



HAL
open science

La diversification génétique et des pratiques dans le pilotage de la santé des lapins évalué par un défi vaccinal

Linda Cletchio Gabriella Traore

► To cite this version:

Linda Cletchio Gabriella Traore. La diversification génétique et des pratiques dans le pilotage de la santé des lapins évalué par un défi vaccinal. Sciences du Vivant [q-bio]. 2020. hal-03152690

HAL Id: hal-03152690

<https://hal.inrae.fr/hal-03152690>

Submitted on 25 Feb 2021

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.

Mémoire de fin d'études

Présenté pour l'obtention du Master
Mention : **Agronomie et Agroalimentaire**
Parcours : **Systemes d'élevage**

La diversification Génétique et des pratiques dans le pilotage de la santé des lapins « Evalué par un défi vaccinal »



par **Linda Cletchio Gabriella TRAORE**

Photo : Davi S.

Année de soutenance : **2020**

Organisme d'accueil : INRAE de Toulouse, Unité Mixte de Recherche,
Génétique Physiologie et Système d'Elevage (GenPhySE)

Mémoire de fin d'études

présenté pour l'obtention du Master
Mention: **Agronomie Agroalimentaire et Environnement**
Spécialité : **Systeme d'élevage**

**La diversification génétique et des pratiques dans le pilotage de la santé
des lapins « Evalué par un défi vaccinal »**



par **Linda Cletchio Gabriella TRAORE**

Photo : **Davi S.**

Année de soutenance : **2020**

Mémoire préparé sous la direction de :
Magali JOUVEN

Organisme d'accueil : **INRAE de
Toulouse, Unité Mixte de Recherche
GenPhySE**

Présenté le : 15/10/2020

Devant le jury :

Maître de stage : **Davi SAVIETTO**

Magali JOUVEN

Davi SAVIETTO

Jean-Baptiste MENASSOL

Alain DUCOS

RESUME

Le lapin est parmi les espèces d'élevage celui qui reçoit le plus de traitements antibiotiques par kilogramme de poids vif. L'antibiorésistance est aujourd'hui un problème de santé public mondial et ce mode de production ne convient plus aux consommateurs. Il faut donc penser des systèmes de productions moins dépendants des antibiotiques, plus respectueux du bien-être animal et de l'environnement. En se fondant sur les principes de l'agroécologie, cette étude a portée sur l'analyse des réponses à un stress vaccinal pour déterminer la robustesse des lapereaux de souche INRA et de Croisés (INRA et la Fauve de Bourgogne), soumis à une diversité de stratégies d'alimentation et d'adoption.

Le vaccin contre la Myxomatose et la maladie hémorragique virale du lapin (MHL) a servi pour le stress vaccinal. Un prélèvement de 1 ml de sang a été réalisé sur 82 lapins, avant la vaccination, puis 24 et 48h après la vaccination. Les analyses statistiques de l'hémogramme des lapins montrent qu'il y'a une augmentation significative du nombre de neutrophiles entre 24 et 48h pour tous les INRA (54,5%), supérieure à celle des Croisés (41%) ($P < 0.05$) et une diminution significative du nombre de monocytes des INRA par rapport au Croisés (8,9% vs. 11,5% respectivement) dans la modalité proche du système d'élevage conventionnel. Cependant lorsque les INRA sont dans des milieux très diversifiés, il n'y a aucune différence significative notée pour tous les différents leucocytes au cours du temps.

Cette étude représente une approche exploratoire pour réduire l'usage d'antibiotiques dans les élevages. Elle souligne (i) que la vaccination est un moyen pour apprécier la robustesse des lapereaux d'élevage en respectant le bien-être animal, puis (ii) que la mixité génétique, la diversification des pratiques d'élevage et de conduite de l'adoption pourraient améliorer la santé globale du troupeau.

Mots clés : Antibiotiques, Antibiorésistance, Diversité, Santé, Bien-être animal

SUMMARY

Rabbits are among the farmed species that receive the higher amounts of antibiotic treatment per kilogram of live weight. However, antibiotic resistance is now a global public health problem and this method of production is no longer suitable for consumers. Therefore, it's necessary to think about production systems which are less dependent on antibiotics and more respectful the environment and of animal welfare. Based on the principles of agroecology, this study focused on vaccine stress to analyze the robustness of INRA and cross-breeds (INRA and Fauve de Bourgogne), subjected to a diversity of feeding and adoption strategies.

Myxomatosis and rabbit hemorrhagic disease (VHD) vaccine was used in a vaccine stress. A milliliter of blood sample was taken from 82 rabbits before vaccination, and at 24 and 48 hours after vaccination. Statistical analyses of the rabbit blood cells count showed that there was a significant increase in neutrophil count between 24 and 48h for all INRAs (54.5%), greater than the Crossbreeds (41%) ($P < 0.05$) and a significant decrease in the number of monocytes of INRAs compared to the Crossbreeds (8.9% vs. 11.5% respectively) in the modality close to the conventional breeding system. However, when INRA were raised in very diverse environments, there was no significant difference noted for all the different leukocytes over time.

This study constitutes an exploratory approach to reduce antibiotics in the farms. It emphasizes (i) that vaccination is a mean of assessing the robustness of growing rabbits while respecting animal welfare, and that (ii) genetic mixing, diversification of breeding practices and cross fostering could improve the overall health of the herd.

Key words: Antibiotics, Antibiotic resistance, Diversity, Health, Animal welfare

REMERCIEMENTS

L'aboutissement de ce présent mémoire est l'effort conjugué de plusieurs personnes qui, de près ou de loin m'ont témoigné de leur soutien et ont participé à sa réalisation.

J'adresse particulièrement mes remerciements à mon maître de stage Davi SAVIETTO, dont la bienveillance, la patience malgré les conditions difficiles depuis le Burkina, la rigueur dans le travail, et la grande disponibilité sans faille, ont permis de mener à bien le stage et l'écriture du rapport. Ce fut un plaisir d'apprendre à vos côtés.

Ma gratitude va également à l'endroit de Magali JOUVEN, ma tutrice pédagogique, votre soutien incommensurable depuis le Burkina, vos conseils et remarques, m'ont été d'une très grande utilité aussi bien tout le long du stage que pendant l'écriture du mémoire.

Un grand merci à Carole BANNALIER pour sa patience, sa gentillesse, les conseils pratiques et les connaissances acquise durant les analyses aux labos.

Merci à Laurent CAUQUIL, pour avoir accepté que je partage le bureau, pour sa bienveillance et sa disponibilité au cours des analyses statistiques. Merci à toute l'équipe de GenPhySE, pour l'accueil, les poses café, vous avez su rendre mon séjour très agréable.

A Frédéric DOUHARD et Mathieu ARNAL, merci pour les déjeuners, poses café et les échanges très instructifs, vous avez su rendre mon séjour à l'unité très agréable.

A Jean-Marie BONNEMERE et à tous les membres du jardin potager de INRAE Toulouse, pour les après-midis de partage et d'apprentissage pratiques.

Une profonde gratitude à tout le corps professoral de l'Institut Agro de Montpellier Supagro, pour le savoir transmis, la disponibilité, la bienveillance à notre égard tout au long de la formation de Master.

Une dédicace spéciale à ma famille, mes parents, mes deux adorables petites sœurs, pour l'amour, le soutien, les prières et la confiance sans cesse renouvelée. C'est à vous que je dois tout ce que je suis, je vous en suis éternellement reconnaissante.

TABLE DES MATIERES

RESUME	iii
SUMMARY	iv
REMERCIEMENTS	v
TABLE DES MATIERES	vi
LISTES DES FIGURES	viii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES PHOTOS	ix
LISTE DES ANNEXES	ix
SIGLES ET ABREVIATIONS	x
INTRODUCTION	1
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	3
A. Les écosystèmes naturels : Définition et importance de la biodiversité pour les écosystèmes naturels	3
1. Définitions	3
2. Importance de la biodiversité dans les écosystèmes	3
B. Le système intensif : Origines, atouts et limites	4
1. Origine de l'intensification de la production	4
2. Les avantages de l'élevage intensif	4
3. L'élevage intensif : les conséquences de la perte de la biodiversité	5
C. Les grandes composantes de l'écosystème de l'élevage de lapin industriel	6
1. La biocénose : la sélection génétique et l'alimentation	6
<i>Le lapin d'élevage</i>	6
<i>L'alimentation</i>	7
2. Le biotope : Milieu de vie et conduite d'élevage	8
<i>Le milieu de vie</i>	8
<i>La conduite d'élevage</i>	9
D. L'agroécologie : cadre conceptuel pour des systèmes de production durable	12
E. L'application des principes de l'agroécologie aux élevages cunicole	13
F. Les principes agroécologiques mobilisés dans cette étude	14
PROBLEMATIQUE	15
MATERIELS ET METHODES	16
A. Les animaux, la composante biotique	16
B. Le milieu de vie, la composante abiotique	16
C. Aliments et programme d'alimentation (maternité et engraissement)	17
D. Les Pratiques	18
1. Cycle de reproduction	18
2. Stratégie d'adoption des lapereaux	18
E. Dessin expérimentaux et distribution spatial des femelles en maternité	18
F. Les paramètres mesurés	20
G. Défi vaccinal : proxy de la réponse immunitaire innée des lapereaux en engraissement	20

H. Les analyses statistiques	20
RESULTATS	22
A. Défi vaccinal	22
1. La réponse immunitaire globale : Les globules blancs totaux	22
<i>Génétique × Aliment × Adoption au cours du temps</i>	22
B. L'immunité innée : les Monocytes, les Neutrophiles, les Eosinophiles et les Basophiles	23
1. Monocytes	23
<i>Génétique × Aliment × Adoption au cours du temps</i>	24
2. Neutrophiles	25
<i>Génétique × Aliment au cours du temps</i>	25
<i>Génétique × Adoption au cours du temps</i>	26
3. Eosinophiles	27
4. Basophiles	29
C. L'immunité acquise : les Lymphocytes	30
1. Lymphocytes	30
<i>Génétique × Adoption au cours du temps</i>	31
D. Synthèse des résultats statistiques	32
DISCUSSION	33
A. Impact du défi vaccinal sur la réponse immunitaire globale	33
B. Les pratiques diversifiées impactent la réponse inflammatoire	33
C. L'immunité acquise non observée	35
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	36
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	37
ANNEXES	45

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Schéma de sélection des lapins de chair accouplé aux différents opérateurs qui entrent dans le programme de sélection, multiplication et production des lapins	7
Figure 2	Organisation spatio-temporelle de la maternité et de l'engraissement en système classique	10
Figure 3	Organisation spatio-temporelle de la maternité et de l'engraissement en système tout-plein tout-vide	11
Figure 4	Le schéma de la stratégie d'adoption lapereaux à la naissance (entre : entre-génotypes, intra : intra-génotypes), selon le génotype (C : croisé, I : Inra) et l'aliment (San : santé, Lac : lactation) des mères nourrices	19
Figure 5	Distribution spatiale des femelles (I : Inra, F : fauve et C : croisées) dans le bâtiment maternité.	19
Figure 6	Pourcentage de monocytes, des lapins sains âgés de 44 jours, à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction du génotype INRA et Croisé, de l'aliment disponible avant le sevrage Lactation ou Santé et la stratégie d'adoption entre- et intra-génotypes	23
Figure 7	Pourcentage de neutrophiles des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction du génotype et de l'aliment disponible avant le sevrage. Gauche aliment lactation. Droite aliment santé	25
Figure 8	Pourcentage de neutrophiles des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction du génotype INRA, et de la stratégie d'adoption Intra-génotypes à gauche et entre-génotypes à droite.	26
Figure 9	Pourcentage de lymphocytes des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction du génotype et de la stratégie d'adoption. Gauche adoption intra-génotypes. Droite adoption entre-génotypes.	27
Figure 10	Pourcentage d'éosinophile des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction de leur génotype INRA et Croisé	28
Figure 11	Pourcentage d'éosinophile des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction de la stratégie d'adoption.	28
Figure 12	Pourcentage de éosinophiles des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction de l'aliment Lactation ou Santé disponible avant le sevrage.	29
Figure 13	Pourcentage de basophiles des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction de la génétique et la stratégie d'adoption.	30
Figure 14	Pourcentage de lymphocytes des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction du génotype et de la stratégie d'adoption.	31

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Les paramètres d’ambiance et de densité dans un bâtiment d’élevage de lapin Adaptée de Lebas (2008) et Coureaud et al. (2015)	8
Tableau 2.	Les principes et pratiques agroécologiques pour l’évolution des systèmes d’élevage en bâtiment Adaptée de Fortun-Lamothe et al. (2013)	14
Tableau 3.	Synthèse des résultats obtenus de l’analyse de l’impact de différents facteurs génétiques, aliments et adoptions ainsi que leurs interactions sur la réponse immunitaire globale, innée et adaptative.	32

LISTE DES PHOTOS

Photo 1	Une lapine fauve et INRA (de gauche à droite) dans une cage polyvalente équipée d’une boîte à nid avec des lapereaux, et d’une mangeoire type trémie (photo prise par Davi, 13/09/2019)	17
Photo 2	Des lapins en stratégie d’adoption entre-génotypes (prise par Davi le 18/10/2019)	18

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1	Ingrédients et composition chimiques des aliments lactation (Lac) et santé (San)	45
Annexe 2	Nombre de globules blancs par litre de sang des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction du génotype et de l’aliment disponible avant le sevrage.	46
Annexe 3.	Nombre de globules blancs par litre de sang des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction du génotype et de la stratégie d’adoption.	46
Annexe 4	Nombre de globules blancs par litre de sang des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction de l’aliment et de la stratégie d’adoption.	47

SIGLES ET ABREVIATIONS

ACP	: Analyse en composante principale
C	: Lapins croisés
CDB	: Convention sur la Diversité Biologique
cm	: Centimètre
EDTA	: Acide Ethylène Diamine Trétra-Acétique
F	: Lapin Fauve de Bourgogne
g	: Gramme
GenPhySE	: Génétique Physiologie et Système d'élevage
g/j	: Gramme/jour
h/j	: Heure/jour
I	: Lapin INRA 1777
IA	: Insémination Artificielle
INRAE	: Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement
INSEE	: Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
ITAVI	: Institut Technique des filières Avicoles, cunicoles et piscicoles
Lac	: Aliment type Lactation
m ²	: Mètre carrée
MHL	: Maladie hémorragique virale du lapin
MS	: Matières sèches
MJ	: Mégajoules
San	: Aliment type Santé
VHD	: Viral hemorrhagic disease

INTRODUCTION

La découverte des antibiotiques dans les années 1930 a été une révolution en médecine humaine et vétérinaire et a impacté le secteur de l'agro-alimentaire. En effet, l'utilisation des antibiotiques a servi à prévenir et traiter des maladies infectieuses humaines et animales d'origines bactériennes. Cela a ainsi permis, de prolonger l'espérance de vie, de limiter les pertes et d'améliorer les revenus des producteurs et transformateurs de productions agricoles (Kirchhelle, 2018).

Pour la production animale intensive, le recours aux antibiotiques est devenu la panacée aux problèmes sanitaires, et a permis de contenir les risques économiques dus aux mortalités précoces (Kirchhelle, 2018). En France, la production cunicole en particulier, se classe parmi celle qui a plus recours aux produits zoo-sanitaires soit 0,20 g/kg de poids vif en 1983 (Licois, 1996) et 0,35g/kg de poids vif en 2017 (Trillaud, 2019). Cependant, l'utilisation abusive et inappropriée en santé humaine et animale de ce « produit miracle », pose des problèmes de santé publique.

En outre, lorsqu'une bactérie est trop exposée à un antibiotique spécifique, celle-ci, s'adapte et développe des mécanismes de résistance contre l'action de l'antibiotique, et limite ainsi l'efficacité de l'antibiothérapie. Les bactéries résistantes sont facilement transmissibles de l'animal à homme par la chaîne alimentaire ou par une proximité homme-animal (Lhermie et al., 2015) et passent aussi dans l'environnement par l'épandage des fèces ou du lisier dans les champs. Ensuite, l'antibiorésistance favorise l'utilisation d'antibiotiques et la recherche autant en médecine humaine que vétérinaire d'antibiotiques capables d'empêcher le développement et la multiplication d'un plus grand nombre de souches de bactéries pathogènes. Enfin avec l'antibiorésistance, les maladies considérées bénignes pourraient provoquer la mort de 10 millions de personnes d'ici 2050 (Lesage, 2015). Ainsi, réduire le recours aux intrants pharmaceutiques, et trouver des solutions alternatives est le défi sanitaire majeur de la médecine du 21^{ème} siècle.

La recherche d'un animal parfait, très productif et résistant aux maladies s'avère être difficilement réalisable, dans des environnements limitants (Sánchez et al., 2008 ; Phocas et al., 2017). C'est pourquoi les études récentes portent sur le microbiote intestinal et les moyens de limiter la transmission de gènes d'antibiorésistance du lapin par une gestion intégrée de la santé des lapins, pour des animaux qui s'adaptent aux milieux changeants (Fortun-Lamothe et Boullier, 2007 ; Achard et al., 2015). Le lapin a la particularité d'avoir un système immunitaire stimulé et un répertoire d'anticorps régulé par sa flore intestinale. La composition de celle-ci est influencée par le microbiote de la mère avant le sevrage, le milieu de vie et l'alimentation.

