

SYNTHESE : CONTRIBUTION DE LA GENETIQUE ANIMALE A LA TRANSITION AGROECOLOGIQUE DES SYSTEMES D'ELEVAGE CUNICOLE**

Gunia M.^{1*}, Douhard F.¹, Savietto D.¹, Sautier M.¹, Fillon V.¹, Rupp R.¹, Moreno-Romieux C.^{1†}, Mignon-Grasteau S.², Gilbert H.¹, Fortun-Lamothe L.¹, Ducos A.¹

¹ GenPhySE, INRAE, Université de Toulouse, ENVT, 31326, Castanet-Tolosan, France

² INRAE, Université de Tours, BOA, 37380 Nouzilly, France

*Auteur correspondant : melanie.gunia@inrae.fr

** Cette synthèse est une version adaptée pour l'élevage cunicole de l'article de Ducos et al. (2021) publié dans la revue INRAE Productions animales.

Résumé – Les systèmes d'élevage font face à une importante crise de légitimité et doivent évoluer en profondeur. Les élevages cunicoles, comme les autres, sont touchés par cette crise. L'agroécologie offre un cadre pertinent pour guider cette évolution. Si la génétique a été associée dans le passé au développement de systèmes qui sont aujourd'hui remis en cause, elle peut également jouer un rôle dans leur transition. Pour cela, la génétique animale devra contribuer aux travaux visant une reconception des systèmes d'élevage cunicole.

Abstract –Contribution of animal genetics to the agroecological transition of rabbit breeding systems.

Livestock systems are facing a major legitimacy crisis and must undergo in-depth changes in the future. Rabbit breeding systems suffer from this crisis. Agroecology is a relevant framework to guide this evolution. Even though genetics has been associated in the past with the development of systems that are now being questioned, it can also play a role in their transition. For this to happen, animal genetics must contribute to research aimed at redesigning rabbit breeding systems.

Introduction

L'élevage de lapins en France, comme les autres types d'élevages, a connu de fortes transformations depuis le milieu du XX^e siècle. La taille des élevages a augmenté tandis que leur nombre a fortement diminué. A titre d'exemple, la taille moyenne des élevages cunicoles a plus que triplé entre 1984 et 2014, passant de 169 à 613 femelles (Coutelet, 2015). Les élevages se sont aussi concentrés géographiquement, avec plus de 75% des élevages cunicoles situés dans le grand ouest, ce qui traduit une dissociation assez forte entre productions végétales et animales. Des évolutions majeures ont concerné la conduite des animaux (bande unique, reproduction à un rythme de 42 jours), l'utilisation d'aliment sous forme de concentré, l'augmentation des recours aux intrants (énergie, médicaments, désinfectants), et l'utilisation de souches de lapins hybrides issus du croisement de lignées maternelles sélectionnées pour leur prolificité et leur et de lignées paternelles sélectionnées pour leur vitesse de croissance (Garreau et al., 2015a). L'amélioration génétique a joué un rôle central dans l'intensification des productions, avec une évolution importante des performances zootechniques (Hill and Kirkpatrick, 2010). La standardisation des conditions d'élevage a permis la création, la sélection et la diffusion de lignées de lapins très productives, dès les années 1970 en France, au détriment de races locales moins productives. Celles-ci ont progressivement été abandonnées pour l'élevage et sont maintenant conservées dans des élevages amateurs pour participer à des concours et expositions agricoles basés sur des critères de conformités des individus au standard de la race (Garreau et al., 2015b). Toutes ces transformations visaient l'accroissement de la productivité par unité de service (c.-à-d. le 'duo' femelle-cage), de l'efficacité et de la compétitivité des élevages professionnels dans un contexte de mondialisation croissante (Domingues et al., 2019). Elles ont permis l'accès à des produits animaux à des coûts raisonnables pour la plupart des consommateurs (Laisney, 2012).

