âge):

.....
.....
.....

J'atteste avoir compris les bénéfices attendus et les risques potentiels listés au verso de cette
page, liés à la mise en œuvre de cette étude et qui m'ont été clairement énoncés par Maud
PAUWELS.

J'ai noté que la participation à l'étude n'occasionne aucun frais supplémentaire à ma charge et
qu'elle ne s'accompagne pas non plus d'une rémunération associée.

J'ai été prévenu(e) que j'ai le droit à tout moment et pour quelque raison que ce soit de retirer
mes animaux de l'étude.

J'autorise les Unités Mixtes de Recherche INRA-Oniris BIOEPAR et INRA-
AgroCampusOuest PEGASE et/ou leurs partenaires dans l'étude à utiliser les données et les
prélèvements de mon animal de manière anonyme dans le but d'améliorer l'état des
connaissances scientifiques et techniques sur le sujet. Je consens cependant à la levée de
l'anonymat si celle-ci est demandée par les autorités publiques.

Je déclare avoir eu de la part de Maud PAUWELS toutes les réponses à mes questions.

Fait à, le 20..

Signature du propriétaire* des animaux
ou de son mandataire*

* rayer la mention inutile

Evaluation du statut en fer des porcelets d'élevages biologiques

Investigateur : Maud PAUWELS

Bénéfices attendus	Contraintes éventuelles
Description du statut en fer des porcelets au sevrage en fonction du type d'élevage (bâtiment et plein air) et des pratiques d'administration de fer en prévention de l'anémie.	Bouclage des porcelets, Prises de sang, Pesées.

Fait à....., le 20..

Signature de l'investigateur

Signature du propriétaire* des animaux
ou de son mandataire*

* rayer la mention inutile

- Supplémentation quelconque : (+ indications dans quel cas on le fait)
 - phytothérapie
 - aromathérapie
 - homéopathie

Alimentation :

- Plan alimentaire des porcelets :
 - Accès à de l'aliment solide Oui à partir de quand ? :
Non
 - Autres :
- Plan alimentaire des truies :
 - Avant la mise bas :
 - Quoi :
 - Quand :
 - Quantité :
 - Durant la lactation :
 - Quoi :
 - Quand :
 - Combien :
- Supplémentation
 - Oligoéléments :
 - Vitamine :
 - Calcium
 - Huile de foie de morue :
- L'accès à l'eau :
 - Déférisé : Oui Non
 - Analyses réalisées : Oui résultat : Non
 - Chlore
 - Peroxyde

Type de sol :

Prise colostrale :

- objectivée Oui Non Comment :

Gestion des adoptions :

A partir de quand se déroulent les adoptions ?

Assistance aux MB

Sur combien de jours s'étalent les MB ?

Annexe 6 : Feuille d'accompagnement des prélèvements

Commémoratifs associés aux prélèvements

Date :

Nom de l'élevage : Lettre associée :

Adresse :

Distance de Nantes :

Téléphone :

Porcelets	Corpulence	Sexe	Rang de portée de la mère	Poids	Date de la mise bas	Divers
Porcelet n°1						
Porcelet N°2						
Porcelet n°3						
Porcelet n°4						
Porcelet n°5						
Porcelet n°6						
Porcelet n°7						
Porcelet n°8						
Porcelet n°9						
Porcelet n°10						
Porcelet n°11						
Porcelet n°12						
Porcelet n°13						
Porcelet n°14						
Porcelet n°15						
Porcelet n°16						
Porcelet n°17						
Porcelet n°18						
Porcelet n°19						
Porcelet n°20						
Porcelet n°21						
Porcelet n°22						
Porcelet n°23						
Porcelet n°24						
Porcelet n°25						
Porcelet n° 26						
Porcelet n° 27						
Porcelet n° 28						
Porcelet n° 29						
Porcelet n°30						