De ce constat, notre étude s'inscrit dans la recherche de solutions alternatives. L'objectif est de construire des systèmes de production cunicole moins dépendante des antibiotiques. Elle se fonde sur les principes de l'agroécologie pour renforcer le système immunitaire et limiter le recours aux intrants pharmaceutiques. Notamment sur l'hypothèse que la diversification de la génétique et des pratiques serait un moyen pour développer les interactions entre les différentes composantes de l'écosystème. L'étude teste ainsi, l'intérêt de l'introduction d'une diversité génétique, et de l'utilisation de deux aliments différents : (i) sur le développement du système

immunitaire des lapereaux élevés en troupeau multi-race et uni-race, (ii) sur l'immunité du groupe et sur les (iii) paramètres zootechniques des femelles et leurs portées. Cette thématique est portée par une équipe de chercheurs de l'unité Génétique Physiologie et Système d'Élevage (GenPhySE) de l'Institut Nationale de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement (INRAE) de Toulouse que j'ai intégré dans le cadre de mon stage de fin d'étude. Le présent mémoire est articulé comme suit :

1. Une première partie porte sur la présentation de la synthèse bibliographique qui justifie l'intérêt de l'étude et se termine par une analyse de la problématique et des objectifs de l'étude.
2. Une deuxième partie porte sur le plan d'expérience, la méthodologie d'obtention et l'analyse des échantillons ainsi que le traitement statistique des données.
3. Une troisième partie présente les résultats.
4. Enfin la quatrième et dernière partie portera sur la discussion des résultats selon les objectifs fixés et comparés aux études qui ont portées sur la question.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

A. Les écosystèmes naturels : Définition et importance de la biodiversité pour les écosystèmes naturels

1. Définitions

L'écosystème est une unité écologique composé du biotope, de la biocénose et de leurs différentes interactions (Goudard, 2007). Le biotope, est l'ensemble des facteurs abiotiques ; des caractéristiques physico-chimiques du milieu. La biocénose, est l'ensemble des facteurs biotiques. Il intègre l'ensemble des organismes vivants présents dans le milieu. Leurs différentes interactions peuvent se faire à trois échelles : (i) intra-espèces, (ii) entre-espèces et (iii) entre les populations et le milieu écologique.

La biodiversité, contraction du mot « diversité biologique », désigne le plus souvent toutes les formes variables d'êtres vivants présentes dans la nature (CDB, 1992 ; Faith, 2019). Elle correspond donc à la biocénose de l'écosystème. Elle est pensée à trois grands niveaux que sont : la diversité génétique, la diversité des espèces et la diversité des écosystèmes (Goudard 2007 ; Gravel et al., 2009).

La diversité des écosystèmes varie selon les caractéristiques du milieu c'est-à-dire la température, l'ensoleillement, la profondeur, le climat, etc., et selon la diversité des espèces présentes d'un point à un autre de la surface de la terre. Globalement on distingue les écosystèmes marins, aquatiques et terrestres. La diversité des espèces ou diversité spécifique, fait référence au nombre d'espèces (taxons) dans un milieu, ainsi qu'aux différentes fonctions écologiques de ces espèces (Gravel et al., 2009). Les herbivores, les carnivores, les détritivores etc., sont par exemple des groupes fonctionnels d'espèces. Tilman et al. (2014) rapportent qu'un écosystème avec une diversité spécifique importante est plus productif, plus stable et plus résistant aux aléas climatiques et aux maladies par rapport à un écosystème peu diversifié.

Enfin, la diversité génétique caractérise la variabilité du patrimoine génétique au sein d'une espèce. Une espèce avec un matériel génétique diversifié aura des individus aux aptitudes différentes. Ce qui donnera plus de chance à cette espèce d'avoir des individus assez robustes qui survivront à des variations de conditions du milieu, ou après une maladie. C'est donc le matériel primaire de l'évolution et de l'adaptation des espèces face aux variations des conditions environnementales.

2. Importance de la biodiversité dans les écosystèmes

Le bon fonctionnement des écosystèmes est lié à la diversité biologique en général et à la diversité spécifique en particulier (Goudard, 2007 ; Tilman, 2014). En effet, celle-ci favorise trois mécanismes, qui sont la résultante des interactions biotiques et abiotiques, importants pour le bon fonctionnement des écosystèmes : la complémentarité, l'effet échantillon et la facilitation (Goudard 2007 ; Gravel et al., 2009).

La **complémentarité** fait référence aux espèces qui utilisent différentes ressources ou mobilisent différemment la même ressource, ou encore des espèces qui n'ont pas les mêmes sensibilités aux maladies. Aussi plus un échantillon est diversifié et riche plus il a de chance d'avoir des espèces dominantes productives. C'est l'effet **échantillon**, un effet statique, lié à la composition en espèce d'un échantillon. La **facilitation** est un mécanisme mis en place par une espèce pour améliorer les conditions abiotiques pour une autre espèce et maintenir des écosystèmes productifs (Gravel et al., 2009).

Ensuite, un écosystème diversifié assure la fourniture de biens et services aux hommes à savoir les services culturels, de support, de production, et de régulation (Amiaud, 2012). Plus la biodiversité est importante moins il y a de diffusion de virus ou de bactéries pathogènes, et plus les conditions du milieu s'améliorent (Keesing, 2010).

Cependant la biodiversité spécifique dans les écosystèmes naturels est en baisse. Chevassus-au-Louis (2005) soulignent que celles dues aux activités humaines est 10 à 100 fois supérieure à l'érosion naturelle des temps géologique. Ce sont : (i) la surexploitation des ressources naturelles, (ii) la perte des habitats, (iii) la pollution et (iv) l'introduction et l'invasion d'espèces exotiques. Cette perte occasionne un changement de la composition de l'écosystème, impacte son bon fonctionnement et la qualité de ses services.

B. Le système intensif : Origines, atouts et limites

1. Origine de l'intensification de la production

A la fin de la seconde guerre mondiale, la France, comme d'autres pays d'Europe, doit produire plus pour nourrir la population et reconstruire son économie. Mais la main d'œuvre est un facteur limitant pour réaliser ses objectifs. Cependant, plusieurs déterminants vont y être favorables : la moto-mécanisation, les engrais de synthèses, les produits pharmaceutiques, les progrès scientifiques, le développement des transports et la politique agricole commune à l'Europe (Domingues et al., 2019). Ce qui a permis d'augmenter les productions bien au-delà des attentes.

En production animale, l'intensification de la production va conduire à la spécialisation des élevages pour un seul type de produit. C'est grâce entre autres aux progrès génétiques, à l'amélioration de la conduite des animaux (alimentation et reproduction), des habitats, et de la gestion des pathologies. Ainsi dans les exploitations intensives, les animaux sont gardés dans des écosystèmes très artificialisés et alimentés de sorte à exprimer tout leur potentiel génétique. (Henry, 2000).

2. Les avantages de l'élevage intensif

D'une manière générale, le système intensif a permis de répondre à l'objectif premier à savoir assurer la sécurité alimentaire et économique de la population après la guerre. Ainsi, cela a permis de faire passer la consommation de viande en France de 60 kg/habitant/an en 1950 à 110 kg en 1980 (Coléou, 1997). Le rythme de production et les coûts de productions réduites,

ont mis à la disposition des consommateurs des produits en quantité et à prix réduits. En France, le budget du ménage alloué à l'alimentation est passé de 50% dans les années 50 (Coléou, 1997) à 20% seulement en 2014 (Insee, 2015).

Ensuite, ce système a permis aux pays de l'Europe de construire leur puissance économique et de se placer comme leader dans l'exportation de production animale (Coléou, 1997). Enfin les progrès de la médecine vétérinaire, notamment avec les antibiotiques, les problèmes sanitaires sont mieux contrôlés, ils y'a moins de mortalité et les activités sont génératrices de revenus plus ou moins stables (Kirchhelle, 2018).

3. L'élevage intensif : les conséquences de la perte de la biodiversité

Outre les avantages, l'élevage intensif présente des limites. Selon Roguet et al. (2013), le système productiviste a eu des impacts sur l'environnement (pollutions, dégradation des ressources naturelles), sur le bien-être des animaux et sur la santé animale et humaine.

La sélection génétique contribue à la réduction de l'hétérogénéité des animaux puisqu'elle a portée sur un nombre fini de sujets potentiels pour l'amélioration des performances. A cause du manque de nouvelles ressources génétiques, l'amélioration a peu à peu baissé. Dans cette population réduite, le risque de consanguinité, c'est-à-dire d'accoupler des individus génétiquement proches est élevé. Or la consanguinité fait baisser l'aptitude des animaux à se reproduire, à exprimer l'objectif de sélection, à avoir une descendance viable et augmente la sensibilité des animaux aux maladies (Pekkala, 2013). C'est en ce sens que Le Normand et al. (2015) soulignent que dans les élevages cynicoles intensifs, les lapins sont de moins en moins robustes et les pathologies respiratoires (pasteurellose, coryza) et digestives (coccidiose, les entérites) sévissent plus fréquemment.

Aussi, en milieu contrôlé, la sélection centrée sur des caractères de production semblait avoir favorisé une allocation des ressources aux fonctions de production plus importante au détriment des fonctions biologiques de survie (Phocas et al., 2014). Pour y remédier, les éleveurs ont de plus en plus recours aux produits zoo-sanitaires, au point qu'aujourd'hui le lapin d'élevage est l'espèce domestique la plus traitée aux antibiotiques. A titre d'exemple, un lapin en Nouvelle-Aquitaine, la troisième région cynicole de France, reçoit environ 0,36 g d'antibiotiques par kg de poids vifs, soit 11 fois plus que la moyenne des espèces d'élevage (Trillaud, 2019).

Cette exposition importante des bactéries aux antibiotiques influence négativement la santé animale et humaine et favorise la résistance aux antimicrobiens. L'antibiorésistance limite l'efficacité de l'antibiothérapie et pourrait aboutir à l'absence de traitement possible pour des maladies autrefois bénignes. Les éleveurs doivent alors travailler à diminuer l'utilisation d'intrants sanitaires pour rendre l'élevage cynicole durable mais aussi acceptable par la population.

C. Les grandes composantes de l'écosystème de l'élevage de lapin industriel

A l'image de l'écosystème naturel, l'écosystème des productions animales industrielles se compose aussi d'une biocénose d'un biotope, mais les interactions étant orchestrées par l'homme pour atteindre ses objectifs : obtenir des produits valorisables sur les marchés (viande, poils et fourrures).

1. La biocénose : la sélection génétique et l'alimentation

Le lapin d'élevage

Le lapin (*Oryctolagus cuniculus*) est un mammifère herbivore monogastrique de l'ordre des *Lagomorpha* et de la famille *Leporidae*. Il est élevé partout dans le monde, mais l'intensité de production est plus importante et mieux contrôlée dans les pays du nord que dans les pays du sud, où elle est plus traditionnelle et familiale.

En effet, pour répondre aux objectifs économiques de l'élevage intensif européen et français surtout, les chercheurs de l'INRA ont développé un programme de sélection des lapins de boucherie à trois voies depuis les années 1970 (Rochambeau, 1989). C'est une sélection intrapopulation, où les meilleurs descendants sont retenus comme reproducteurs à chaque génération. Les objectifs de sélection portent sur la vitesse de croissance du sevrage à l'abattage pour les lignées paternelles et sur la taille de la portée à la naissance ou au sevrage pour les lignées maternelles (Garreau et al., 2008). Si plusieurs races ont été recensées en Europe, la race Néozélandaise blanche et la Californienne, sont plus fréquemment mobilisées dans le schéma de sélection pour obtenir des hybrides utilisés par les producteurs de lapin de chair en France et en Europe (Garreau et al., 2015). Dans les pays du sud, par contre ils sont issus de croisement non structuré entre les races locales et celles européennes pour obtenir « l'animal commun » engraisé (Djago et al., 2007).

La **Figure 1** présente les différentes étapes de la sélection du lapin de boucherie avec au minimum deux souches¹ femelles et une souche mâle. La femelle parentale mère du lapereau destiné à l'engraissement, est issue d'un croisement entre deux lignées (grand-parentaux) sélectionnées sur les qualités maternelles : prolificité, production laitière, qualité maternelle etc. Le mâle parental lui est issu de souches sélectionnées pour leurs qualités bouchères : vitesse de croissance post-sevrage, rendement à l'abattage, efficacité alimentaire etc. Les parentaux sont croisés (croisement terminale) pour obtenir les lapins destinés à l'engraissement. Le croisement de plusieurs souches a pour objectif de bénéficier de l'effet d'hétérosis et de limiter la consanguinité. Depuis les années 2000 un taux d'augmentation moyen de consanguinité a été fixé à 1% par génération dans le programme de sélection des lapins INRA (Garreau et al., 2005). Pour Garreau et al., (2015) si le taux de consanguinité augmente de 10%, la taille de portée est réduite de 0,6 - 0,8 lapereau et la vitesse de croissance est réduite de 0,57 g.

L'amélioration génétique est un processus complexe et coûteux qui nécessite une bonne organisation des opérateurs. La diffusion des reproducteurs croisés ce fait par des réseaux

¹ Une souche : « est un ensemble d'individus de faible effectif (souvent quelques dizaines de mâles et quelques centaines de femelles) qui a été sélectionné pour un objectif précis » (Rochambeau, 1989).

pyramidaux. La **Figure 1** présente également la composition d'un réseau pyramidal et son rôle dans la diffusion du progrès génétiques. Chaque réseau comprend des sélectionneurs en amont, qui sélectionnent les souches pures utilisées en croisement pour produire les femelles parentales et pour avoir les mâles parentaux. Puis viennent les multiplicateurs souvent rattachés aux sélectionneurs. Ils multiplient et diffusent les reproducteurs améliorés (mâles et femelles) dans les unités de production. Les producteurs qui sont en aval de la pyramide assurent la production de lapins à la consommation à partir du croisement des reproducteurs sélectionnés (Rochambeau, 1989).

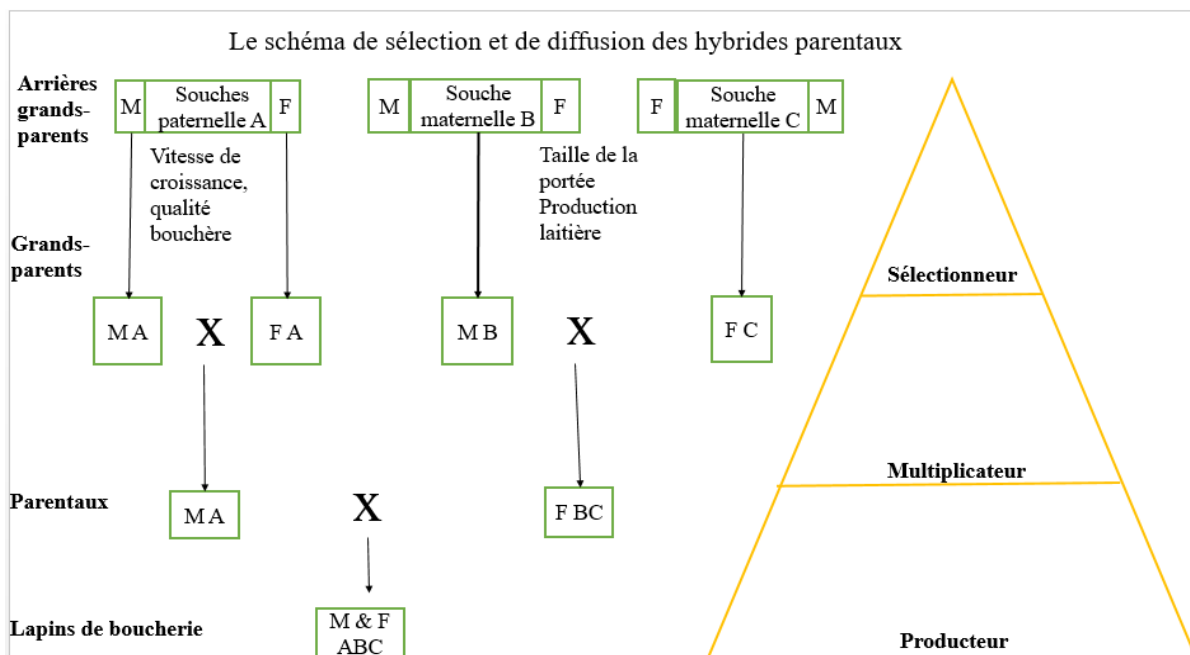


Figure 1. Schéma de sélection des lapins de chair accouplé aux différents opérateurs qui entrent dans le programme de sélection, multiplication et production des lapins. Ces opérateurs sont organisés dans un réseau sous forme pyramidale. Deux souches maternelles B et C sont croisés pour donner la femelle parentale BC qui en croisement terminale avec le Mâle de la souche A donnera des lapereaux d'engraissement ABC. Adapté de Rochambeau. (1989).

L'alimentation

Le lapin est un herbivore monogastrique, capable de valoriser aussi bien les aliments concentrés que les aliments fourragers grâce à la caecotrophie. La caecotrophie est l'ingestion des crottes molles (caecotrophes) à la sortie de l'anus. En pratique, les producteurs gèrent souvent trois lots d'animaux : les femelles reproductrices, les futures reproductrices, et les lapins d'engraissement (Gidenne et al., 2015) alimentés avec un aliment complet granulé dont la teneur en énergie, en protéine et en fibre diffère selon le stade physiologique. L'eau de boisson est toujours disponible à volonté pour tous les lapins.

Les lapereaux reçoivent une alimentation exclusivement lactée jusqu'à 3 semaines par leur mère ou une nourrice (cas d'adoption) une fois par jour. Puis à partir de 15 jours de vie, ils commencent à sortir du nid et à explorer leur milieu de vie. L'alimentation lactée est réduite,

complétée par l'aliment solide de la mère. C'est un aliment commercial complet sous format granulé riche en énergie et protéines, conçu pour satisfaire les besoins d'entretien, de lactation et de gestation des femelles.

Après le sevrage (en France à 35 jours d'âge), les lapereaux reçoivent un aliment type engraissement riche en énergie. Pour limiter le risque de maladie digestif et favoriser le développement du microbiote caecal, pendant 2 à 3 semaines une restriction alimentaire est appliquée. Durant cette période, l'accès à l'aliment est restreint, de 8h/j. Cette restriction permet aussi d'améliorer l'efficacité alimentaire, et réduire le taux de mortalité. Par la suite, l'aliment est distribué *ad libitum* jusqu'à leur sortie de l'élevage à 10 – 11 semaines.

Les futures reproductrices, séparées des lapins d'engraissement entre 10 et 11 semaines, sont alimentées avec le même aliment que les femelles reproductrices. Une restriction alimentaire est appliquée entre 11 et 18 semaines puis une alimentation *ad libitum* une semaine avant la première insémination artificielle à (19 ou 20 semaines d'âge). Cette pratique a pour avantage une réduction de la mortalité des jeunes femelles, des mortalités à la naissance et une mobilisation optimale des réserves corporelles entre la première saillie et la première mise-bas.