Cependant, ces changements ont été accompagnés par des effets négatifs sur l'environnement, le bien-être des animaux, la situation socio-économique de nombreux éleveurs et la santé publique. Typiquement, la concentration animale sur certains territoires, l'augmentation de l'utilisation des intrants et l'importation de ressources alimentaires, comme par exemple le tourteaux de soja contribuant à la déforestation, ont entraîné la pollution des eaux et des sols, augmenté les émissions de gaz à effets de serre et contribué à la destruction des biomes et à l'effondrement de la biodiversité (Buckwell and Nadeu, 2018). Les changements de pratiques d'élevages portent atteinte à certaines dimensions du bien-être des animaux : augmentation de la densité

des animaux et réduction de l'espace disponible par animal, absence d'accès à l'extérieur et à de la lumière naturelle, impossibilité d'exprimer certains comportements propres de l'espèce (brouter, ronger, se dresser, gratter, etc.), apparition de lésions (maux de pattes) liées aux conditions de logement ou l'incapacité de s'isoler et d'agencer leur milieu de vie (Leterrier et al., 2022). La forte régionalisation et concentration des abattoirs en France (ITAVI, 2017) augmente la durée de transports avant abattage pour les animaux. Sur le plan socio-économique, l'agrandissement et la spécialisation des exploitations se sont accompagnées d'un endettement croissant des éleveurs. Parallèlement, la mondialisation, les dérégulations induisant une instabilité de certains marchés et les modifications des rapports de force au sein des filières ont conduit à une précarisation accrue de nombreux éleveurs (Nozieres-Petit et al., 2016).

Enfin, le recours important aux désinfectants et médicaments (Landecker, 2019), et en particulier aux antibiotiques, contribue à l'émergence de pathogènes résistants, ce qui constitue une menace pour la santé publique. Le lapin, espèce animale la plus exposée à ces molécules en France, avec un ALEA (indicateur d'exposition des animaux aux antibiotiques) de 1,91 en 2020 (Anses, 2021) est particulièrement touché par cette problématique.

Pour toutes ces raisons, l'élevage européen, et notamment l'élevage cunicole, est aujourd'hui confronté à une crise de légitimité environnementale, sociale et économique sans précédent, et doit évoluer en profondeur (Peyraud et al., 2015).

Les évolutions de l'agriculture, telles que définies par la Commission Européenne, doivent se traduire par des systèmes alimentaires durables, équitables, sains et respectueux de l'environnement (European Union, 2020).

Ces objectifs sont proches de ceux de l'agroécologie, définie par Gliessman (2006) comme l'application de principes d'écologie et de principes sociaux à la conception et à la gestion de systèmes agricoles et alimentaires durables. L'agroécologie vise ainsi à (ré)inventer une agriculture durable, écologiquement saine, économiquement viable et socialement juste (Wezel and Jauneau, 2011), en proposant des voies de transformation des systèmes agricoles et alimentaires pensées sur le long terme et prenant en compte leurs multiples dimensions (FAO, 2018). De tels systèmes agroécologiques (1) recourent de façon accrue aux régulations biologiques, sont productifs mais moins dépendants des intrants que ne le sont les systèmes classiques, (2) sont liés à leur environnement physique et cherchent à valoriser les interactions entre les composantes du système, (3) considèrent la biodiversité comme une ressource et cherchent à la préserver, et (4) placent la production alimentaire,

l'intégrité de l'agroécosystème et du système alimentaire au même niveau de priorité.

Dans un travail dédié spécifiquement à l'élevage, Dumont et al. (2013) ont proposé un cadre conceptuel permettant de structurer les réflexions sur une transition agroécologique des systèmes d'élevage. Ce cadre s'articule autour des cinq principes explicités dans le Tableau 1.

Tableau 1 : 5 principes agroécologiques pour les systèmes d'élevages (Dumont et al., 2013)

1. Développer des pratiques de gestion intégrée pour améliorer la santé des animaux
2. Potentialiser l'utilisation des ressources naturelles et des coproduits pour diminuer les intrants nécessaires à la production
3. Optimiser le fonctionnement des systèmes d'élevage pour réduire les pollutions
4. Gérer la diversité des ressources et la complémentarité des animaux pour renforcer la résilience des systèmes d'élevage
5. Adapter les pratiques d'élevage de manière à préserver la biodiversité et à assurer les services écosystémiques associés

1. Contributions de la génétique animale aux principes d'agroécologie pour l'évolution des systèmes d'élevage cunicoles

1.1. Développer des pratiques de gestion intégrée pour améliorer la santé des animaux

La gestion intégrée de la santé consiste à combiner différentes méthodes pour réduire l'utilisation d'intrants médicamenteux (Fortun-Lamothe and Savietto, 2022). Ces méthodes concernent **1)** le milieu de vie des animaux en ciblant les pratiques d'élevage, d'alimentation, etc. **2)** les pathogènes eux-mêmes en utilisant la vaccination, des traitements ciblés, **3)** les animaux, et leur résistance, tolérance ou résilience aux maladies. Les travaux de recherche en génétique animale ont ciblé cette dernière catégorie.