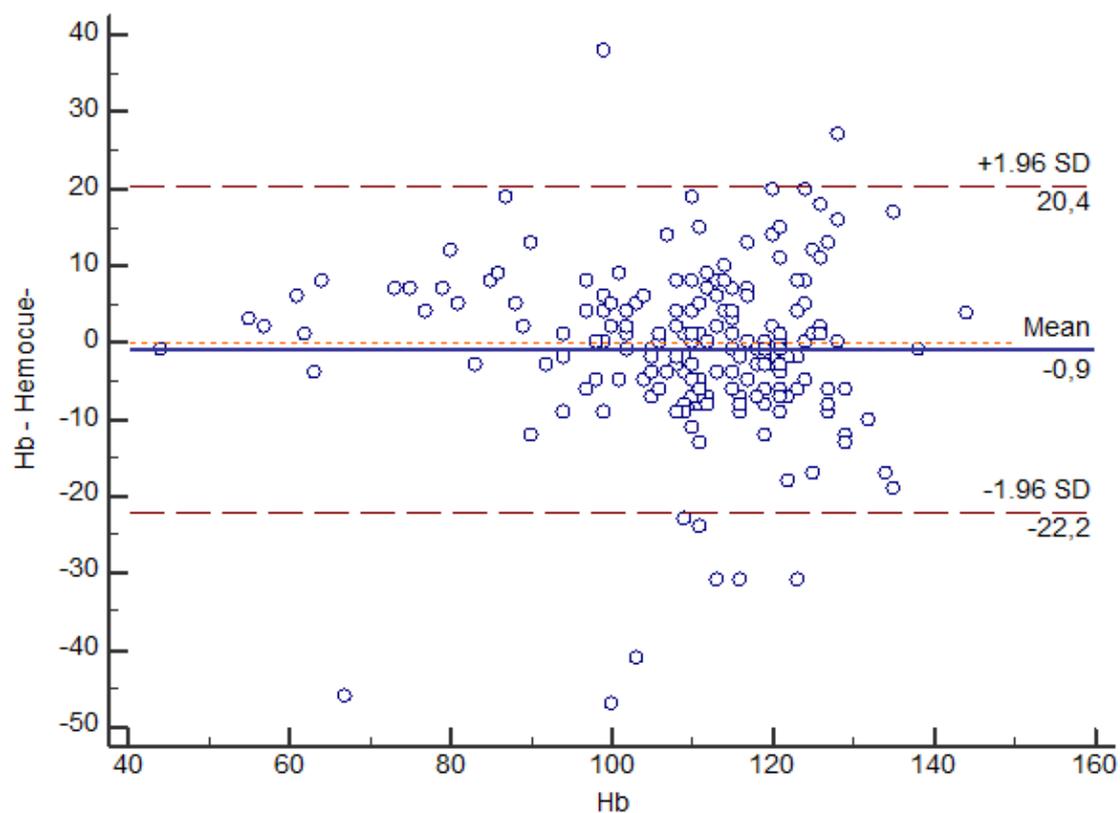
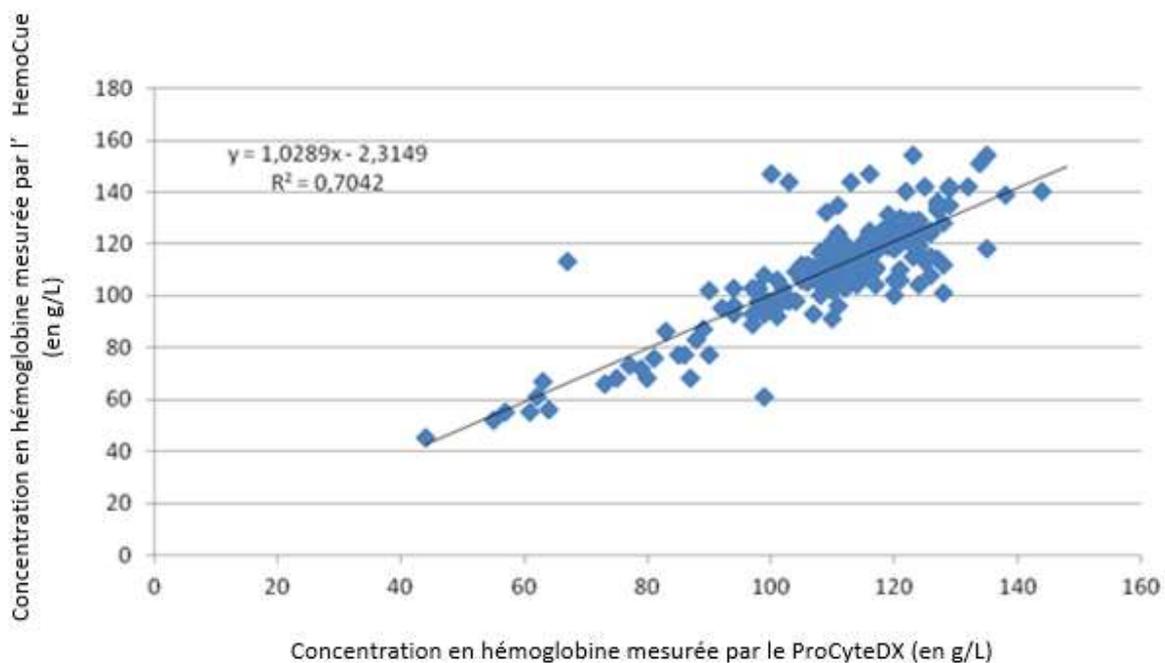
Annexe 7 : Pratiques d'élevages relatives aux médecines alternatives