2. *Le biotope : Milieu de vie et conduite d'élevage*

Le milieu de vie

En élevage intensif le lapin est logé dans des cages, placées dans des bâtiments clos pour assurer la protection, la santé, et faciliter l'accès à l'alimentation et la conduite par l'éleveur. Le **Tableau 1** résume les conditions de température, d'humidité et de densité à maintenir dans les différents bâtiments d'élevage (Lebas, 2008 ; Coureaud et al., 2015). Dans ces élevages, les cages sont à parois et planchers grillagés (maille : 13 × 75 mm) disposées en batteries (à niveau de deux à quatre) ou en Falt-deck (ITAVI, 2017). La cage grillagée est facile à nettoyer, limite le risque de maladies respiratoires et digestives en réduisant le contact des animaux avec leurs fèces. On en distingue deux catégories en élevage industriel : les cages de maternités classiques avec une boîte à nid (placé à l'extérieur de la cage), où la lapine et les petits séjournent jusqu'au sevrage, et les cages polyvalentes qui servent à la fois pour l'engraissement et pour la maternité. Selon leurs stades physiologiques, les lapins sont logés dans deux types de bâtiments : le bâtiment de maternité et d'engraissement.

Tableau 1. Les paramètres d'ambiance et de densité dans un bâtiment d'élevage de lapin.

Adaptée de Lebas (2008) et Coureaud et al. (2015)

	Maternité	Engraissement
Température (°C)	De 16 à 20	De 15 à 21
Humidité %	De 60 à 70	De 60 à 80
Vitesse de l'air (m/s)	De 0,10 à 0,15	De 0,10 à 0,15
Eclairage (h/jour)	De 8 à 16	De 6 à 8
Surface	0,35 m ² + 0,15 m ² (boîte à nid)	De 0,35 à 0,5 m ²
Densité	1 lapine et 9 à 11 lapereaux	40 à 45 kg/m ² à 70 Jours

Maternité : dans le bâtiment de maternité se trouve les femelles de production et les futures reproductrices (pré-cheptel). Ils sont placés dans des cages individuelles de 0,35 m² pour les reproductrices et 0,17 m² pour les futures reproductrices. La hauteur des cages conventionnelles varie de 30 à 35 cm. La boîte à nid (0,10 à 0,14 m²) est placée 3 à 4 jours avant les mise-bas garnis de copeaux de bois pour recevoir les petits. La cage est équipée d'une mangeoire et de pipette d'eau, approvisionnées automatiquement. Dans le bâtiment, la ventilation est à 1 m³ par kg de poids vifs par heure. Elle peut être dynamique mécanique ou statique. Une température entre 16 et 20°C et une humidité entre 55 et 75% est maintenue. Une semaine avant la première insémination ou saillie, les jeunes lapines sont soumises à un « flushing » lumineux. L'éclairage passe alors de 8 à 16 h par jour pour améliorer la réceptivité sexuelle et la fertilité (Theau-Clément et al., 2015).

Engraissement : ce bâtiment ne diffère pas de celui de la maternité où seules les densités, la température et le programme lumineux changent. Les lapins d'engraissement sont placés dans des cages collectives classiques (cage de maternité sans nid) ou polyvalentes de 0,35 ou 0,40 m² respectivement, pour une hauteur de 30 à 35 cm. La densité préconisée est de 15 à 17 lapins par m². La température entre 15 et 21°C une humidité de 55 à 75% et un programme lumineux fixé à 8h sont les plus fréquents.

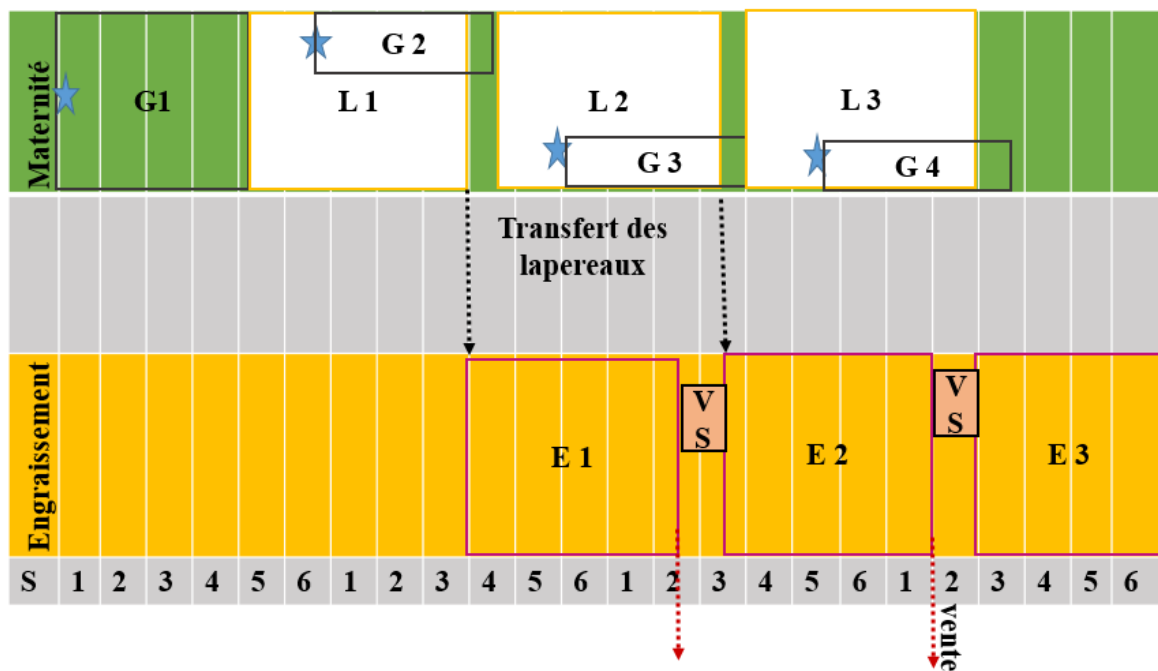
La conduite d'élevage

Les producteurs de lapins de chair gèrent simultanément le pré-cheptel, la maternité et l'engraissement. Lebas (2009) souligne que dans 97% des élevages (entre 250 et 1000 lapines reproductrices) la conduite est organisée en bande unique et associée à une reproduction par insémination artificielle (IA). C'est-à-dire qu'un seul groupe de lapines est inséminé le même jour. La conduite en bande unique permet d'avoir des mises-bas, et des sevrages groupés, simplifiant l'organisation temporelle et spatiale de l'alimentation, de la santé et de la biosécurité des animaux.

Les futures reproductrices sont soit achetées auprès de sélectionneurs (1 à 4 jours) ou issu du cheptel de production sélectionné au sevrage sur l'état de santé le poids. Entre 10 et 11 semaines de vie, les femelles sont de nouveaux triées puis placées dans des cages individuelles et inséminées entre 18 et 20 semaines d'âge lorsqu'elles atteignent environ 80% de leur poids adulte (Theau-Clément et al., 2015). La lapine ne présentant pas de cycle œstral régulier, avec une ovulation provoquée par l'accouplement. La production pourrait se faire toute l'année. Mais en général, les femelles sont inséminées 11 jours après la mise-bas soit un intervalle entre deux IA de 42 jours (ITAVI, 2017).

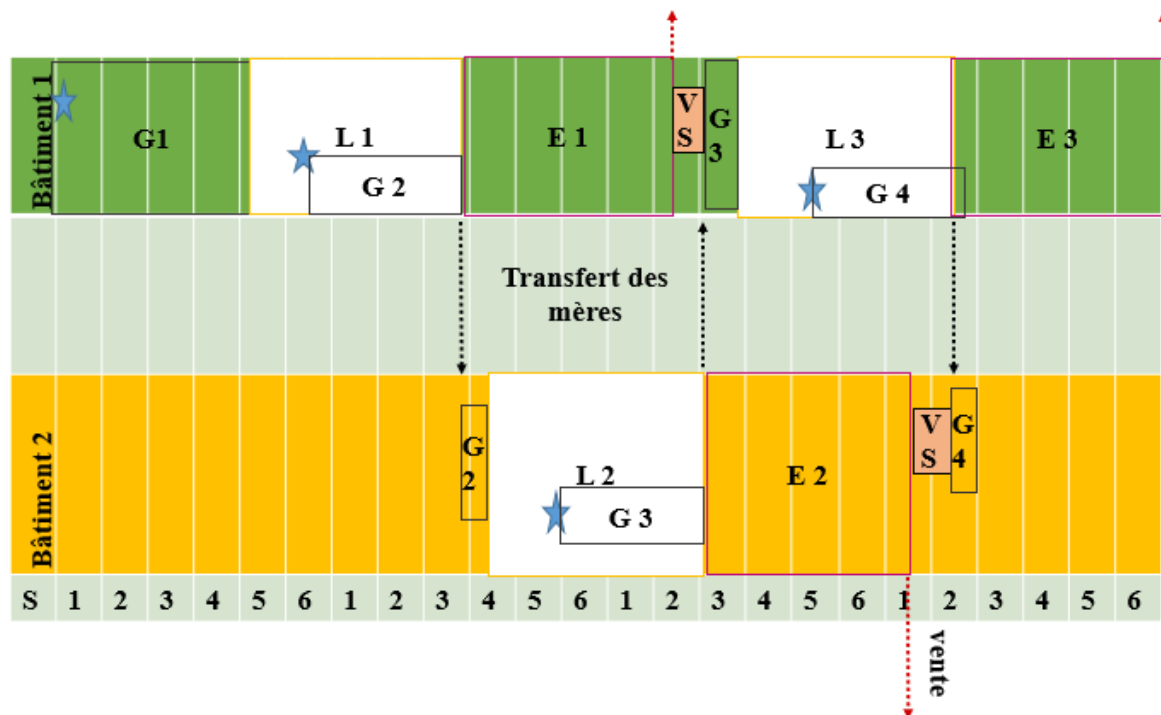
Après une gestation d'environ 31 jours, les femelles mettent bas. Pour les souches maternelles, la moyenne des nés vivants est autour de 11 lapereaux. Ces lapereaux sont, ensuite répartis pour former les portées homogènes, viables jusqu'au sevrage de 9 à 11 lapereaux par lapine. Puis, les petits sont sevrés à 35 jours d'âge, et placés à l'engraissement durant 35 jours en moyenne et vendus entre 10 et 11 semaines d'âge.

Les lapins sont déplacés d'un bâtiment à l'autre selon deux modes de conduite (**Figure 2 et 3**) (adaptées ITAVI, 2017). La première, conduite **classique** consiste à déplacer les lapereaux, lors du sevrage pour les placer dans le bâtiment d'engraissement. De ce fait les bâtiments sont spécifiques à une pratique donnée : un bâtiment de maternité et un autre d'engraissement. Le nettoyage systématique du bâtiment de maternité est beaucoup moins fréquent car il est toujours occupé (**Figure 2**). La deuxième, le **tout-plein tout-vide**, consiste à séparer les lapines des jeunes au sevrage des lapereaux. Les lapines sont placées dans un autre bâtiment où elles mettront bas de nouveau. Cette pratique permet d'effectuer un nettoyage complet (vide sanitaire) des différents bâtiments. Dans ce cas, les bâtiments ne sont pas spécifiques à une pratique (**Figure 3**).



★ E= Engraissement (35 jours) G= gestation (31 jours) L=lactation (35 jours) S = semaines
 ★ Insémination artificielle VS = vide sanitaire Transfert des lapereaux = Sevrage

Figure 2. Organisation spatio-temporelle de la maternité et de l'engraissement en système classique. Dans ce système, les bâtiments et les équipements sont spécifiques aux activités. Les femelles sont placées dans le bâtiment maternité où a lieu l'insémination artificielle, et la gestion la mise-bas. Les lapereaux restent avec leurs mères jusqu'au sevrage à 35 jours de vies puis sont déplacés dans le bâtiment d'engraissement avec un vide sanitaire entre deux cycles d'engraissement dans le bâtiment d'engraissement. Adapté de ITAVI, (2017).



E= Engraissement (35 jours) G= gestation (31 jours) L= lactation (35 jours) S = semaines
★ = Insémination artificielle V S = vide sanitaire Transfert des mères = Sevrage

Figure 3. Organisation spatio-temporelle de la maternité et de l'engraissement en système tout-plein tout-vide. Dans ce système, le sevrage des lapereaux se fait par le transfert des femelles d'un bâtiment à l'autre. Les lapereaux restent dans la cage de leur mère pour être engraisé (ici bâtiment 1). Le déplacement des femelles dans un autre bâtiment (bâtiment 2) se fait au début de la dernière semaine de gestation (pour un rythme de reproduction de 42 jours avec sevrage à 35 jours). Elles seront à nouveau transférées au bâtiment 1 au sevrage de la portée suivante. Le tout est organisé pour permettre un vide sanitaire d'au moins une semaine entre deux cycles consécutifs de reproduction.
 Adapté de ITAVI, (2017)

Encadré 1 : Parallélisme entre écologie et élevage

Le système d'élevage intensif des lapins est un écosystème assez artificialisé et organisé par l'homme, dont les caractéristiques générales sont : (i) un investissement important d'un facteur de productions (surface, travail, capital), (ii) des densités élevées au mètre carré, une production à l'animal élevée grâce à une amélioration du potentiel de production, (iii) une utilisation systématique de biocides pour la désinfection et d'antimicrobiens pour le traitement des maladies infectieuses d'origine bactérienne, et (iv) avec une interaction limitée entre composantes du système.

Ce système de production a permis à la France comme à d'autres pays de l'Europe de satisfaire la demande croissante de la population mais sur le long terme le système intensif a présenté ses limites.

D. L'agroécologie : cadre conceptuel pour des systèmes de production durable

Lorsqu'émergent dès les années 1970 les conséquences de la production conventionnelle intensive, de nombreuses solutions alternatives verront le jour pour faire face aux nouveaux enjeux des systèmes de production : produire en quantité et en qualité tout en respectant l'environnement et les ressources naturelles (Griffon, 2014). Ce sont entre autres : (i) l'**agriculture biologique** dont la production est réalisée à partir de ressources naturelles sans l'apport de produit de synthèses (phyto- et zoo-sanitaires), c'est une production aujourd'hui bien contrôlée avec un cahier des charges, et labélisée (Sylguy, 1997). Puis (ii) **la permaculture**, qui est à la fois un concept de vie et de production durable, basée sur l'imitation de la nature pour reproduire la biodiversité et les interactions qui ont lieu dans les écosystèmes naturels (Griffon, 2014). Enfin (iii) l'**agroécologie**. Ses pratiques étant axées sur la valorisation des processus écologiques, donnent lieu à des systèmes de production durables, peu artificialisées et respectueuses de l'environnement ce qui lui vaut d'être promue comme modèle de production agricole et animale.

L'agroécologie est à la fois une discipline scientifique, un mouvement social et une pratique agraire repensée à l'échelle de l'écosystème agricole. Plusieurs définitions existent mais on peut retenir que c'est une démarche fondée sur la valorisation des processus naturels pensé à l'échelle systémique. Elle a pour objectif de limiter la dépendance aux intrants de synthèses et de préserver les écosystèmes (Dumont et al., 2013).

En agroécologie, la biodiversité est à la fois une ressource et un atout majeur pour la production. Elle favorise et amplifie les processus naturels et réduit l'utilisation des produits de synthèses et conséquemment les pollutions (Thomas et al., 2014). C'est une démarche dynamique qui place le producteur au cœur de l'action car il n'y a pas de cahier de charge pour faire de l'agroécologie. C'est pourquoi Stassart et al. (2012) affirmaient que c'est le lieu où le paysan (agriculteur-éleveur) observe, prend comme modèle la nature, comprend comment elle fonctionne et reconstitue les complémentarités naturelles à l'échelle de son écosystème de production. En l'absence de cahier de charge, l'élevage agroécologie s'appuie sur les 5 principes adaptés aux productions animales par Thomas et al. (2014) et inspirés des pionniers de l'agroécologie (Gliessman, 1998 et Altieri, 2002). Ces principes offrent un cadre d'actions à mener pour conduire et reformuler les systèmes de production animale sous l'optique de l'agroécologie, pour qu'ils soient écologiquement durables et socialement acceptables.

Les cinq principes à mobiliser pour une conduite agroécologique des systèmes d'élevage sont : (i) avoir une gestion intégrée de la santé des animaux par l'utilisation d'animaux et des pratiques adaptées aux conditions du milieu, pour limiter le stress et le recours aux médicaments, (ii) optimiser l'utilisation de ressources locales pour limiter les intrants extérieurs de production surtout celles non valorisables par l'homme, (iii) limiter les pollutions par la valorisation des effluents d'élevage comme fertilisant pour les surfaces de cultures ou en énergie (méthanisation), (iv) gérer la biodiversité en valorisant la complémentarité intra- et entre-espèces, grâce à l'élevage simultané de plusieurs espèces et, enfin (v) préserver la biodiversité au sein des agroécosystèmes, en utilisant les races locales dites rustiques (Fortun-Lamothe et al., 2013). Enfin, compte tenu des caractéristiques de l'écosystème d'élevage intensif, de l'organisation des schémas et des critères de sélection des lapins, la production cunicole s'avère

dépendre des produits zoo-sanitaires pour maîtriser la santé des animaux. Dans ce contexte, l'agroécologie présente un cadre conceptuel facilitant le questionnement et l'évolution du système cunicole conventionnel.

E. L'application des principes de l'agroécologie aux élevages cunicole

Les principes de l'agroécologie sont mobilisables en élevage cunicole pour rendre le système de production durable, plus respectueux de l'environnement et du bien-être des animaux. Enfin, un système plus en accord aux attentes sociétales.

Dans **Tableau 2**, est présentée l'application des différents principes d'agroécologie aux différents pratiques d'élevages cunicole pour avoir des systèmes de productions plus durables telles que proposés par Fortun-Lamothe et al. (2013). Pour les auteurs, la limitation du recours aux intrants de production, passe par la valorisation des ressources disponibles localement et des fourrages en élevage cunicole, pour limiter la compétition homme-animale, augmenter l'autonomie et les revenus des unités de production. Cependant compte tenu des conditions d'élevage en cages grillagées, les auteurs proposent de valoriser les ressources disponibles, par une distribution du fourrage sous forme compacté, et le pâturage dans des cages au sol.