En production cunicole, ces travaux ont concerné la résistance à quelques maladies bien caractérisées comme la pasteurellose (Shrestha et al., 2020), l'entéropathie épizootique du lapin (Garreau et al., 2005), ou les infections causées par plusieurs bactéries, par exemple *Pasteurella multocida* et *Bordetella bronchiseptica* (Baselga et al., 1988), *Pasteurella multocida* et *Staphylococcus aureus* (Eady et al., 2007), et ont aussi concerné des troubles de santé non spécifiques (Garreau et al., 2008; Ragab et al., 2015; Gunia et al., 2018).

De façon générale, le but de ces travaux est d'identifier des critères permettant d'améliorer la résistance aux maladies, de comprendre les mécanismes impliqués, de vérifier la spécificité ou l'universalité de ces résistances, et de définir des stratégies pour les intégrer dans les programmes de sélection (Gunia et al., 2018). Enfin, d'autres travaux

cherchent à définir des critères liés à la robustesse, ou conférant une meilleure robustesse aux animaux (García et al., 2021).

D'autres pistes ont été étudiées dans d'autres espèces animales, mais restent peu explorées chez le lapin. Elles concernent l'utilisation d'un panel de critères permettant d'évaluer la compétence immunitaire globale des animaux, l'utilisation de données concernant le microbiote (Le Graverand et al., 2023; Renevey et al., 2023), ou la détection d'anomalie génétique causées par des mutations délétères de l'ADN en utilisant les outils génomiques.

Le déploiement de nouvelles technologies associées à l'élevage de précision, dans les élevages expérimentaux et commerciaux, ouvre de nouveaux champs pour comprendre et analyser les relations entre santé et bien-être (Faverdin and Van Milgen, 2019). On pourrait imaginer que de nouvelles méthodes d'analyses d'images parallèlement au déploiement de caméras dans les élevages cunicoles, sur des systèmes de type parc par exemple, permettront une meilleure caractérisation des comportements et de caractères liés à la santé (prostration, changement de l'activité...) et au bien-être des animaux.

D'autres champs de recherches pourraient être développés sur :

- le rôle de l'épigénétique dans la régulation des interactions entre hôtes et agents pathogènes et de la réponse immunitaire (Zhang and Cao, 2019)
- les relations entre immunocompétence et résistance ou tolérance
- la modélisation mathématique pour appréhender les effets de la sélection sur un plan zootechnique, épidémiologique et économique, et pour étudier comment coupler plusieurs stratégies de contrôle des maladies (Bishop, 2010)
- la compréhension des capacités d'adaptation des animaux à des sources de stress biotiques ou abiotiques (température, humidité), notamment lorsque les animaux sont élevés dans des environnements moins contrôlés, avec accès à l'extérieur par exemple (Savietto et al., 2013, 2014).

1.2. Potentialiser l'utilisation de ressources naturelles et des coproduits pour diminuer les intrants nécessaires à la production

Le développement des systèmes d'élevage au XXème siècle s'est accompagné d'une augmentation de l'utilisation d'intrants, notamment alimentaires. Ceux-ci occupent une place particulière, en raison de la compétition de leur utilisation pour l'alimentation humaine ou animale, et en raison de leur part importante dans les coûts de production des élevages. La compétition entre alimentation humaine et animale est plus faible pour les lapins que pour d'autres espèces monogastriques (porcs ou volaille), car le lapin est un herbivore et a besoin de fibres dans son alimentation. L'élevage cunicole conventionnel

permet donc de valoriser de nombreux sous-produits. Néanmoins, on estime que l'aliment représente entre 55% et 60% des coûts de production des élevages cunicoles français (Coutelet, 2015). Dans des contextes de marché très fluctuants, avec des variations de prix importantes, la maîtrise des coûts alimentaires est une priorité forte. L'utilisation de sous-produits n'est pas toujours favorisée.

Un des leviers de maîtrise les plus utilisés en génétique est l'amélioration de l'efficacité alimentaire des animaux (Phocas et al., 2014). De nombreux travaux sur le lapin ont permis de comprendre le déterminisme génétique de différents critères d'efficacité alimentaire, tels que l'indice de consommation, la consommation moyenne journalière résiduelle ou la vitesse de croissance sous-alimentation restreinte (Drouilhet et al., 2013; Gidenne et al., 2013).