Produits	Nom des élevages																			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
Calcium						P.	P.													
Vitamine						P.	P.													
Oligoéléments																				
Huile de foie de morue																				
Sucre																				
Mixtral®																				
Tarital®																				
Wombyl®																				
Carepulse®																				
Epatral®																				
Murotonic®																				
Avicunivap																				
Stimuporc																				
Luracell																				
Caredig																				
Kéfir																				
Vinaigre																				

Annexe 8 : Les indications et les doses relatives aux médecines alternatives utilisées dans les élevages biologiques

Nom du produit	Indications	Posologies exécutées en moyenne (par truie)
Mixtral ®	Soutient de la sphère urinaire	60 mL : 3 jours avant MB et 5 jours après MB
Tarital ®	Aide au tarissement des truies	150 mL : la veille du sevrage et le jour du sevrage
Carepulse ®	Prévention des diarrhées	10 jours avant la MB
Wombyl ®	Aide à la délivrance	5 mL : 1 fois par jour
Huile de foie de morue	Aide à la mise à la reproduction	50 mL pendant 5 jours ou plus
Sucre	Aide à la mise à la reproduction	500 g pendant 5 jours (avant IA)
Epatral ®	Aide au maintien de la fonction hépatique	18,5 mL par jour pendant 5 jours
Avicunivap	Huile essentielle	Tous les 2 mois
Murotonic	Aide à la tonicité de l'utérus	
Stimuporc	Homéopathie : aide les défenses immunitaires contre le virus de la grippe	
Luracell (levure)	Prévenir la congestion mammaire en été	10 fois la dose prescrite ; 10 jours avant la MB
Kéfir	Ensemencement de la flore	Distribution aux porcelets
Vinaigre	Soutient de la flore digestive	Distribution aux porcelets dans l'eau de boisson

Annexe 9 : Régression linéaire de la concentration en hémoglobine mesurée par l'HemoCue et le ProCyte DX ainsi que le graphique de Bland Altman correspondant



EVALUATION DE L'INTERET DE LA SUPPLEMENTATION EN FER EN ELEVAGE BIOLOGIQUE PORCIN

RESUME :

Le lait maternel étant carencé en fer, le porcelet est sujet à l'anémie en l'absence d'apport de fer. En plein air, le comportement de fouissage permettrait au porcelet de combler ce manque tandis qu'en bâtiment une administration de fer est nécessaire. Cette étude a étudié les paramètres hématologiques au sevrage (42 jours) sur 568 porcelets dans 20 élevages biologiques, 9 en bâtiment et 11 en plein air. Plusieurs paramètres sanguins relatifs à la lignée érythrocytaire (ProCyteDX) et aux indicateurs généraux de sante ont été mesurés (concentration en hémoglobine (Hb), hématocrite, nombre de globules rouges et leurs caractéristiques, fer total sérique, numération réticulocytaire, concentration en hémoglobine réticulocytaire, haptoglobine, les produits d'oxydation (dROM) et capacité anti-oxydante (BAP)). La plupart des paramètres sanguins de la lignée érythrocytaire sont significativement plus élevés chez les porcelets en plein air qui ne reçoivent pas d'injection de fer (médiane Hb : 119 g/L) qu'en bâtiment malgré une injection de 200 mg de fer (médiane Hb : 106 g/L). Aucune différence significative sur les paramètres sanguins mesurés n'est observée concernant le type de fer injectable (dextran ou gleptoferron). La concentration plasmatique en haptoglobine est significativement plus importante chez les porcelets élevés en bâtiment qu'en plein air alors que celles en dROM et BAP ne diffèrent pas. En conclusion, l'administration de 200 mg de fer permet d'éviter l'anémie chez les porcelets en bâtiment même si la concentration en hémoglobine du sang reste inférieure à celle de porcelets en plein air non supplémentés en fer.

MOTS CLES :

- Porcelet
- Fer
- Anémie
- Agriculture biologique
- Hématologie

JURY

Président : Monsieur LUSTENBERGER, Professeur à la faculté de Nantes

Rapporteur : Madame Catherine BELLOC, Professeur à Oniris, Nantes

Assesseur : Madame Laetitia JAILLARDON, Maitre de conférences à Oniris, Nantes

Invitée : Madame Mily LEBLANC –MARIDOR, Maitre de conférences à Oniris,
Nantes

Maud Pauwels
274 fichaux straëte
59285 Rubrouck

COREP copie & impression

25 route de la Jonelière

44300 Nantes