Ensuite la réduction des pollutions, en élevage cunicole, passe par un ajustement des rations alimentaires aux besoins, ou l'utilisation d'additifs naturels pour : améliorer l'ingestion, la conversion alimentaire et réduire l'émission d'azote. La réduction des pollutions passe aussi par le compostage des déjections pour fertiliser les sols. En outre la gestion et la préservation de la biodiversité passe par l'utilisation de différentes races pour tirer profit de leur complémentarité en termes de rendement, de prolificité et de robustesse. Les espèces dites généralistes sont moins productrices que les espèces sélectionnées et spécialistes mais sont censées être plus résistant aux maladies.

Enfin la gestion intégrée de la santé est l'enjeu majeur de la production cunicole. Dans le principe les pratiques d'élevage comme la maîtrise des conditions d'ambiance du milieu d'élevage, les cages grillagées, le vide sanitaire et les mesures de prophylaxie contribuent à atténuer le risque de maladies. Ils proposent en lieu et place des produits pharmaceutiques, avoir recours aux extraits de plante, des huiles essentielles. Cornut et al., (2012) soulignent le bénéfique, dans les élevages mixtes de ruminants, d'associer plusieurs races pour augmenter la robustesse générale du troupeau.

Tableau 2. Les principes et pratiques agroécologiques pour l'évolution des systèmes d'élevage en bâtiment. Adaptée de Fortun-Lamothe et al. (2013)

Pratiques	Pratiques d'Elevage Conventionnel	Principes Agroécologiques	Pratiques d'Elevage Agroécologiques
Hygiène et Prophylaxie	Utilisation d'antibiotiques	Gestion intégrée de la santé	Phytothérapie Homéopathie
Logement	Cages grillagées en bâtiment	Gestion intégrée de la santé, réduire et gérer les pollutions	Cages grillagées au sol, Cages bien-être, Cages enrichie
Alimentation	Aliment complet (granulés)	Utilisation des ressources disponibles localement	Herbe pâturée, foin, graines entière
Génétique	Souches sélectionnées hautement productive	Utilisation des ressources disponibles localement	Races rustiques, sélection naturelle
Reproduction	Insémination Cycle de 42 Jours Sevrage à 35 Jours	Utilisation des ressources disponibles localement	Monte naturelle Cycle > 42 jours Sevrage > 35 jours

F. Les principes agroécologiques mobilisés dans cette étude

Dans la pratique, il est difficile d'intégrer l'ensemble des principes de l'agroécologie à l'élevage conventionnel (Thomas et al., 2014), notamment dans les systèmes intensifs, comme la production cunicole. Dans ce cadre, nous nous focalisons sur les principes de l'agroécologie qui répondraient à la contrainte majeure de la cuniculture, la dépendance de l'utilisation des traitements antibiotiques. Pour cela nous mobilisons le principe de l'augmentation de la diversité, génétique et des pratiques. Ainsi, la diversité génétique vise à favoriser les interactions et la complémentarité des fonctions (au sein du troupeau) et la diversité de pratiques vise à optimiser les différentes fonctions et à stimuler la santé chez les jeunes animaux.

D'abord, une seule espèce est utilisée, le lapin. Mais les animaux cette fois non pas le même fond génétique, comparativement au système actuel. Ainsi nous utilisons des génotypes aux aptitudes fonctionnelles différentes. Une souche prolifique, et une souche rustique, renommée pour sa robustesse et leurs croisements. Le tout constitue un troupeau « **mosaïque** », avec une diversité des fonctions : prolificité, robustesse et équilibre entre fonctions.

Ensuite, la diversité de pratiques est pilotée sur deux volets. L'alimentation et la stratégie d'adoption croisée des lapereaux. Ainsi les femelles des différentes souches seront alimentées avec deux aliments. Un pour favoriser la prolificité et la lactation et un autre pour favoriser la santé des animaux, sans pénaliser leur productivité. Pour l'adoption croisée des lapereaux, l'innovation est dans l'adoption **entre-génotypes**, en formant des mosaïques au sein des portées. Le tout a pour objectif la stimulation de l'immunité des jeunes lapereaux, qui se joue entre la naissance et le sevrage (Fortun-Lamothe et Boullier, 2007 ; Combes et al., 2018).

Ainsi la réduction de la dépendance du système aux traitements médicamenteux se fait par l'obtention d'un troupeau fonctionnellement plus résilient.

PROBLEMATIQUE

Dans un contexte général de recherche de solutions alternatives à la dépendance des systèmes de production intensifs aux antibiotiques pour maintenir la santé des animaux, la majorité des travaux ont porté sur la recherche de l'animal polyvalent, à la fois très productif et robuste (lapin : Sánchez et al., 2008 ; bovins : Friggens et al., 2011). Mais l'existence de « trade-offs »² (Reznick et al., 2000) et d'interactions entre le génotype et le milieu (Phocas et al., 2014) complexifient la capacité d'obtention d'un animal polyvalent, adaptable à une multitude de conditions d'élevage.

Cette étude s'intègre dans une dynamique de recherche de pratiques directement applicables en élevage, fondées sur les principes de l'agroécologie. Ainsi notre objectif à long terme est de produire des lapins sans utiliser d'antibiotiques. L'objectif à court terme est de stimuler l'immunité des lapins par la diversification de pratiques d'élevage et l'introduction de la diversité génétique.

A partir des connaissances acquises sur le fait que des écosystèmes diversifiés sont plus résilients faces aux perturbations, naturelles, ou anthropiques, et par rapport aux contraintes sanitaires actuelles, les hypothèses de travail sont :

1. L'utilisation de plusieurs génotypes de lapins (spécialistes, rustiques et leurs combinaisons), dans une même unité de production, favorise la productivité et la santé globale du troupeau.
2. La stimulation du système immunitaire du jeune lapereau s'initie au nid, milieu partagé avec ses congénères et fortement dépendant des capacités de la lapine nourrice. Ainsi, le milieu de vie du jeune lapereau influence son statut sanitaire et conditionne sa capacité de faire face aux contraintes liées au sevrage et du nouveau milieu de vie post-sevrage.

² « Trade-offs »²: l'antagonisme entre objectif de sélection (production ou reproduction) et conditions environnementales. Lorsque les conditions environnementales ne sont pas limitantes, l'animal peut exprimer pleinement son potentiel génétique sélectionné avec une allocation judicieuse des ressources aux autres fonctions vitales. Mais lorsque les conditions environnementales sont limitantes il y a changement de l'allocation des ressources entre les différentes fonctions : c'est le compromis/ trade-offs (Reznick et al., 2000 ; Phocas et al., 2014).

MATERIELS ET METHODES

Les travaux se sont déroulés au Pôle Expérimental Cunicole Toulousain (PECTOUL) de l'Unité Mixte de Recherche GenPhySE du centre INRAE, Occitanie-Toulouse. Le protocole expérimental a été évalué sur le plan éthique par le comité d'éthique en expérimentation animale n°115 et a reçu un avis favorable. Le numéro de référence au Ministère de l'Education National, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche est le 14950-2018042615274335.

A. Les animaux, la composante biotique

Pour les travaux, ont été mobilisés : **48** femelles de la souche INRA 1777 (**I**), sélectionnées sur le nombre de nés vivants et le poids des lapereaux au sevrage, **23** femelles de la race Fauve-de-Bourgogne (**F**), une race rustique reconnue pour sa rusticité et sa vitesse de croissance, et **43** femelles croisées (**C**) issues du croisement entre la race **F** et la souche **I**, soit un total de **114** femelles reproductrices. Les femelles **I** sont nées en Mars 2019 de l'accouplement entre 15 mâles et 32 femelles à PECTOUL. Les femelles **F** sont nées en Janvier 2019 (n = 14 femelles) et en Mars 2019 (n = 9 femelles) de l'accouplement entre 9 mâles et 13 femelles **F** apatriées à PECTOUL en Septembre 2018 de 5 élevages artisanaux localisées en Alsace (n = 2 élevages), Lorraine (n = 2 élevages) et Bourgogne (n = 1 élevage). Les femelles croisées sont nées en Mars 2019 du croisement entre 6 mâles **F** et 8 femelles **I**.

Cependant, il faut noter que pour le présent mémoire nous avons porté notre étude sur les femelles **INRA** et **Croisés** et leurs portées de la première mise-bas.

B. Le milieu de vie, la composante abiotique

Maternité : Chaque femelle a été placée dans une cage polyvalente grillagée (L×P×H : 46×90×60 cm) contenant un tapis plastique type repose pattes, un bout de bois de pin non-traité à ronger (L×P×H : 3×3×10 cm), remplacé quand nécessaire, une mangeoire type trémie (6 kg de capacité) et une pipette à l'eau. La partie interne en avant de la cage permet l'emplacement d'une boîte à nid de fond plastique, ainsi qu'une séparation en métal amovible et doté d'une porte placée entre l'espace de vie de la femelle et la boîte à nid a fin d'émuler un terrier). Les 114 cages sont distribuées en six rangées de 19 cages chacune, placées sur des fosses de 30 cm de profondeur (nettoyées par des jets d'eau courant plusieurs fois dans la journée) dans un bâtiment clos dotés des fenêtres placées sur deux cotés du bâtiment à approximativement 4 m de hauteur. Le bâtiment possède également un système de ventilation, un système de refroidissement par des panneaux type cooling et un système de chauffage à air chaud placé entre les rangées de cages. Le tout a été conçu pour maintenir la température à l'intérieur du bâtiment entre 15 et 25°C. Sur toute la durée de l'expérimentation (entre la première insémination artificielle et le sevrage de la quatrième portée), le programme lumineux a été fixe à 16 heures de lumière et 8 heures d'obscurité.

Engraissement : au sevrage (35 jours de vie) les lapereaux ont été placés en groupes de 5 ou 6 lapereaux dans des cages grillagées identiques aux cages polyvalentes utilisées en maternité

placées dans un bâtiment identique et possèdent les mêmes équipements que le bâtiment maternité. La plage de température (variation permise entre 15 et 25°C) et la fréquence de nettoyage des fosses a été la même que dans la maternité. La seule différence par rapport à la maternité concerne le programme lumineux, fixe à 10 heures de lumière et 14 heures d'obscurité par jour. Les bâtiments utilisés pour cette expérimentation venaient d'être nouvellement rénovés.

Photo 1. Une lapine Croisée et INRA (de gauche à droite) dans une cage polyvalente équipée d'une boîte à nid avec des lapereaux de souche INRA et Croisée, et d'une mangeoire type trémie. Le métal entre la mère et les petits est amovible. Les lapines sont sur les repose pattes en plastique (photo prise par Davi, le 13/09/2019)



C. Aliments et programme d'alimentation (maternité et engraissement)

Aliments Maternité : afin de stimuler différemment le microbiote digestif des femelles des trois types génétiques, deux aliments maternité (iso-énergétiques et iso-protéiques) ont été formulés. L'aliment appelé « **Lactation** » a été formulé en utilisant les ingrédients traditionnels utilisés dans la formulation d'aliments commerciaux pour des femelles en lactation et l'aliment appelé « **Santé** » a été formulé en utilisant d'ingrédients alternatifs tels que l'orge, l'avoine et le triticale, en substitution partielle au blé. La liste d'ingrédients et la composition chimique des aliments sont présentées dans le Tableau de l'annexe 1. Dans la durée de l'expérimentation, les femelles et leurs lapereaux (avant le sevrage) ont eu libre accès aux aliments **Lactation** et **Santé**.

Aliment Engraissement : après le sevrage, les lapereaux ont été alimentés avec un aliment commercial pour l'engraissement contenant 11,3 MJ d'énergie digestible (valeurs estimées) par kg de matière sèche (MS), 15,4% de protéine brute, 1,9% de matière grasse, 37,5% de fibre en détergent neutre, 20,5% de fibre en détergent acide et 6,4% de lignine en détergent acide par kg de MS. Afin de réduire le risque des problèmes digestifs post-sevrage, un programme d'alimentation restreint a été mise en place. Le jour du sevrage, chaque lapereau a reçu 50 g, puis 90 g par jour entre 36 et 42 jours de vie, 110 g/j entre 43 et 49 jours de vie et 130 g/j entre 50 et 56 jours de vie. A partir du 57^{ième} jour les animaux ont eu un accès libre à aliment. Aucun aliment ne contenait ni d'antibiotiques ni d'anticoccidiens.

D. Les Pratiques

1. Cycle de reproduction

Les femelles ont été conduites en bande unique et soumises à un cycle de reproduction de 42 jours. Les femelles ont été inséminées 11 jours après la mise bas et les portées ont été sevrées à 35 jours de vie. Les semences utilisées proviennent des mâles de la souche **I** sur des femelles de la souche **I** et des doses de mâles **F** sur les femelles **F** et **C**. Les femelles ont été suivies sur 4 cycles complets de reproduction. Pour le présent mémoire seul les données issues de la première mise-bas des femelles **I** et **C** ont été analysées.

2. Stratégie d'adoption des lapereaux

Les adoptions entre- et intra- génotypes ont été réalisées le lendemain des naissances, en fonction du nombre des portées produites par chaque type génétique dans un régime alimentaire donné et de la quantité de lapereaux vivants le jour de l'adoption. Ainsi, ont été mélangées 50% des portées de la souche **I** avec 50% des portées **C** pour avoir des portées mixtes, appelées « **mosaïques** ». Les 50% des portées restantes ont été égalisées sur la moyenne du nombre des vivants entre les femelles de la même souche et recevant le même aliment. Les portées **F** ont été égalisées à la moyenne du nombre de nés vivants pour les femelles sous un même régime alimentaire.

Photo 2. Des lapins en stratégie d'adoption entre-génotypes. Il y'a des petits INRA avec une robe blanche et des petits Croisés avec une robe en couleur roux et noir dans une boîte à nid garnit de copeaux de bois et des poils de la mère nourrice (prise par Davi le 18/10/2019)



E. Dessin expérimentaux et distribution spatiale des femelles en maternité

La **Figure 4**, présente le schéma, sous forme de pyramide, des deux stratégies d'adoption mis en place pour les portées des lapines de souches **INRA** et **Croisés**. En haut de la pyramide on retrouve les deux types d'aliments utilisés. Un groupe de mères des deux types génétiques ont reçu l'aliment **Lactation** à gauche et un autre groupe l'aliment **Santé**. Les lapins ont pu avoir accès à l'aliment à partir de 14 jours. Puis à chaque groupe, est appliquée l'une des deux

stratégies d'adoptions, entre- et intra-génotypes. La stratégie entre- génotypes consiste à faire adopter 50% des lapereaux de la souche **INRA** par des femelles **Croisées** et inversement. La stratégie intra-génotypes consiste à faire équilibrer les portées intra génotype. Faut noter que l'adoption se fait entre mères alimentées avec un même type d'aliment. La **Figure 5**, présente la distribution spatiale des 114 femelles dans le bâtiment maternité. Le bâtiment est composé de 6 rangées. Dans chacune des rangées, les génotypes sont intercalés. Les animaux dans les rangées 1, 3, 5 ont été alimentés avec l'aliment **Lactation**, tandis que les animaux dans les rangées 2, 4 et 6 avec l'aliment **Santé**.

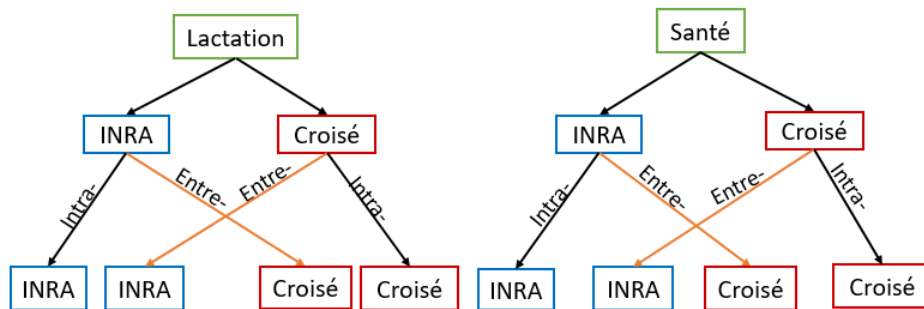


Figure 4. Le schéma de la stratégie d'adoption lapereaux à la naissance (entre : entre-génotypes, intra : intra-génotypes), selon le génotype (C : croisé, I : Inra) et l'aliment (santé, lactation) des mères nourrices. Selon la stratégie entre-génotypes, les femelles recevant l'aliment Lactation, 50% de la portée des femelles Croisées est mélangée à 50% des portées des femelles INRA (entre-génotypes) et le reste est homogénéisés entre les femelles de la même souche et recevant le même aliment, c'est la stratégie intra-génotypes. Il en est de même pour les femelles recevant l'aliment Santé.

		CAGES																		
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Rangés	Aliment																			
	1	Lactation	C	I	C	F	I	C	I	C	F	I	C	I	C	F	I	C	I	C
2	Santé	I	C	F	I	C	I	C	F	I	C	I	C	F	I	C	I	I	F	I
3	Lactation	I	C	F	I	C	I	I	C	I	C	F	I	C	I	F	C	I	C	F
4	Santé	C	F	I	C	I	I	C	I	C	F	I	C	I	F	C	I	C	F	I
5	Lactation	I	C	F	I	C	I	C	F	I	C	I	C	F	I	C	I	C	F	I
6	Santé	C	I	C	F	I	C	I	C	F	I	C	I	C	F	I	C	I	C	I

Figure 5. Distribution spatiale des femelles (I : Inra, F : fauve et C : croisées) dans le bâtiment maternité. Les animaux dans les rangés 1, 3 et 5 ont été alimentés avec l'aliment lactation et les animaux dans les rangés 2, 4 et 6 ont été alimentés avec l'aliment santé. Les surfaces en gris représentant les couloirs de passage. Les fenêtres sont représentées par les carrés bleus.