Dans d'autres espèces, des études assez avancées cherchent à identifier des biomarqueurs de l'efficacité alimentaire ou à déterminer les compromis et les synergies entre efficacité alimentaire et robustesse. Ces études sont complétées par des travaux sur le microbiote, l'épigénétique, le comportement alimentaire, l'activité physique des animaux, la reconstitution de leurs réserves corporelles, les émissions de gaz à effet de serre et les rejets d'azote ou de phosphore dans les effluents.

Jusqu'à maintenant, les recherches sur l'efficacité alimentaire chez le lapin se sont basées sur des aliments complets équilibrés. L'efficacité alimentaire ou digestive en présence de ressources alimentaires de moins bonne qualité, de composition plus variable ou des régimes basés sur l'utilisation des prairies (fourrages), reste encore largement à explorer, de même que les interactions entre le génotype, la stratégie d'alimentation (granulé ou fourrages par exemple) et/ou la physiologie digestive, sont encore rares.

L'énergie et l'eau sont d'autres intrants très utilisés en élevage. L'énergie est utilisée pour maîtriser les conditions d'ambiance dans les bâtiments d'élevage, et réduire ainsi les coûts d'alimentation. Mieux comprendre les bases génétiques de la thermorégulation (Gourdine et al., 2019), de l'aptitude des animaux à produire sous une large gamme de température et à surmonter des stress thermiques serait important pour réduire les dépenses énergétiques. Quelques études sur le sujet existent en lapin (Zeferino et al., 2011; Piles et al., 2014) et mériteraient d'être poursuivies.

Les hormones sont aussi largement utilisées en élevage cunicoles pour assurer la reproduction. L'injection de GnRH (Gonadotrophin Releasing Hormone) est cruciale pour l'utilisation de l'insémination artificielle (IA) puisque le lapin est une espèce à ovulation provoquée par l'accouplement. L'IA permet la conduite en bande et accélère la

diffusion du progrès génétique. Quelques travaux de génétique ont porté sur les alternatives à l'injection d'hormone pour la reproduction, et notamment sur la réceptivité des lapines (Theau-Clément et al., 2015), mais les résultats ne sont pas très encourageants. L'utilisation d'hormones reste la norme.

Diminuer les intrants en considérant la carrière totale des animaux peut permettre de réduire les pertes liées à la production et épargner des vies animales. Cela peut être obtenu en réduisant le temps de vie improductif, par exemple en améliorant la précocité sexuelle, mais cela peut avoir une influence négative sur la prolificité ou la longévité (Flatt, 2011) ou en améliorant directement la longévité ou la durée de vie reproductive, plus étudiée en lapin (Garreau et al., 2017; El Nagar et al., 2020). Cela permettrait de diminuer le taux de renouvellement de troupeaux, de même que réduire les taux de mortalité aux différents âges. De même, conserver les reproductrices plus longtemps, sans effectuer de renouvellement en reformant des animaux sains et performants pour faire rentrer de nouvelles femelles de niveau génétique potentiellement supérieur, est aussi une piste à tester (Savietto et al., 2016).

1.3. Optimiser le fonctionnement des systèmes d'élevage pour réduire les pollutions

Une partie des travaux évoqués au point précédent visant à réduire les intrants par unité de production vont aussi permettre de réduire les pollutions dont les effluents d'élevage peuvent être responsables, ou les émissions de gaz à effet de serre. Des modifications du génome avaient été envisagées pour réduire les pollutions dans certaines espèces animales, comme des porcs transgéniques valorisant plus efficacement le phosphore (Golovan et al., 2001).

Toutefois le principe « d'optimisation du fonctionnement des systèmes d'élevage » renvoie plutôt à la notion de « bouclage des cycles » au sein de systèmes diversifiés composés d'éléments complémentaires (Peyraud et al., 2015). Les systèmes de polyculture-élevage très intégrés sont emblématiques de ce principe. Ce sont des systèmes autonomes, recourant peu aux intrants, avec des niveaux de couplage forts entre productions végétales et animales (Bonaudo et al., 2014). Les recherches sur ces sujets concernent principalement la conception des systèmes en elle-même. Les contributions de la génétique animale ont été jusqu'à présent très limitées pour de nombreuses espèces et inexistantes en lapins. Les travaux visant à faire évoluer les objectifs de sélection dans le but de disposer d'animaux plus autonomes, adaptables et robustes, susceptibles de valoriser des ressources hétérogènes produites localement (pâturage, résidus de récolte, cultures fourragères variées intégrées dans des rotations longues...), ou visant à identifier des ressources génétiques (races ou croisements) présentant ces caractéristiques, en font partie (Phocas et al., 2017).

1.4. Gérer la diversité des ressources et la complémentarité des animaux pour renforcer la résilience des systèmes d'élevage

L'idée sous-jacente à ce principe est qu'une diversité bien pensée, d'un point de vue biologique, génétique, technique et organisationnel renforce la résilience des systèmes d'élevage.

Par exemple, la variabilité entre les individus au sein d'un troupeau d'une même espèce (et d'une seule ou plusieurs races) peut être une source de résilience si tous les animaux ne gèrent pas les compromis entre fonctions de la même façon et n'utilisent pas les mêmes mécanismes d'adaptation. Cela peut aussi favoriser l'immunité du groupe.

L'association de différentes espèces animales procure aussi de nombreux avantages :

- la valorisation de ressources alimentaires différentes ou avec des temporalités distinctes ;
- la baisse des compétitions pour accéder à certaines ressources ;
- des effets favorables sur la dynamique épidémiologique de certaines maladies (parasitisme, même s'il existe des risques de transmissions croisées de certains agents infectieux) et sur la biodiversité des surfaces fourragères,
- la sécurisation des revenus (Magne et al., 2019; Mahieu et al., 2020; Martin et al., 2020).

Si de nombreux travaux ont été conduits dans le domaine des productions végétales, ils restent rares dans le domaine des productions animales (Doré and Bellon, 2019) et, à notre connaissance, sont inexistantes pour le lapin. Comme résumé dans le rapport issu de la réflexion prospective interdisciplinaire pour l'agroécologie conduite à INRAE (Caquet et al., 2019), les enjeux sont nombreux. Il s'agit :

- 1) D'évaluer la contribution de la diversité génétique à la performance des systèmes agroécologiques.
- 2) De comprendre les mécanismes d'action de cette diversité, ainsi que l'effet de la gamme de diversité et de la gamme de variation environnementale sur l'amplitude des interactions « Génétique × Environnement ».
- 3) D'identifier les caractères d'intérêt majeurs impliqués dans les interactions entre animaux.
- 4) De définir la gamme de diversité permettant l'expression des mécanismes favorables au développement de systèmes de production plus résilients.
- 5) De définir de nouveaux critères et développer de nouveaux programmes de sélection et de croisement innovants prenant en compte les objectifs de diversité génétique des animaux.

Ces enjeux indiquent qu'une contribution de la génétique animale au 4^{ème} principe nécessite de dépasser les approches de sélection fondées sur la recherche d'un animal optimal aux performances calibrées pour des environnements d'élevage

standardisés, et de s'inscrire dans des approches plus systémiques du fonctionnement des systèmes d'élevage.

1.5. Adapter les pratiques d'élevage de manière à préserver la biodiversité et à assurer les services écosystémiques associés

Ce principe considère la biodiversité des écosystèmes et des populations des animaux d'élevage. Les systèmes et les pratiques d'élevage ne doivent pas avoir d'impacts négatifs sur la biodiversité des agroécosystèmes, que ce soient ceux dans lesquels vivent les animaux, mais aussi ceux qui servent à la production des ressources alimentaires pour l'élevage. La voie principale pour favoriser la biodiversité des agroécosystèmes repose sur le redéploiement des prairies naturelles et l'extension des infrastructures agroécologiques (haies, arbres, etc.), ainsi que l'adaptation des pratiques de valorisation des surfaces fourragères (Sabatier et al., 2015). À l'inverse, des systèmes d'élevage mobilisant des ressources alimentaires produites à partir de déforestation massive, de monoculture, induisant des dégâts importants sur la nature ou nécessitant un recours important aux pesticides, devraient être proscrits, étant donné le rôle prépondérant de ces pratiques dans l'effondrement de la biodiversité. Il est donc nécessaire que cet aspect soit intégré dans les recherches portant, par exemple, sur l'efficacité alimentaire des animaux. Dans l'ensemble, les recherches en génétique animale permettant de contribuer à ce 1^{er} volet du 5^{ème} principe sont largement insuffisantes (toutes espèces confondues), et commencent seulement à émerger chez le lapin (Savietto and Drusch, 2022).