F. Les paramètres mesurés

Plusieurs paramètres sont mesurés à chaque étape pratique de l'expérimentation. Ainsi sur les femelles en reproduction sont mesurés la fertilité (nombre de portés produits sur le nombre d'inséminations réalisés), le nombre des lapereaux nés vivants, nés morts, adoptés et sevrés dans chacun des cycles de production. A chaque mise-bas et à chaque sevrage, sont enregistrés le poids vif des femelles et l'état sanitaire (sur 8 critères : bonne santé, mal de pattes (trois degrés), problème respiratoire (coryza), abcès externe, mammites et troubles digestifs). Sur les lapereaux est mesuré, le taux de survie entre l'adoption et le sevrage et entre le sevrage et la fin de l'engraissement. Les poids des nées vivants, ainsi que le poids individuel des lapereaux au sevrage (35 jours de vie), à 57 et à 64 jours de vie. L'état sanitaire de chaque lapereau a été enregistré au sevrage, à 57 et à 64 jours de vie. Notons que pour ce mémoire n'avons pas analysé ces mesures zootechniques.

G. Défi vaccinal : proxy de la réponse immunitaire innée des lapereaux en engraissement

Avec l'objectif d'évaluer l'état immunitaire des lapereaux des différents types génétiques et élevés par leurs mères biologiques ou par une mère nourrice d'un autre génotype, nous avons réalisé un **défi vaccinal**³ sur un échantillon représentatif des lapereaux issus des mises bas 1 (n = 82 lapereaux). Le défi vaccinal a été réalisé sur trois jours sur des lapereaux en bonne santé âgés de 44, 45 et 46 jours. A 44 jours d'âge, chaque lapereau a été pesé, puis un échantillon de 1 ml de sang a été prélevé dans des tubes EDTA. Immédiatement après la prise de sang, l'animal a été vacciné avec 0,5 ml d'un vaccin contre les virus de la myxomatose et la maladie hémorragique virale du lapin. Vingt-quatre et quarante-huit heures après la vaccination, un nouvel échantillon de 1 ml de sang a été prélevé dans des tubes EDTA. Les échantillons de sang ont été acheminés au laboratoire immédiatement après leur récupération pour la quantification des formules sanguines : globules rouges, volume corpusculaire moyen, hématocrites, hémoglobines, plaquettes, globules blanches, lymphocytes, monocytes, éosinophiles, basophiles et le ratio neutrophiles-granulocytes. Dû à la faible prolificité des femelles Fauves, le défi vaccinal a été réalisé uniquement sur des lapereaux INRA et Croisées.

H. Les analyses statistiques

Les analyses statistiques ont portées sur les données du défi vaccinal de la première mise-bas des femelles INRA et Croisées. Le logiciel de statistique R a été utilisé pour l'analyse statistique des formules sanguines liées à la réponse immunitaire innée des lapins. Plusieurs tests statistiques ont été appliqués.

La première étape consiste en une analyse exploratoire pour chaque prélèvement, à 0, 24 et 48h après la vaccination (les jours 44, 45 et 46 de vie des lapereaux) par une analyse en composante principale (ACP) suivie d'un test de normalité. Les représentations graphiques permettent

³ **Défi vaccinal : est un stress biologique provoqué par l'inoculation de virus atténué présent dans un vaccin chez des animaux sains.**

d'identifier le lien entre les variables, décrire les différents groupes de lapereaux possibles sachant que toutes les variables ne sont pas forcément utiles à notre étude. C'est pourquoi les jeux de données brutes ont été restreints pour ne contenir que 17 variables quantitatives d'intérêts à savoir : globules blancs, granulocytes (neutrophiles, basophiles et éosinophiles), monocytes et lymphocytes, les globules rouges, hémoglobines, hématocrites, volume corpusculaire moyen, volume moyen plaquettaire, la concentration en corpusculaire moyen, la teneur corpusculaire moyenne, indice de distribution des globules rouges, les plaquettes, MGR et la procalcitonine. La variabilité expliquée par les composantes principales 1 et 2 était de 36,1% et 19,4% pour le jour 44 ; 25,8% et 20,3% pour le jour 45 et de 23,5% et 20,6% pour le jour 46.

Les individus les plus extrêmes du nuage de point ont été retirés et l'ACP relancée de nouveau. Au regard de l'objectif de l'étude, (le système immunitaire innée), l'analyse exploratoire, a porté ensuite sur les variables en liens avec le système immunitaire, c'est-à-dire sur les globules blancs, et sa sous population (lymphocytes, monocytes, neutrophiles, éosinophiles et basophiles), plus la procalcitonine. Le pourcentage de variabilité expliquée par les composantes principales 1 et 2 étaient de 46,2% et 18,3% pour le jour 44 ; 50,9% et 13,9% pour le jour 45 et de 47,2% et 16,3% pour le jour 46.

La deuxième étape consiste à un test statistique. Les résultats graphiques de l'ACP apportent quelques réponses aux hypothèses de départ qu'il faut confirmer avec des tests statistiques. Nous avons utilisé le **modèle linéaire mixte** sur les globules blancs et ses sous populations en fonction des variables explicatives. La notation sur le langage R est donnée par l'équation [1]

$lmer(\text{Variable} \sim \text{Génotype} * \text{Aliment} * \text{Adoption} * \text{Temps} + (1|\text{Animal}), \text{Jeux_Donné})$ [1]

Où le modèle linéaire mixte avec la fonction *lmer* permet de modéliser les réponses des variables du système immunitaire en fonction des paramètres fixes étudiés (*Génotype*, *Aliment*, *Adoption*) au cours du temps en introduisant un effet aléatoire lié à l'animal. Pour appliquer le modèle, il faut que les données et suivent une loi normale. Un test de normalité « *Shapiro-Test* » a été appliqué pour vérifier la normalité des données. Ainsi, il a fallu une transformation des données : (i) retraits des données extrêmes pouvant influencer la valeur moyenne des individus, (ii) transformation logarithmique des variables dont la distribution ne suivent pas une loi Normale et (iii) application du test statistique sur les sorties du modèle linéaire mixte.

Avec la méthode des moyennes des moindres carrés « *emmeans* » nous avons estimé les moyennes marginales pour chaque génotype, aliment et stratégie d'adoption. Cette méthode apporte aussi les résultats des tests statistiques (*P-valeurs*) des différentes combinaisons dans sa partie « *contrast* ». Les représentations graphiques des interactions entre les variables explicatives sont obtenues avec la fonction « *ggplot2* » avec à chaque côté les intervalles de confiances.

RESULTATS

A. Défi vaccinal

1. La réponse immunitaire globale : Les globules blancs totaux

A partir des résultats de l'analyse exploratoire, nous avons remarqué une différence de l'effet génétique (Ge), aliment (Al), adoption (Ad) et leurs différentes combinaisons entre les jours 44, 45 et 46. Il y a donc un effet temps à prendre en compte et à vérifier. Nous avons prédit des interactions entre les différentes variables explicatives qui seraient à l'origine de la variation dans le temps du nombre de globules blancs et de sa sous population dans le sang. Les interactions d'intérêts sont : $Ge \times Al \times Ad$, $Ge \times Al$, $Ge \times Ad$ et $Al \times Ad$. L'évolution de chaque facteur au cours du temps a été également étudiée. Mais nous ne présenterons que les résultats les plus significatifs obtenus.

Génétique × Aliment × Adoption au cours du temps

La **Figure 6**, représente les 4 graphiques obtenus de l'interaction triple ($Ge \times Al \times Ad$) en fonction du temps. Dans chaque graphique, les courbes correspondent à l'évolution en fonction du temps du nombre de globules blancs ($\times 10^9/L$) selon le génotype. A gauche en plus du temps, l'évolution est en fonction de l'aliment Lactation « **Lac** » selon si les lapereaux étaient dans une stratégie d'adoption intra-génotypes ou entre-génotypes (haut en bas) avant le sevrage, et à droite en fonction de l'aliment Santé « **San** ».

Nous observons une augmentation du nombre de globules blancs total entre 0 et 48h de sang après la vaccination chez tous les lapins passant de 4 à 7,53 ($\times 10^9/L$) globules blancs. D'abord il y a une évolution plus ou moins stable du nombre entre 0 et 24h puis une augmentation significative entre 24 et 48h après la vaccination.

Les interactions $Ge \times Al$, $Ge \times Ad$ et $Al \times Ad$ au cours du temps sont présentés dans les Annexes **2, 3 et 4**.

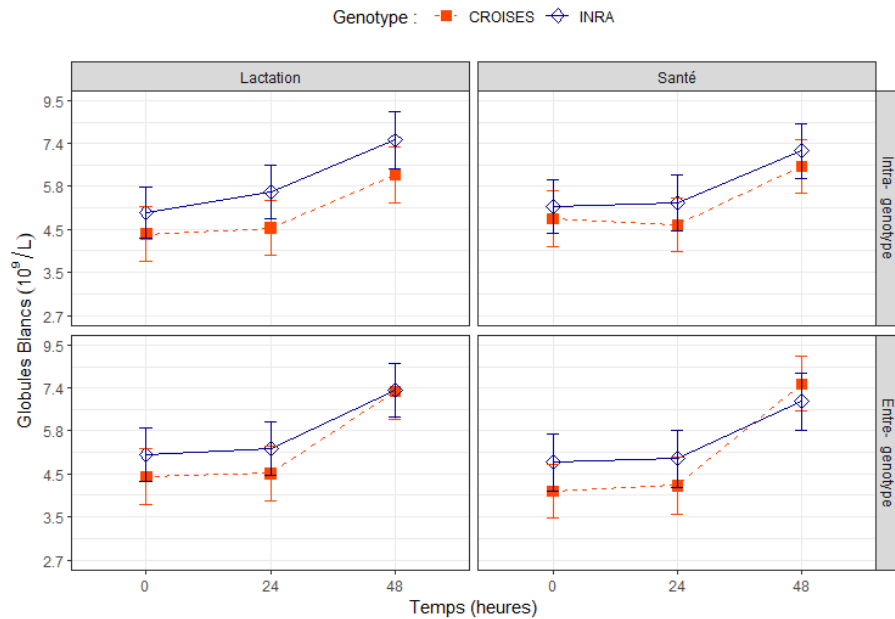


Figure 6. Nombre de globules blancs par litre de sang des lapins sains âgés de 44 jours à 00, 24 et 48h après la vaccination en fonction du génotype INRA et Croisé, de l'aliment lactation ou Santé disponible avant le sevrage et la stratégie d'adoption intra- et entre-génotypes. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 95% de chaque moyenne. Lorsqu'elles se chevauchent il n'y a pas de différence significative entre les deux génotypes.

Conclusion : Lorsqu'on réalise une vaccination, le nombre de globules blancs augmente significativement entre 24 et 48h après la vaccination quel que soit la pratique mis en place : alimentation, la génétique ou la stratégie d'adoption.

B. L'immunité innée : les Monocytes, les Neutrophiles, les Eosinophiles et les Basophiles

On distingue deux types de réponse immunitaire : innée ou acquise. La sous population des globules blancs à savoir les Lymphocytes, Monocytes et les Granulocytes (Neutrophiles, Basophiles et Eosinophiles) participent plus ou moins à l'une ou l'autre des réactions immunitaires selon le type d'agent pathogène présent dans l'organisme. Nous nous sommes intéressés à l'impact que les pratiques ont pu avoir sur leurs nombres après la vaccination.

1. Monocytes

Les données de la variable Monocyte, ne suivent pas une distribution normale. Elles ont fait l'objet d'une transformation logarithmique.

Génétique × Aliment × Adoption au cours du temps

La **Figure 7**, présente les graphes du pourcentage de monocytes à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction du génotype des lapereaux sains âgés de 44 jours, en fonction de l'aliment mis à disposition avant le sevrage (Lac ou San) et de la stratégie d'adoption (intra- et entre-génotypes).

D'abord on observe que le nombre de monocytes des lapereaux varie très peu dans le temps. En effet, le pourcentage des monocytes des INRA dans chacune des modalités étudiées, semble être stable entre 0 et 24 h après la vaccination entre 9 et 11%. Puis le nombre tend à baisser entre 24 et 48h jusqu'à environ 8,5%. A l'exception des INRA ayant eu accès à l'aliment **Lac** et en stratégie d'adoption entre-génotypes. Pour ceux-ci, on observe que nombre tend à augmenter entre 0 et 24h passant de 10 à 12,5% environ puis baisse légèrement et est stable entre 24 et 48h. A cet effet, il est noté une différence significative à 48h après la vaccination entre les lapereaux INRA dans la stratégie d'adoption intra-génotypes et ceux élevés dans la stratégie d'adoption entre-génotypes dont les mères recevaient l'aliment **Lac**. Les pourcentages à 48h étaient de 8,9% vs. 11,5%, respectivement ($P = 0.004$). Mais il y'a aucune différence entre les lapereaux INRA des différentes stratégies d'adoption lorsqu'ils ont eu accès à l'aliment **San**.

Même si visuellement, le pourcentage de monocytes 48h après la vaccination semble être différent entre les lapereaux INRA et Croisés de la stratégie d'adoption intra-génotypes ayant eu accès à aliment **Lac** (les intervalles de confiances ne se chevauche pas), nous n'avons pas observé une différence statistique ($P=0.07$).

Le pourcentage des monocytes des lapins Croisés semble rester stable au cours du temps entre environ 9 et 11,5% des globules blancs total. Le pourcentage tend à baisser légèrement entre 24 et 48h, mais les différences ne sont pas significatives.

Au bout de l'analyse sur les monocytes, nous ne notons aucune différence significative entre les génotypes INRA et Croisés, entre les stratégies d'adoptions entre-, intra-génotypes et entre l'aliment Lac et San consommé avant le sevrage. Le même constat est fait, lorsque nous analysons les interactions, Ge × Al au cours du temps, Ge × Ad au cours du temps et Al × Ad au cours du temps.

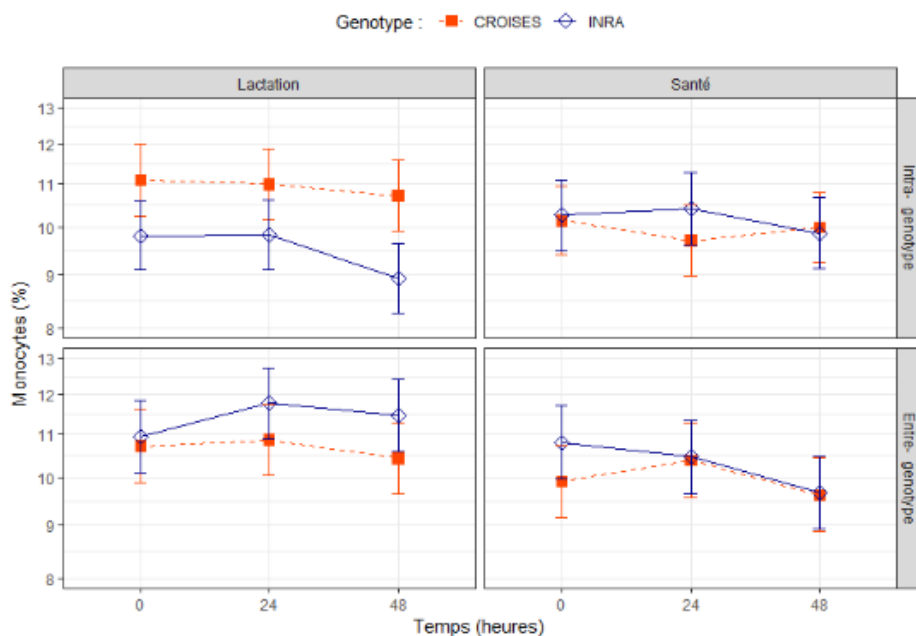


Figure 7. Pourcentage de monocytes, des lapins sains âgés de 44 jours, à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction du génotype INRA et Croisés, de l'aliment disponible avant le sevrage Lactation ou Santé et la stratégie d'adoption entre- et intra-génotypes. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 95% de chaque moyenne. Lorsqu'elles se chevauchent, il n'y a pas de différence significative entre les génotypes. Dans la première modalité (en haut à gauche), la différence entre les génotypes n'était pas significative ($P=0,07$).

Conclusion : La stratégie d'adoption entre-génotypes et l'aliment Lactation semble impacter l'évolution du pourcentage de monocytes des lapereaux INRA 48h après la vaccination. Le pourcentage de monocytes des lapins Croisés ne varie pas dans le temps, peu importe l'aliment et la pratique d'adoption.

2. Neutrophiles

Le nombre des neutrophiles est exprimé en pourcentage par rapport aux globules blancs total. Cette variable suit une loi normale.

L'analyse de l'évolution du pourcentage de neutrophiles des lapereaux au cours du temps selon leur génotype, de l'aliment à disposition avant leur sevrage et la stratégie d'adoption, ne montre aucune différence significative (interaction triple). Mais en considérant séparément, les interactions entre $Ge \times Al$, et $Ge \times Ad$, nous remarquons quelques différences significatives.

Génétique × Aliment au cours du temps

La **Figure 8**, présente l'évolution du pourcentage de neutrophiles dans le sang des lapereaux au cours du temps selon leurs génotypes et l'aliment à disposition avant le sevrage. A gauche ceux dont la mère a été alimenté par l'aliment **Lac** et à droite l'aliment **San**.

Le pourcentage de neutrophiles des lapins Croisés compris entre 37 et 46% du nombre totale de globule blancs, semble ne pas varier au cours du temps d'observation. Les valeurs semblent être constantes au cours du temps quel que soit l'aliment pour les lapins Croisés. Cependant,

nous observons que le pourcentage de neutrophiles, des lapereaux du génotype INRA est stable entre 0 et 24h (autour de 43%), puis augmente légèrement entre 24 et 48h après la vaccination et passe à 55%. Mais les différences entre 0 et 24 h et entre 24 et 48h ne sont pas significatives pour cette interaction génotype × aliment.

Toutefois on note une différence significative entre les INRA et les Croisés à 48 h lorsque les mères ont reçu l'aliment **Lac**. Les valeurs moyennes à 48h ont été de 51,1 vs. 41,3%, respectivement ($P=0.04$). Aucune différence entre les génotypes n'a été identifiée lorsque les lapins ont eu accès à l'aliment **San**.