Ce principe inclut aussi des objectifs de préservation de la diversité des populations animales, pour laquelle la contribution des généticiens est importante. Des méthodes et outils permettant de quantifier, caractériser et gérer la diversité génétique au sein des populations ont été développés de longue date, et sans cesse améliorés (Leroy et al., 2013). Les populations commerciales en sélection comme les races locales ou patrimoniales ont été considérées. Ces travaux bénéficient de l'évolution des outils d'analyse du génome (génotypage et séquençage). On peut citer pour le lapin : la conservation de races et lignées patrimoniales, de lignées utilisées pour la recherche et de lignées en sélection à la Cryobanque nationale (CRB-Anim, 2018), la caractérisation de différentes races (Bolet et al., 2000, 2004), la reconstitution de l'histoire de la domestication du lapin (Carneiro et al., 2014) et le développement de méthodes pour préserver de la diversité génétique au sein des populations sélectionnées et optimiser les accouplements pour limiter l'augmentation de la consanguinité (Herbert et al., 2021).

2. Des travaux en génétique animale à la transition agroécologique des systèmes d'élevage

2.1. Vers une mobilisation conjointe et équilibrée des différents principes

Certains exemples présentés ici ont été associés à un l'un des principes de l'agroécologie, mais ils contribuent également à d'autres (Tableau 2). Par exemple, en améliorant l'efficacité alimentaire des animaux, on réduit la quantité d'intrants nécessaire à la production par unité de produit, ce qui est une contribution forte au principe 2, on réduit les pollutions (principe 3), et on diminue l'importation de matières premières nuisant à la biodiversité (principe 5). Cependant si ce gain d'efficacité s'accompagne d'une augmentation de la taille de l'élevage et du volume produit, ou d'une augmentation de la qualité des matières premières requises pour l'aliment, l'impact favorable de l'amélioration de l'efficacité alimentaire sur les niveaux de pollution ou la préservation de biodiversité est susceptible d'être annulé (effet rebond).

D'autres travaux en génétique animale, qui n'ont pas encore concerné le lapin, peuvent mobiliser plusieurs principes, notamment ceux qui visent à quantifier les conséquences économiques et environnementales de la sélection sur certains caractères (Soleimani and Gilbert, 2020), ou ceux permettant de remplacer les pondérations économiques des objectifs de sélection par des pondérations environnementales (Besson et al., 2020). Certains travaux peuvent mobiliser l'ensemble des principes, par exemple ceux concernant la définition de nouveaux objectifs de sélection adaptés à des systèmes d'élevages alternatifs et diversifiés (Slagboom et al., 2020), ou prenant en compte l'ensemble des services et contraintes des élevages à l'échelle des territoires (Tixier-Boichard et al., 2015).

2.2. De l'amélioration de l'efficacité à la reconception des systèmes d'élevage

Certaines actions (Tableau 3) sont associées à un ou plusieurs principes envisagés dans le cadre de l'élevage dit « conventionnel » et ne relèvent pas d'une transition agroécologique des systèmes d'élevage.

L'utilisation du gradient E/S/R (Efficience/ Substitution/ Reconception) développée par Hill (1985) permet de considérer les niveaux de transition que les différentes actions peuvent engendrer.

Par exemple, certaines actions visant une recherche d'Efficience (E) ne vont pas remettre en cause les fondements du système. C'est par exemple le cas de sélection sur l'efficacité alimentaire, sans chercher à modifier le type d'aliment ni la conduite d'élevage (cf. Drouilhet et al., 2013). C'est aussi le cas de l'amélioration de la résistance à la Pasteurellose, sans s'interroger sur les facteurs de risque (tel que le fait

d'élever les lapins en claustration (Shrestha et al., 2020).

De même, certaines actions vont chercher à Substituer (S) certaines composantes du système par d'autres jugées plus vertueuses, mais sans remettre en question non plus la conception générale du système. Cela peut être le cas du changement d'une matière première dans la formulation d'aliment (remplacer le tourteau de soja par d'autres matières premières produites localement) sans changer la conduite des élevages (Gayrard et al., 2022).

Au final, le niveau de transition le plus abouti implique une reconception (R) globale et en profondeur des systèmes, avec l'application conjointe de plusieurs principes de l'agroécologie (Dumont et al., 2013, 2020). Une modernisation agroécologique forte des élevages (Duru et al., 2014) nécessite un changement de paradigme et une conception *de novo* en profondeur des systèmes (Fetiveau et al., 2021; Saviotto and Drusch, 2022). Il s'agit de se baser sur les principes de l'agroécologie : utiliser la biodiversité pour produire de services, de régulation notamment, afin de limiter les intrants, réduire les pollutions et accroître la résilience des systèmes.

La modernisation agroécologique faible (E ou S) est la plus simple à envisager, et consiste à réduire les coûts pour améliorer l'efficacité économique des systèmes. Cependant, en proposant des solutions efficaces à court terme, elle peut empêcher la recherche des causes fondamentales des problèmes et retarder la mise en œuvre de solutions à long terme nécessitant une remise en cause forte de la structure des systèmes (Hill, 1985).

Les contributions passées de la génétique animale pour l'élevage cunicole se situent dans un registre de modernisation agroécologique faible (E/S). La génétique animale a eu dans le passé un impact positif sur la durabilité économique et environnementale des élevages. Elle a contribué à l'accroissement de la productivité en permettant une réduction des coûts de production, des ressources utilisées et des impacts environnementaux rapportés à l'unité de produit. Cependant, cette contribution a bénéficié majoritairement au système d'élevage dit « conventionnel », et ses effets positifs ont été contrebalancés par une augmentation des volumes produits. La génétique animale a accompagné l'évolution de systèmes d'élevages des dernières décennies et contribué au verrouillage socio-économique des systèmes, rendant l'évolution et la reconception difficiles.

Cependant, certains thèmes de recherche pourraient s'inscrire dans une perspective de transition agroécologique forte des systèmes d'élevage. Ils sont présentés dans le Tableau 2.

2.3. Transition agroécologique, bien-être des animaux, des humains et de l'environnement

Les travaux fondateurs en agroécologie sont issus des productions végétales (Altieri, 2002), ce qui explique que le bien-être animal a jusque-là été peu considéré dans la transition agroécologique des systèmes d'élevage. Le bien-être des animaux pourrait de façon logique être intégré au 1^{er} principe (gestion intégrée

de la santé), en utilisant la notion de « One Welfare » pour comprendre les interconnexions entre bien-être animal, bien-être humain et environnement (Pinillos et al., 2016). Améliorer le bien-être animal est l'un des objectifs importants des travaux de conception de systèmes cynicoles avec accès à l'extérieur actuellement en cours (Fetiveau et al., 2021).

Tableau 2 : Exemple de contributions de la génétique animale aux 5 principes (P1 : Gestion intégrée de la santé et du bien-être des animaux, P2 : Diminution des intrants nécessaires à la production, P3 : Optimiser le fonctionnement des systèmes et réduire les pollutions ; P4 : Gérer la diversité pour renforcer la résilience des systèmes d'élevage, et P5 : Préserver la biodiversité en adaptant les pratiques) agroécologiques pour les systèmes d'élevage cynicoles^{1,2,3}

	P1	P2.	P3	P4	P5
EFFICACITE ALIMENTAIRE ET METABOLISME					
Améliorer l'efficacité alimentaire					
Analyser les compromis entre efficacité alimentaire et robustesse					
Améliorer l'aptitude des lapins à valoriser les ressources alimentaires alternatives					
Etudier les bases génétiques de la gestion des réserves corporelles					
Comprendre les bases génétiques de la thermorégulation des lapins					
SANTE DES ANIMAUX					
Comprendre les mécanismes génétiques impliqués dans la résistance aux maladies					
Sélectionner sur la résistance aux maladies d'étiologies connues					
Sélectionner sur la réduction des troubles non spécifiques					
Définir des critères de robustesse héréditaires					
Sélectionner sur les compétences immunitaires des lapins					
Sélectionner des lapins plus autonomes, adaptables et robustes					
REPRODUCTION ET LONGEVITE					
Etudier les caractères réduisant les temps de vie improductifs					
Etudier les bases génétiques de la réceptivité sexuelle des femelles					
GESTION DE LA DIVERSITE GENETIQUE					
Gérer les affections héréditaires en ségrégation dans les populations en sélection					
Préserver la diversité des populations de lapins					
Développer des méthodes et outils pour caractériser la diversité génétique des lapins					
Valoriser et piloter la variabilité génétique entre individus au sein du système					
TRANSITION DES SYSTEMES					
Définir des objectifs de sélection adaptés aux systèmes d'élevage alternatifs					
Sélectionner les animaux pour optimiser les services rendus par les systèmes d'élevage					
Quantifier les conséquences environnementales des stratégies de sélection génétique					