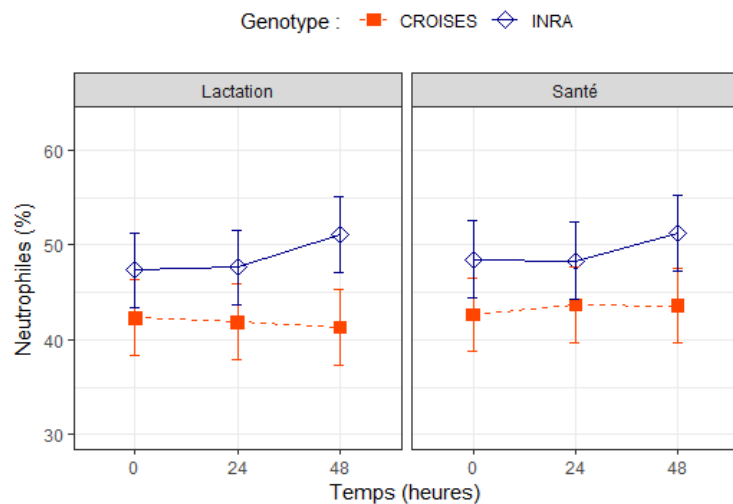


Figure 8. Pourcentage de neutrophiles des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction du génotype et de l'aliment disponible avant le sevrage. Gauche ceux qui ont eu accès à aliment lactation. Droite aliment santé. . Les barres correspondent aux intervalles de confiance. Lorsqu'elles se chevauchent, il n'y a pas de différence significative entre les génotypes.

Génétique × Adoption au cours du temps

La **Figure 9**, présente l'évolution du pourcentage de neutrophile au cours du temps selon le génotype et la stratégie d'adoption des lapereaux. A gauche les courbes des lapereaux élevés en portées intra- génotype et à droite entre- génotype.

Le nombre de neutrophiles des lapins Croisés compris entre 37 et 47% des globules blancs total tend à rester plus ou moins constant, au cours du temps quel que soit la stratégie d'adoption. Cependant, le nombre de neutrophile pour les INRA, d'abord stable entre 0 et 24h autour de 49%, le nombre augmente significativement de 48,9% à 54,5% (valeur moyenne ; $P=0.015$) entre 24 et 48h après la vaccination en stratégie intra-génotypes. A cet effet, le pourcentage des neutrophiles des lapereaux INRA en stratégie intra-génotypes est plus élevé à 48h après la vaccination en comparaison aux lapereaux Croisés (54,5% vs. 41,0%, respectivement ; $P<0.01$). Par contre le pourcentage des INRA en stratégie entre-génotypes, tend à être constant au cours du temps et ne diffère pas des Croisés.

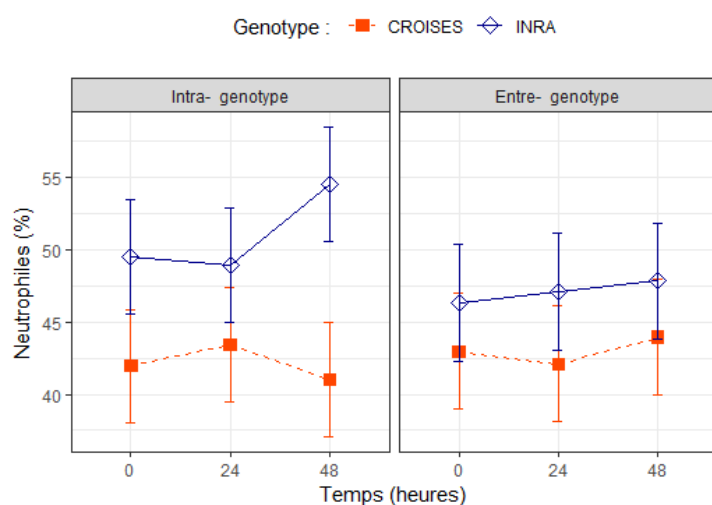


Figure 9. Pourcentage de neutrophiles des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction du génotype INRA, et de la stratégie d'adoption Intra-génotypes à gauche et entre-génotypes à droite. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 95% de chaque moyenne. Lorsqu'elles se chevauchent il n'y a pas de différence significative entre les génotypes. Pour la première modalité la différence est de 54,5% vs 41% pour les INRA et les Croisés respectivement ($P < 0,01$).

Conclusion : Le défi vaccinal influence l'évolution du pourcentage de neutrophiles dans le sang des lapereaux INRA entre 24 et 48h après la vaccination.

Placer les lapins de génotypes différents ensemble (INRA et Croisés) et/ou alimentés différemment, on obtient des réponses similaires entre les génotypes.

3. Eosinophiles

Les données de la variable éosinophile exprimé en pourcentage de globules blancs ne suivent pas une loi normale. Elles ont fait l'objet d'une transformation logarithmique.

Les analyses montrent que le nombre d'éosinophiles au cours du temps varie peu, entre 1 et 2,5% des globules blancs total. Le nombre tend à baisser légèrement entre 0 et 24 h puis à revenir à la valeur initiale pour tous les génotypes à 48 h. Les analyses statistiques de l'évolution du nombre d'éosinophiles, en fonction du temps, de la stratégie d'adoption et d'alimentation selon le génotype des lapins, ne diffèrent pas. Aussi avec les analyses des interactions séparément, $Ge \times Al$ et $Ge \times Ad$, nous ne remarquons pas de différences significatives.

C'est en considérant les interactions simples c'est-à-dire de l'évolution au cours du temps du nombre d'éosinophiles en fonction du génotype des lapins, de l'aliment et de la stratégie d'adoption (**figure 10, 11 et 12**) ; que l'on remarque un effet temps. Le nombre d'éosinophiles tend à baisser significativement ($P < 0,05$) entre 0 et 24h, puis tend à revenir à son état initial à

48h dans tous les cas. Entre 0 et 24 h le nombre baisse de : 0,47% pour les INRA ($P=0.018$) et 0,71% pour les Croisés ($P=0.002$) ; de 0,6% et 0,56% pour les lapins qui ont eu accès à l'aliment Lactation et Santé respectivement, et de 0.7% ($P=0,0003$) pour les lapins en stratégies entre génotype.

Cependant outre l'effet temps remarqué, nous n'avons noté aucune différence significative entre les types génétiques, les stratégies d'adoptions et entre l'aliment Lactation et Santé pour toutes les interactions d'analyses.

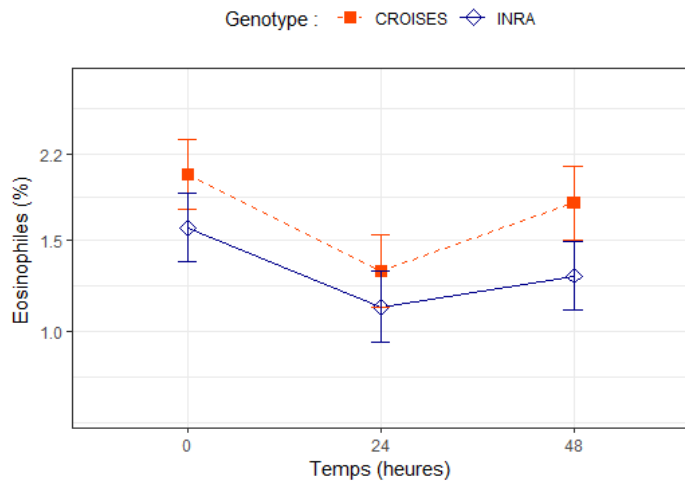


Figure 10 . Pourcentage d'éosinophile des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction de leur génotype INRA et Croisé Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 95% de chaque moyenne. Lorsqu'elles se chevauchent, il n'y a pas de différence entre les génotypes.

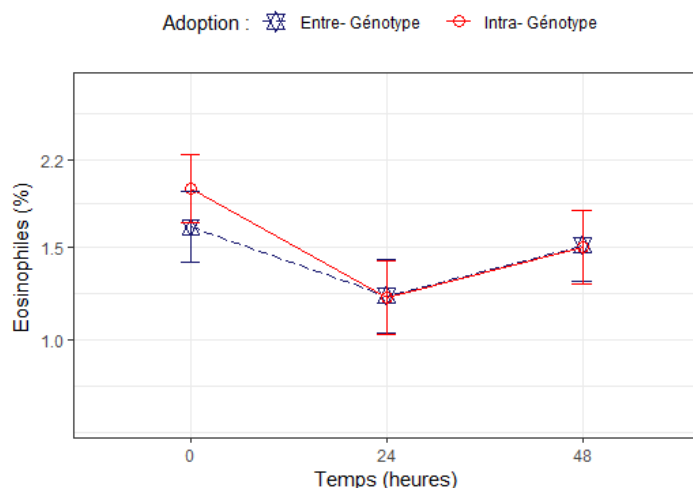


Figure 11. Pourcentage d'éosinophile des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction de la stratégie d'adoption. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 95% de chaque moyenne. Lorsqu'elles se chevauchent, il n'y a pas de différence entre les stratégies d'adoption

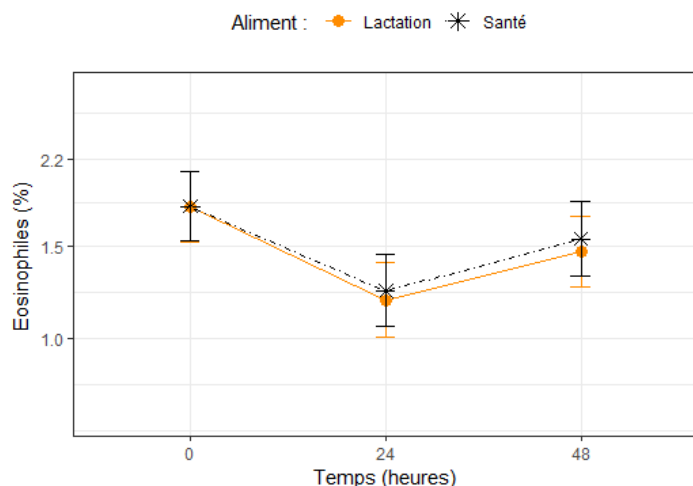


Figure 12. Pourcentage de éosinophiles des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction de l'aliment Lactation ou Santé disponible avant le sevrage. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 95% de chaque moyenne. Lorsqu'elles se chevauchent, il n'y a pas de différence entre les stratégies d'alimentation

Conclusion : La génétique, l'aliment disponible avant le sevrage et la stratégie d'adoption n'ont pas un effet sur le pourcentage d'éosinophile. Cependant la vaccination provoque une baisse significative des éosinophiles entre 0 et 24 h après la vaccination, avec un retour aux valeurs initiales 48h après la vaccination.

4. Basophiles

Les données de la variable basophile, sont aussi exprimées en pourcentage par rapport aux globules blancs. Les données ont été prises telles qu'elles étaient, car elles correspondent à des classes de valeurs successives et la transformation logarithmique ne change pas sa distribution.

Le nombre de basophiles des INRA est compris entre 0,1 et 0,5% des globules blancs total. L'interaction triple a tendance à décroître au cours du temps d'observation, sans que les différences ne soient significatives. Mais pour les Croisés les valeurs comprises entre 0,2 et 0,5% baissent légèrement mais semblent toujours revenir à leur situation initiale à 48h. Aucune différence significative n'est notée. A l'interaction, Génotype × au cours du temps (**Figure 13**), nous remarquons que à T=0h le nombre de basophiles chez les Croisés est supérieur celui des INRA de (0.42% vs. 0.26% respectivement ($P=0.04$), puis il y'a plus de différences significatives au cours du temps.

Comme pour les éosinophiles, la modélisation de l'évolution des basophiles en fonction du temps, de la stratégie d'adoption et d'alimentation selon le génotype des lapins, ne montre aucune différence significative entre les différentes stratégies de diversifications mises en place.

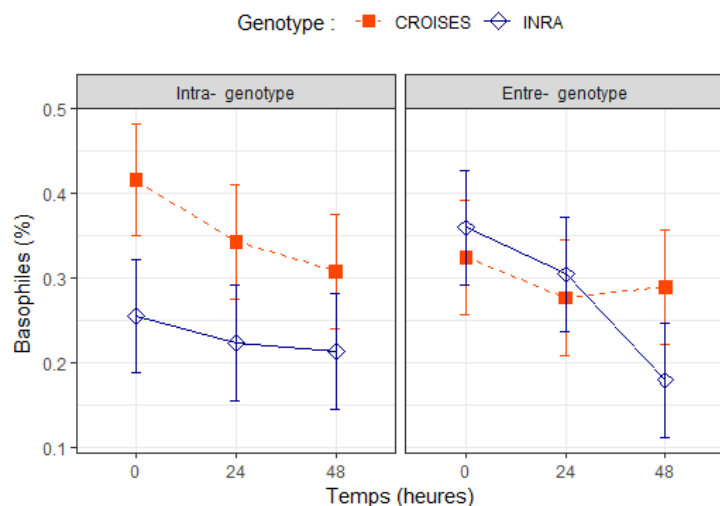


Figure 13. Pourcentage de basophiles des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction de la génétique et la stratégie d'adoption. Gauche stratégie intra-génotypes. Droite stratégie entre-génotypes. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 95% de chaque moyenne. Lorsqu'elles se chevauchent, il n'y a pas de différence significative entre les génotypes. On remarque qu'il y a une différence significative ($P=0.04$) à 0h entre les lapins en stratégie intra-génotypes.

Conclusion : L'application du défi vaccinal chez les lapins soumis à une diversification des pratiques, et des conduites n'a pas influencé l'évolution du nombre de Basophiles.

C. L'immunité acquise : les Lymphocytes

1. Lymphocytes

Les données de la variable lymphocyte sont exprimées en pourcentage par rapport aux globules blanc total. Leur distribution suit une loi normale.

D'abord de l'analyse de l'interaction $Ge \times Al \times Ad$ au cours du temps, nous observons que le nombre de lymphocyte compris entre 30 et 47 % des globules blancs total tend à rester constant pour les lapins Croisés quel que soit l'aliment ou la stratégie d'adoption. Tandis que le nombre tend à baisser légèrement entre 24 et 48 h après la vaccination lorsque les lapins sont en stratégie d'adoption intra-génotypes sans différence significative. Mais dans cette interaction il n'y a aucune différence signification notée entre les génotypes, les stratégies d'alimentations et d'adoption. De même les analyses des interactions : $Al \times Ad$ au cours du temps, $Ge \times Al$ au cours du temps, n'ont pas montré de différences significatives. Seul l'interaction $Ge \times Ad$ au cours du temps que l'on observe des différences significatives.

Génétique × Adoption au cours du temps

Les graphes d'évolution du pourcentage de lymphocytes à 0, 24 et 48h après la vaccination selon le génotype et la stratégie d'adoption de gauche à droite intra et entre-génotypes, des lapereaux sont présentés dans la **Figure 14**.

L'évolution du nombre de lymphocytes tend à augmenter entre 0 et 24 h, puis à décroître entre 24 et 48 h pour les INRA en stratégie d'adoption entre-génotypes. Cependant il reste plus ou moins stable lorsque les lapereaux INRA sont élevés en stratégie entre-génotypes. On remarque que le pourcentage des lymphocytes des lapereaux INRA dans la stratégie d'adoption intra-génotypes fut inférieur au pourcentage observé chez les lapereaux Croisées 48h après la vaccination (32,7% pour I vs. 42,8% pour C ; $P=0.006$). Alors que le nombre de lymphocytes des Croisés restent plus ou moins constantes pour les Croisés quel que soit la stratégie d'adoption.

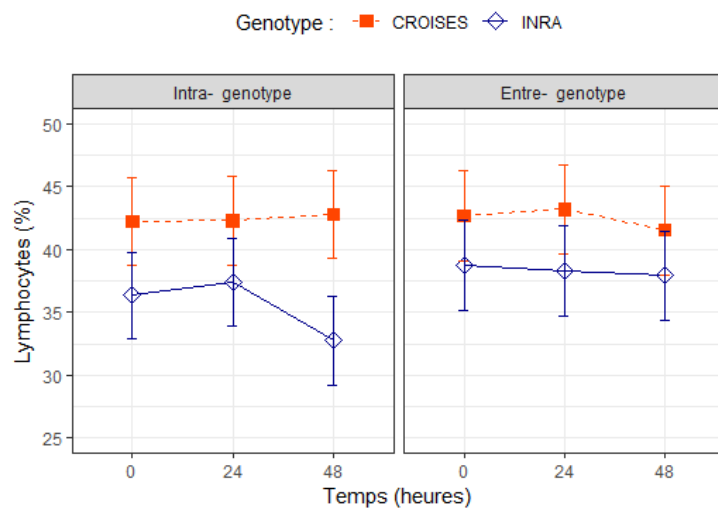


Figure 14. Pourcentage de lymphocytes des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction du génotype et de la stratégie d'adoption. Gauche adoption intra-génotypes. Droite adoption entre-génotypes. Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 95% de chaque moyenne. Lorsqu'elles se chevauchent, il n'y a pas de différence significative entre les génotypes. Nous constatons dans la modalité de gauche une différence significative à 48h 32,7% pour I vs. 42,8% pour C ; ($P=0.006$).

Conclusion : La stratégie d'adoption entre-génotypes, semble influencer le pourcentage de lymphocytes des lapereaux INRA. Car lorsque les lapereaux INRA et Croisées sont mélangés au sein d'une même portée (stratégie d'adoption entre-génotypes), le pourcentage de lymphocytes à 48h ne diffère pas.

D. Synthèse des résultats statistiques

Le **Tableau 4** présente un récapitulatif des effets des différents facteurs étudiés : génétique, type d'aliment, d'adoption ainsi que leurs interactions sur les réponses immunitaires innée et adaptative suite à une vaccination et faisant intervenir les différentes sous populations de globules blancs. Nous pouvons remarquer de manière globale, que la vaccination a induit une réponse immunitaire globale, le nombre total de globules blancs a varié avec le temps (un effet temps significatif) indépendamment des différentes stratégies mises en place.

Ensuite, pour ce qui concerne les différentes sous populations de globules blancs : éosinophiles et basophiles, leurs valeurs n'ont pas été influencé par la diversification des pratiques et des conduites. Il a fallu pousser les analyses pour pouvoir observer des différences significatives au cours du temps. Par contre ces diversifications ont, dans certaines situations, impacté l'évolution du pourcentage de monocytes (stratégie entre-génotypes + aliment Santé), des neutrophiles (stratégie entre- + aliment Santé) et des lymphocytes (stratégie entre-génotypes). Ce qui a permis d'observer des différences de valeurs entre les génotypes INRA et Croisés 48h après la vaccination lorsqu'ils sont alimentés avec l'aliment Lactation dont la composition est proche de l'aliment retrouvé sur le commerce et/ou lorsqu'ils partagent le milieu de vie avec des congénères de la même génétique. Tandis que lorsque les lapereaux INRA et Croisés ont eu accès à l'aliment Santé, et/ ou partageaient le milieu de vie avec des congénères de génétique différent, il n'y avait pas de différence.

Tableau 3. Synthèse des résultats obtenus de l'analyse de l'impact de différents facteurs génétiques, aliments et adoptions ainsi que leurs interactions sur la réponse immunitaire globale, innée et adaptative.

Les différents facteurs et leurs interactions								
Composantes de la réaction immunitaire	Ge × Al × Ad × T	Ge × Al × T	Ge × Ad × T	Ge × T	Génotype (INRA vs Croisés)	Aliment (Lactation vs Santé)	Adoption (Intra- vs Entre-)	Temps
Immunité globale	P<0.05				NS	NS	NS	P<0.05
Immunité innée								
Monocytes	P<0.05				NS	NS	P<0.05	NS
Neutrophiles	NS	P<0.05	P<0.05		NS*	NS*	NS*	P<0.05
Eosinophiles	NS	NS	NS	P<0.05	NS	NS	NS	P<0.05
Basophiles	NS	NS	NS	P=0.04	NS	NS	NS	P<0.05
Immunité acquise								
Lymphocytes	NS	NS	P<0.05		NS	NS	P<0.05	NS

* : La différence est significative dans des conditions données.

DISCUSSION

Notre étude se fonde sur les principes de l'agroécologie, notamment sur l'hypothèse que la diversification de la génétique et des pratiques serait un moyen pour renforcer le système immunitaire des jeunes lapins et limiter le recours aux intrants pharmaceutiques. Le défi vaccinal est réalisé pour tester si la réponse immunitaire innée des jeunes lapins issus d'un troupeau avec une plus grande diversité génétique et des pratiques d'alimentation et d'adoption s'améliore face à la pratique courante. A cet effet les jeunes lapereaux ont été vaccinés avec un virus vivant de la myxomatose, qui exprime une protéine de la maladie hémorragique virale du lapin.

A. Impact du défi vaccinal sur la réponse immunitaire globale

Lorsque l'organisme entre en contact avec un agent pathogène (bactérie ou virus), celui-ci met en place des mécanismes de défense après la reconnaissance de l'agent pathogène aboutissant à une mémoire immunitaire. L'observation de ces mécanismes de défense des lapins permet d'apprécier leurs robustesses. Ces mécanismes de défense se traduisent par une augmentation du nombre totale, de globules blancs (Molly, 2014). Nous avons pu observer qu'en mettant en contact le lapin avec le virus atténué⁴ myxomateux et la protéine de la maladie virale du lapin, par la vaccination, le nombre total des globules blancs à augmenter significativement au cours du temps pour tous les lapins. Ce qui traduit que l'utilisation du défi vaccinal est une méthode pour observer une variation du nombre de globules blancs. En lieu et place de méthode de références : l'inoculation des bactéries (Toth et al., 1998), ou de lipopolysaccharide (LPS) un composant structural de la paroi cellulaire des bactéries Gram-négatives (voir Knudsen et al., 2016 pour les lapins).

Molly, (2014) souligne que si l'augmentation de globules blancs totale est importante et remarquable chez les autres espèces d'élevage, pour le lapin cette augmentation n'est pas toujours très significative lors d'une infection bactérienne ou virale. En ce sens nous avons pu constater que l'augmentation du nombre de globules blancs totale (de 4,8 à $7,02 \times 10^9/l$ de sang) reste dans la fourchette des données de laboratoire pour les lapins sains de moins de trois mois (entre 4 et $9,8 \times 10^9/l$).

B. Les pratiques diversifiées impactent la réponse inflammatoire

Lors de l'infection, une réponse immunitaire non spécifique se met en place très rapidement : c'est l'immunité innée. Les principales cellules qui interviennent dans sa mise en place sont les neutrophiles et les monocytes qui se transforment en macrophages et en cellules dendritiques. Ces cellules ont pour fonction d'absorber, digérer et rejeter les déchets de l'agent pathogène : c'est la phagocytose. Puis, ils libèrent également des protéines médiatrices, comme les cytokines, qui induisent à leur tour la maturation et la multiplication des neutrophiles, lymphocytes, et des macrophages : c'est la réaction inflammatoire (Abbal et al., 2004).

⁴ Virus atténué : virus qui a perdu son caractère infectieux mais qui garde son caractère antigénique reconnu par les cellules de défenses.

La réponse immunitaire innée débute alors par la réaction inflammatoire qui est rapide et non spécifique à un agent pathogène. Elle est à l'origine de l'augmentation du nombre de globules blancs total et des neutrophiles en particulier.

Les éosinophiles et basophiles sont les moins nombreux des globules blancs. Ils interviennent lors de la réaction allergique ou lors d'une infection parasitaire. On peut observer dans ces cas une augmentation d'éosinophiles et de basophiles (Molly, 2014). L'infection étudiée étant virale, nous n'avons pas observé une variation importante de leurs effectifs. Toutefois ils participent également à la réaction inflammatoire par la production des protéines qui favorisent la réponse inflammatoire, donc l'activation et la prolifération des neutrophiles et monocytes (Abbal et al., 2004).

La diversification (des pratiques et des conduites) appliquée, nous permet de caractériser 4 grandes conditions d'élevage pour les INRA et Croisés : (i) proche de la situation conventionnelle : l'aliment type Lactation et la stratégie d'adoption intra- génotype ; (ii) aliment conventionnel et troupeau mosaïque : Lactation et stratégie d'adoption entra- génotype, (iii) aliment riche en fibre et troupeau non mosaïque : Santé et stratégie d'adoption intra- génotype et (iv) aliment riche en fibre et troupeau mosaïque : Santé + stratégie d'adoption entra- génotype.

Nous constatons que les lapins INRA dans les conditions (i) et (ii) ont eu des valeurs de monocytes différentes 48h après la vaccination. Ce qui souligne qu'élever des lapins de différentes génétiques ensemble dans les conditions proches des pratiques conventionnelles influence l'évolution du nombre de monocytes. De plus, dans les conditions de pratiques proches du système conventionnel (i), les lapereaux INRA ont eu une augmentation entre 24 et 48h du pourcentage de neutrophiles significativement supérieure à celle des Croisés. L'augmentation du nombre de neutrophiles peut aussi s'observer plutôt. Toth et al. (1988) avaient noté une augmentation de neutrophiles 6h après l'inoculation de bactéries *Staphylococcus aureus* vivantes ou 48h après l'inoculation (à faible dose) de bactéries inactivées de *Staphylococcus aureus* à des lapins Néo-zélandais blancs. Ils avaient aussi noté une augmentation de la température corporelle des animaux de 1,0 à 1,5°C entre 6 à 48h après l'inoculation.

Toutefois, lorsque les INRA sont élevés en portées mixtes (avec les congénères croisées, cas (ii), ou lorsque la nourrisse reçoit un aliment type santé, cas (iii) et (iv), l'évolution du nombre de neutrophiles n'est pas significativement différente de celles des Croisés. Pour ceux-ci, la durée limitée de l'expérimentation n'a pas permis d'observer une différence significative pour les valeurs de neutrophiles (et de monocytes) avant et après la vaccination, quelles que soient les conditions d'élevage. Ces résultats montrent que la stratégie d'adoption et l'aliment santé influencent l'évolution des neutrophiles des lapins INRA mais pas celle des Croisés. Ces derniers semblent être moins sensibles au virus dans tous les cas, car ayant bénéficié des gènes du mâle fauve (rustique) : *c'est l'effet d'hétérosis* (Kerr et al., 1998).

Best et al., (2000) avaient noté que le virus myxomateux a la capacité d'empêcher la mise en place d'une réponse immunitaire adaptative en infestant les cellules dendritiques, limitant la réaction inflammatoire et en détruisant les lymphocytes. La résistance pour ce virus est observée

chez les lapins qui ont une importante réaction inflammatoire. D'où l'importance de la réaction inflammatoire pour le contrôle de l'infection du virus myxomateux chez les sujets sensibles au virus souligné par Bonlieu (2008). De ce fait, une augmentation importante du nombre de neutrophiles observé pour les lapins INRA serait, dans les conditions conventionnelles, intéressante en présence du virus.

Enfin, Knap, (2005) cité par Phocas et al. (2014) définissent la robustesse comme « *la capacité pour un animal d'exprimer son potentiel de production dans une large gamme d'environnements sans pour autant compromettre sa reproduction, sa santé et son bien-être* ». L'inoculation d'un agent pathogène est une perturbation susceptible d'impacter le potentiel de production. Mais avec la stratégie d'adoption entre-génotypes et l'aliment type « Santé », on parvient à rendre des lapins avec un haut niveau de production moins sensibles à une infection virale. Ce qui pourrait être un atout dans les élevages où les écosystèmes sont moins artificialisés.

C. L'immunité acquise non observée

A la suite de la réponse immunitaire innée se met en place la réponse immunitaire acquise pour laquelle ce sont principalement les lymphocytes qui interviennent, notamment les lymphocytes T et B. Best et al. (2000) soulignent que cette réaction se met en place durant la période d'incubation de 4 à 9 jours pour les virus myxomateux pleinement actifs. Durant cette période, le virus infeste les lymphocytes et entraîne une réduction importante de leur nombre. La résistance de l'hôte dépendra de sa capacité à ralentir suffisamment la réplication et la dissémination du virus, pour permettre à la mise en place de la réponse adaptative.

Nous n'avons pas constaté une différence significative de l'évolution du nombre de lymphocytes avant et après l'inoculation. Toutefois 48h après l'inoculation les lapereaux INRA avaient un taux de lymphocytes plus faible que les Croisés lorsqu'ils sont élevés avec des congénères de la même génétique. Notre interprétation pour cette donnée reste limitée, car l'hémogramme ne donne pas d'informations détaillées sur les types de lymphocytes. Enfin d'après la notice du vaccin, l'immunité des lapins à la MHL et à la myxomatose débute à 3 semaines. La durée limitée de l'expérience (48h) ne donne pas la possibilité de mesurer cette l'immunité acquise.

Ainsi cette étude pourrait être reconduite, dans ce cas il serait intéressant de prolonger la durée de prélèvement au-delà de 48 h après la vaccination. En cas de contrainte de temps, il serait possible de réaliser la vaccination à 35 jours de vie comme signalé dans la notice. Ou alors, vu qu'il n'y a pas de différence significative de valeurs à 24 h après la vaccination, réaliser le premier prélèvement 48h après la vaccination, pour voir la courbe d'évolution complète des paramètres sanguin des lapins sur la durée d'incubation pour le virus de la myxomatose.

De façon globale, l'application de stress via la vaccination, nous a permis d'analyser la réponse immunitaire innée des lapins d'élevage et apprécier leur robustesse dans différentes conditions d'élevage. Cette étude ouvre ainsi différentes perspectives d'application pour les recherches futures en santé animale.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Notre étude a porté sur un défi vaccinal réalisé sur 82 lapereaux d'élevage soumis à une diversification des pratiques d'alimentation et de conduite. Elle nous a permis d'analyser leur robustesse sur la base d'un nouveau type de stress biologique (défi vaccinal). Les variations du nombre de globules blancs et des sous populations confortent l'idée que l'utilisation du défi vaccinal est une méthode intéressante pour apprécier la réponse immunitaire et la robustesse des animaux d'élevage.

Aussi à partir d'observations sur la réaction immunitaire, nous avons identifié que la mixité génétique favorisait des interactions positives sur la santé globale du groupe. Ainsi les lapins de la génétique INRA et des lapins Croisés (souche rustique et spécialisée) ont une réponse immunitaire différente dans le système conventionnel, non diversifié, mais leurs réponses sont identiques lorsqu'on les place dans des conditions d'élevage avec plus de diversification. Les conditions d'élevage avant le sevrage impacteraient ainsi la santé de l'animal durant la phase d'engraissement. Cependant ces résultats doivent être soutenus par d'autres recherches sur la question avec une durée, sur l'analyse des différents paramètres zootechniques mesurés pendant l'expérimentation.

Les résultats obtenus et analysés ouvrent des perspectives d'actions pour d'abord des recherches futures sur la réponse immunitaire et la santé animale, avec l'utilisation le défi vaccinal. Aussi l'introduction d'une diversité génétique et/ la diversification des pratiques dans les élevages semble être intéressantes pour stimuler la santé globale du troupeau, pour à long terme produire des lapins sans avoir recours important d'antibiotiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Abbal M., Alric L., A Cantagrel A., Delisle, 2004. *Reaction inflammatoire : aspect biologiques et cliniques. Conduites à tenir*. Module 8 – Item 112 de la Faculté de médecine de Toulouse. Disponible sur internet : <http://www.medecine.ups-tlse.fr/DCEM2/module8/item112/index11.htm> [consulté le 03/09/2020].
2. Achard C., Dupouy D., Siviglia S., Arpaillage N., Gabinaud B., Combes S., Ramayocaldas Y., C. Denis, Ballester M., Boucher S., Dile B., Chatellier S., Le Normand B., Chaubet A., Esquerre D., Ghozlane A., Ruppe E., A. Bousquet-Melou, Estelle J., Zemb O., 2015. Etat des lieux de l'antibiorésistance en élevage cunicole français et application du concept d'exclusion compétitive pour limiter la transmission d'un microbiote maternel antibiorésistant. *16èmes Journées de la Recherche Cunicole, 24 et 25 novembre 2015, Le Mans, France* 197- 201 p. Disponible sur internet : <http://www.cuniculture.info/Docs/Magazine/Magazine2015/Fichiers-pdf-JRC/41-Achard.pdf> [consulté le 20/04/2020].
3. Altieri M. A., 2002. Agroecological principles and strategies for sustainable agriculture. In: *Agroecological Innovations: Increasing food production with participatory development*. Norman Uphoff (Ed), Earthscan publication ltd, London, U.K., 40-46 p.
4. Amiaud B., et Carrère P., 2012. La multifonctionnalité de la prairie pour la fourniture de services écosystémiques. *Fourrages*, Association Française pour la Production Fourragère, pp.229-238. (hal-02650356)
5. Bonlieu S. M. J., 2008. *Etude de la protection virologique induite par la vaccination contre la Myxomatose chez le lapin européen*. Thèse de doctorat, médecine vétérinaire. Université Paul-Sabatier de Toulouse, 119 p. Disponible sur internet : https://oatao.univ-toulouse.fr/1146/1/jan_1146.pdf [consulté le 05/09/2020].
6. Brun J.M.,1993. Paramètres du croisement entre 3 souches de lapin et analyse de la réponse à une sélection sur la taille de portée: caractères des portées à la naissance et au sevrage. *Genetics Selection Evolution, BioMed Central*, 25 (5), 459-474p. Disponible sur internet : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00894009/document> [consulté le 20/04/2020].
7. Best S.M., Collins S.V., Kerr P.J., 2000. Coevolution of host and virus: Cellular localization of virus in myxoma virus infection of resistant and susceptible european rabbits. *Virology*, 277, 76-91 p. Disponible sur internet : <https://doi.org/10.1006/viro.2000.0505> [consulté le 07/09/2020]

8. Organisation des nation Unies, 1992. *Convention sur la Diversité Biologique au sommet de la terre à Rio en de 1992. Dans l'article défini le terme « diversité biologique »* <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-fr.pdf>

9. Chevassus-au-Louis, 2005. Les enjeux de la biodiversité animale. *Bull. Acad. Vét. France - Tome 158 - N°2* disponible sur internet: <http://academieveterinaire.free.fr/bulletin/pdf/2005Numero2/chevassus.pdf> [Consulté le 31/03/2020]

10. Coleou J. 1997. Apparition des modes intensifs en élevage. *In : Le mangeur et l'animal. Mutations de l'élevage et de la consommation, Paris, éd. Autrement, coll. mutations/mangeurs, n°172, 1997, 42 p.* [consulté le 10/4/2020].

11. Combes S., Gidenne T., Boucher S., Fortun-Lamothe L., Bolet G., Coureaud G., 2018. Pour des lapereaux plus robustes au sevrage: des bases biologiques aux leviers d'action en élevage? *INRA Productions Animales, Paris: INRA, 31 (2), 105-116 p.* Disponible sur internet : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01933641/> [consulté le 10/06/2020].

12. Cournut S., Bertrand J., Conrard A., Ingrand S., 2012. Intérêt de la mixité d'espèces pour accroître la flexibilité des élevages : l'exemple des élevages bovin lait + ovin viande en Auvergne. Disponible sur internet : <https://www.researchgate.net/publication/281657770> [Consulté le 02/05/2020].

13. Courreaud G., Heiko G., Rödel, Le Normand B., Fortun-Lamothe L., Bignon L., 2015. Habitat et comportement. Chapitre 4. 107- 136 p. *In : Le lapin De la biologie à l'élevage.* Ed Quæ Collection Savoir Faire 288 p. ISBN 978-2-7592-2416-6, référence 02512.

14. De Sylguy C., 1997. *L'agriculture biologique.* Ed. Fenixx, ISBN 2705908250978270590825 132 p.

15. Djago A. Y., Kpodekon M. 2007. *Méthodes et techniques d'élevage du lapin élevage en milieu tropical.* 2ème édition révisée du : *Le guide pratique de l'éleveur de lapins en Afrique de l'ouest.* Editeur : Association "Cuniculture" 31450 Corronsac – France 74p. Disponible sur internet : <http://www.cuniculture.info/Docs/Elevage/Elevage-fichiers-pdf/Elevage-Tropic-pdf/Presentation-generale.pdf> [consulté le 12/04/2020]

16. Domingues J.P., J.P., Bonaudo T., Gabrielle B., Perrot C., Trégaro Y., Tichit M., 2019. Les effets du processus d'intensification de l'élevage dans les territoires. *INRAE Productions Animales, 32(2), 159-170 p.* Disponible sur internet : <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2506> Consulté le 30/03/2020].

17. Dumont B., Fortun-Lamothe L., Jouven M., Thomas M., Tichit M., 2013. Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production. *in the 21th century. Animal*, 7(6), 1028-1043p. Disponible sur internet : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3640203/> [consulté 20/04/2020].
18. Estany J., Camacho, J., Baselga, M., Blasco, A. 1992. Selection response of growth rate in rabbits for meat production. *Genetics, Selection, Evolution: GSE*, 24(6), 527–537p. Disponible sur internet: <https://doi.org/10.1186/1297-9686-24-6-527> [consulté le 05/05/2020]
19. Faith D. P., 2019. "Biodiversity" The Stanford Encyclopedia of Philosophy. *Ed Fall 2019 Edward N. Zalta (ed.)*. Disponible sur Internet : <https://plato.stanford.edu/archives/fall2019/entries/biodiversity/> [Consulté le 10/04/2020].
20. Fortun-Lamothe L., Boullier S., 2007. A review on the interactions between gut microflora and digestive mucosal immunity. Possible ways to improve the health of rabbits. *Livestock Science* 107, 1–18.
21. Fortun-Lamothe L., Thomas M., Tichit M., Jouven M., Gonzalez G. E., Jean-Yves Dourmad, Bertrand Dumont (2013). Agro-écologie et écologie industrielle: deux voies complémentaires pour les systèmes d'élevage de demain. Applications potentielles aux systèmes cunicoles. *15. Journées de la Recherche Cunicole, Nov 2013, Le Mans, France*. 121-131p. Disponible sur internet : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01198227> [consulté le 17/05/2020].
22. Fortun-Lamothe L., Theau-Clément M., Combes S., Allain D., Lebas F., Le Normand B., et Gidenne T., 2015. La physiologie. Chap. 2. In *Le lapin de la biologie à l'élevage*. Ed Quæ Collection Savoir Faire pp 288, ISBN 978-2-7592-2416-6, 33-76 p.
23. Friggens N. C., Brun La-fleur L., Faverdin P., Sauvant D., Martin O., 2011. Advances in predicting nutrient partitioning in the dairy cow: recognizing the central role of genotype and its expression through time. *Animal*. 2013; 7 Suppl 1:89-101. Disponible sur internet: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23031683/> [consulté 05/06/2020]
24. Garreau H., Duzert R., Tudela F., Baillot C., Ruesche J., Grauby G., Lille-Larrocau C., De Rochambeau H., 2005. Gestion et sélection de la souche INRA 1777 : Résultats de trois

- génération de sélection. *11èmes Journées de la Recherche Cunicole, 29-30 novembre 2005, Paris*. Disponible sur internet : <http://www.journees-de-la-recherche.org/PDF/05-Garreau2.pdf> [consulté le 10/05/2020]
25. Garreau H., Brun J-M., Theau Clément M., Bolet G., 2008. Evolution des axes de recherche à l'INRA pour l'amélioration génétique du lapin de chair. *Productions animales, Institut National de la Recherche Agronomique, 21 (3), 269-276 p.* Disponible sur internet : hal-02663352, [consulté le 10/05/2020]
 26. Garreau H., Fournier E., Allain D., Gunia M., 2015. Génétique et sélection. Chap. 7. In : *Le lapin de la biologie à l'élevage*. Ed Quæ Collection Savoir Faire 288 p., ISBN 978-2-7592-2416-6, référence 02512, 227-252 p.
 27. Gidenne T., Lebas F., Savietto D., Dorchies P., Duperray J., Davoust C., Fortun-Lamothe L., 2015. Nutrition et alimentation. Chap. 5. In : *Le lapin de la biologie à l'élevage*. Ed Quæ Collection Savoir Faire 288 p. ISBN 978-2-7592-2416-6, reference 02512, 137-182 p.
 28. Gliessman S.R., 1997. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. CRC Press 384p.
 29. Goudard A., 2007. *Fonctionnement des écosystèmes et invasions biologique : importance de la biodiversité et des interactions interspécifique*. Thèses de doctorat. Université Pierre et Marie Curie Paris VI Paris VI, spécialité Ecologie. Disponible sur : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00154719> [consulté le 05/05/ 2020]
 30. Gravel D., Gounand I., et Mouquet N., 2009. Le rôle de la biodiversité dans le fonctionnement des écosystèmes. *Ciência et Ambiente 39*, 63-82p. Disponible sur internet : <https://www.researchgate.net/publication/260096477>, [consulté le 05/05/ 2020]
 31. Griffon, M., 2014. L'agroécologie, un nouvel horizon pour l'agriculture. *Études*, décembre (12), 31-39. doi:10.3917/etu.4211.0031.
 32. HENRY J.-S., 2000. *L'élevage intensif des animaux de ferme et ses conséquences sur les sociétés humaines. Biologie : La pollution Tome second*, Certificat d'Enseignement Secondaire Supérieure (C.E.S.S.), Bruxelles.146 p.
 33. Institut National de la Statistique et des Etudes Economique (INSEE), 2015. *Cinquante ans de consommation alimentaire: une croissance modérée, mais de profonds changements*. Disponible sur internet : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1379769> [Consulté le 15/05/2020].

34. Institut Technique des filières Avicoles, Cunicole et Piscicole (ITAVI) 2017. *Structure et organisation des filières cunicoles en Europe, Analyse comparée des filières espagnole, italienne, hongroise, belge et néerlandaise*. Disponible sur internet : https://www.franceagrimer.fr/fam/content/download/54250/document/Filière_cunicoles_UE_VF.pdf?version=6 [consulté le 15/05/2020]
35. Keesing F., Belden L., Daszak, P., Dobson A., Drew Harvell C., Robert D. H., Hudson P. et al., 2010. Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. *Nature* 468, 647–652 p. Disponible sur internet: <https://doi.org/10.1038/nature09575> [consulté le 01/05/ 2020]
36. Kerr P. J., Best S. M., 1998. Myxoma virus in rabbits. *Rev Sci Tech.* 1998;17(1)256-268 p. Disponible sur internet: <https://www.oie.int/doc/ged/D9196.PDF> [consulté le 11/09/2020].
37. Kirchhelle C., 2018. Pharming animals: a global history og antibiotics in food production (1935-2017). *Palgrave Communications* 4 (1): 96, 13 p. Disponible sur Internet : <https://doi.org/10.1057/s41599-018-0152-2> [consulté le 12/04/2020]
38. Knap P.W., 2005. Breeding robust pigs. *Austral. J. Exp. Agric.*, 45, 763-773
39. Le Normand B., Boucher S., Marlier D., Le Gall-Reculé G., Marchandea S., Decors A., Ferté H., Dilé B., et Bertagnoli S., 2015. Santé et prévention des maladies. Chapitre 6 du livre « Le lapin de la biologie à l'élevage ». Ed Quæ Collection Savoir Faire pp 288, ISBN 978-2-7592-2416-6, référence 02512, pp.183-225.
40. Lebas F., 2008. Conception des bâtiments d'élevage de lapins. 29 p. Disponible sur internet : <https://www.researchgate.net/publication/272021954> [consulté le 17/05/2020]
41. Lebas F., 2009. La cuniculture française : Perspectives Innovations. Disponible sur internet : <https://www.researchgate.net/publication/272043154> [consulté, le30/04/2020].
42. Lesage M. 2015, *Les antibiorésistances en élevage : vers des solutions intégrées*. Centre d'études et de prospective du Ministère de l'agriculture de l'agroalimentaire et de la forêt, Analyse N° 82, 4 p. Disponible sur Internet : https://agriculture.gouv.fr/sites/minagri/files/cep_analyse82_antibioresistances_en_elevage.pdf [consulté le 05/04/2020]
43. Lhermie G, Raboisson D., Krebs S. Pierre Dupraz, 2015. Facteurs déterminants et leviers de réduction de l'usage des antibiotiques en productions animales. *Économie rurale Agricultures, alimentations, territoires* 348, mis en ligne le 01 janvier 2017 3-22 p.

Disponible sur Internet : <https://doi.org/10.4000/economierurale.4671> [consulté le 15/04/2020]

44. Licois D., 1996. Risques associés à l'utilisation des antibiotiques chez le lapin: une mini revue. *World Rabbit Science* 4 (2): 63-68. Disponible sur Internet : <https://doi.org/10.4995/wrs.1996.272> [consulté le 12/04/2020]
45. Molly V. 2014. Clinical Pathology. Chap. 2. In : Textbook of Rabbit Medicine (Second Edition), Butterworth-Heinemann, ISBN 9780702049798. Disponible sur : <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780702049798000029> [consulté le 04/09/2020].
46. Moore D. M., Zimmerman K., Smith S. A. (2015). Hematological assessment in pet rabbits: blood sample collection and blood cell identification. *The veterinary clinics of North America. Exotic animal practice*, 18(1), 9–19. Disponible sur internet <https://doi.org/10.1016/j.cvex.2014.09.003> [consulté le 10/09/2020]
47. Pekkala N., Knott K.E., Kotiaho J.S., Nissinen K. Puurtinen M., 2014. The effect of inbreeding rate on fitness, inbreeding depression and heterosis over a range of inbreeding coefficients. *Evol Appl*, 7(9): 1107–1119p. doi: 10.1111/eva.12145. Disponible sur internet: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4231599/> [consulté le 05/05/2020]
48. Phocas F., Bobe J., Bodin L., Charley B., Dourmad J.Y., Charles Friggens N., Hocquette J.F., Le Bail P.Y., Duval E., Mormède P., Quéré P., Schelcher F., 2014. Des animaux plus robustes : un enjeu majeur pour le développement durable des productions animales nécessitant l'essor du phénotypage fin et à haut débit. *INRA Productions Animales*, 27 (3), 181-194 p. Disponible sur internet : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01173636> [consulté le 10/09/2020].
49. Phocas F., Bello C., Bidane J. Idanel J., Delaby L., Dourmad J.-Y., Dumont B., Ezanno P., Fortun-Lamothe L., Foucras G., Frappat B., Gonzalez-garcia E., Hazard D., Larzul C., Lubac S., Mignon-Grasteau S., Moreno-Romieux C., Tixier-Boichard M., Brochard M. 2017. Quels programmes d'amélioration génétique des animaux pour des systèmes d'élevage agro-écologiques? *INRAE Productions Animales*, 30 (1), 31-46 p. Disponible sur internet: <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2017.30.1.2232>, [consulté le 17/04/2020]

50. Reznick, D., Nunney, L., & Tessier, A. (2000). Big houses, big cars, superfleas and the costs of reproduction. *Trends in ecology & evolution*, 15(10), 421–425. <https://www.researchgate.net/publication/222569462>
51. Rochambeau H., 1989. La génétique du lapin, producteur de viande. *Productions animales, Institut National de la Recherche Agronomique, 1989, 2 (4), 287-295p*. Disponible sur internet : https://www.researchgate.net/publication/333772328_La_genetique_du_lapin_producteur_de_viande [consulté le 10/05/2020]
52. Roguet C., Delanoue E., 2013. Les controverses sur l'élevage e France en 2013, signe d'un débat nécessaire avec la société. Disponible sur internet : <https://www.ifip.asso.fr/sites/default/files/pdf-documentations/roguet2014jmstv.pdf> [consulté le 25/04/2020]
53. Sánchez J. P., Theilgaard P., Mínguez C., Baselga M., 2008. Constitution and evaluation of a long-lived productive rabbit line. *J Anim Sci.* 2008;86(3):515-525p. Disponible sur interent: <http://jas.fass.org/cgi/content/full/86/3/515#BIBL> [consulté le 17/04/2020]
54. Stassart P. M., Baret P., Grégoire J-C., Hance T., Mormont M., Reheul D., Stilmant D., Vanloqueren G., Visser M., 2012. L'agroécologie : trajectoire et potentiel pour une transition vers des systèmes alimentaires durables. Chapitre 1. In : *Agroécologie entre pratiques et sciences sociales* édité par D. Van Dam, M. Streith , J. Nizet et P. M. Stassart. Disponible sur internet : <http://hdl.handle.net/2268/130063>. [Consulté le 03/05/2020]
55. Theau-Clément M., Savietto D., Travel A., Fortun-Lamothe L. 2015. La reproduction. Chap. 3. In : *Le lapin de la biologie à l'élevage*. Ed Quæ Collection Savoir Faire pp 288, ISBN 978-2-7592-2416-6, référence 02512, 77- 106 p. [consulté le 12/05/2020]
56. Thomas M., Fortun_Lamothe L., Jouven M., Tichit M., Gonzalez-Garcia E., Dourmad J.-Y., et Dumont B., 2014. Agro-écologie et écologie industrielle : deux alternatives complémentaires pour les systèmes d'élevages de demain. In: Numéro spécial, Quelles innovations pour quels systèmes d'élevage? Ingrand S., Baumont R. (Eds). INRA Prod. Anim., 27, 89-100. [consulté le 02/04/2020]
57. Tilman D., Isbel F., et Cowles J.M., 2014. Biodiversity and Ecosystem Functioning. The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics is online at [ecolsys.annualreviews.org, https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-120213-091917](https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-120213-091917)

58. Toth L., Krurger J., 1988. Alteration of Sleep in Rabbits by Staphylococcus aureus Infection. Infection and immunity, 56 (7), 1785-1791 p. Disponible sur internet : <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC259478/pdf/iai00079-0121.pdf> [consulté le 06/09/2020].
59. Trillaud A., 2019. Filière cunicole. Disponible sur Internet : <http://www.epsilon.insee.fr/jspui/handle/1/101053> [consulté le 05/04/2020].

ANNEXES

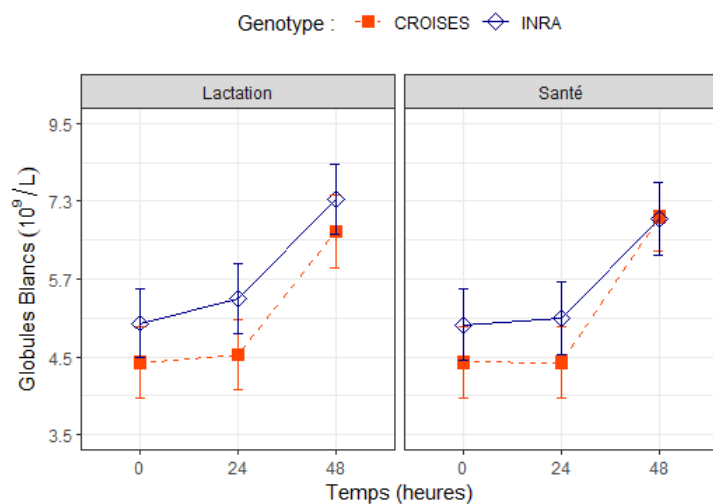
Annexe I. Ingrédients et composition chimiques des aliments lactation (Lac) et santé (San).

Ingrédients (%)	Aliment Lactation	Aliment Santé
Orge IO = 77	-	5.10
Avoine	-	8.30
Triticale	-	5.00
Blé	23.2	5.00
Tourteau de tournesol	10.3	13.6
Tourteau de soja	10.3	9.60
Pulpe de betterave	16.4	18.00
Luzerne déshydratée 15	34.4	30.45
Huile de soja	2.50	2.95
Sucre Poudre	1.00	0.30
Sel (NaCl)	0.45	0.46
Prémix Lapin (Vitamine + Minéraux)	0.50	0.50
Phosphate bicalcique	0.95	0.74

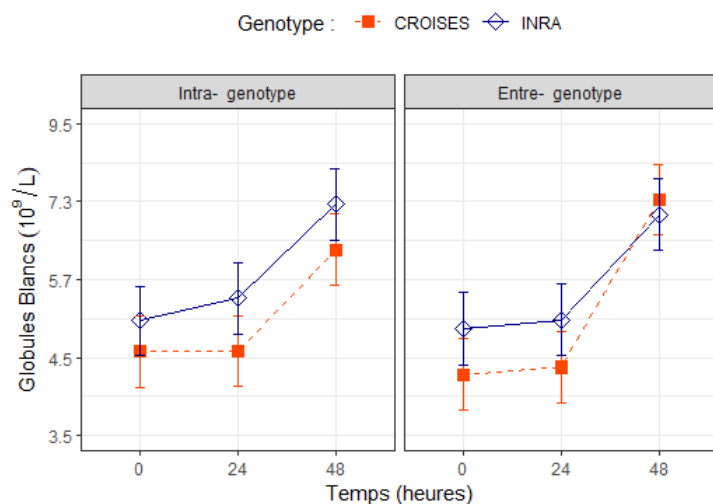
Composition chimique des aliments Lactation et Santé

Composition en Nutriment	Aliment Lactation	Aliment Santé
Matière sèche (%)	90.74	86.77
Cendres brutes (%)	8.52	8.23
Protéine brute (%)	17.73	17.66
Matière grasse (%)	4.87	5.47
Cellulose Brute (%)	14.6	15.5
NDF (%)	28.9	31.0
ADF (%)	17.3	18.31
ADL (%)	4.12	4.30
Hémicellulose VS (%)	11.67	12.69
WIP (Pectines insolubles) (%)	8.01	8.39
Fibres digestibles	19.67	21.08
Amidon (%)	15.93	13.56
Sucres totaux (%)	4.96	4.27
Protéine Digestible (%)	12.58	12.49
Energie Digestible (kcal/kg)	2554.3	2548.04
Energie Métabolisable lapin (kcal/kg)	2531.07	2519.03
Cellulose vs. ADF-ADL (%)	13.97	15.07
FD/ADF(ratio)	1.14	1.15
PD/ED (ratio)	48.9	49.03

Annexe 2 Nombre de globules blancs par litre de sang des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction du génotype et de l'aliment disponible avant le sevrage. Gauche aliment lactation (Lac). Droite aliment santé (San).



Annexe 3. Nombre de globules blancs par litre de sang des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction du génotype et de la stratégie d'adoption. Gauche adoption intra-génotypes. Droite adoption entre-génotypes



Annexe 4 Nombre de globules blancs par litre de sang des lapins sains âgés de 44 jours à 0, 24 et 48h après la vaccination en fonction de l'aliment et de la stratégie d'adoption. Gauche adoption intra-génotypes. Droite adoption entre-génotypes.