¹Rectangle gris foncé : contribution forte de la recherche au principe agroécologique, rectangle gris clair : contribution faible, rectangle blanc : pas de contribution. ²Texte en italique =Contribution très faible ou inexistante pour les systèmes d'élevage cunicole. ³D'après Ducos et al., 2021.

Tableau 3 : Positionnement de travaux concernant trois grands domaines de recherche en génétique animale sur le gradient Efficience/Substitution/Reconception.¹

Thématiques / Domaines de recherche & développement	GRADIENT DE TRANSITION E>>S>>R		
	Efficience (E)	Substitution (S)	Reconception (R)
Efficacité alimentaire	Sélection pour réduire la consommation de concentrés (réduction des intrants et du coût de production)	Sélection pour améliorer la capacité à valoriser des aliments fibreux de moindre valeur nutritionnelle et en plus faible compétition avec l'alimentation humaine → alternative / substitution aux concentrés	Stratégies pour accroître durablement l'efficacité à l'échelle de la ferme en mobilisant plusieurs leviers : - sélection et conduite pour améliorer l'efficacité à l'échelle de la carrière de l'animal ou du troupeau (gestion du renouvellement) - ressources alimentaires alternatives (ex : produits et coproduits d'intercultures, déchets alimentaires) - systèmes innovants diversifiés s'appuyant sur une forte intégration agriculture et élevage
Santé des animaux	Sélection pour améliorer la productivité des animaux dans des milieux très contrôlés (sous-entendu : les animaux malades ne sont pas productifs, et réciproquement)	Sélection pour améliorer la résistance des animaux aux maladies infectieuses et parasitaires et/ou l'immunocompétence → alternative / substitution à l'usage de médicaments, antibiotiques et antiparasitaires notamment	Stratégie intégrée de gestion de la santé pour minimiser le recours aux intrants en mobilisant plusieurs leviers complémentaires et services écosystémiques : - association de plusieurs espèces animales complémentaires et sélectionnées pour leur adaptation au système (ex : animaux résistants ou tolérants) - utilisation de plantes à valeur santé - traitements ciblés sélectifs - pâturage tournant
Dynamiques de production, diversité et transition des systèmes	Sélection pour améliorer l'efficacité de fonctions biologiques particulières telles que la durée de la carrière reproductive Réduire la durée de la phase de démarrage non productive	Sélection pour améliorer l'aptitude des animaux à mobiliser et reconstituer leurs réserves corporelles, à gérer les compromis entre fonctions → alternative / substitution à la maîtrise du milieu par les éleveurs basée sur un usage intensif d'intrants	Stratégie de gestion de la diversité et de la complémentarité entre les animaux, et entre les animaux et les autres composantes du système (croisements, gestion innovante de la diversité intra-troupeau) pour accroître la résilience des systèmes et minimiser le recours aux intrants (dont animaux) Stratégies de sélection à partir d'objectifs multicritères intégrant les impacts économiques, sociaux et environnementaux (incluant la biodiversité) de la sélection, à l'échelle des territoires

¹D'après Ducos et al. 2021

Conclusions

La menace du dérèglement climatique, la dégradation des écosystèmes, ainsi que les évolutions des attentes sociétales dans certains pays, nous obligent à repenser les choix ayant structuré nos systèmes alimentaires (Duru and Le Bras, 2020).

Différentes voies de transition sont possibles, de l'intensification durable (ou écologie industrielle, évoquée dans l'article de Dumont et al., 2013) à ce virage qu'est l'agroécologie.

Les débats sont vifs entre les partisans de chaque orientation, y compris au sein de la communauté scientifique. L'élevage de lapins en France est très largement basé sur le modèle dit « conventionnel » (Gidenne, 2018). L'interprofession Lapin (CLIPP) souhaite que la filière évolue vers une diversification de la production, avec un développement de l'offre de lapins issus d'élevages alternatifs, sous cahier des charges *Label Rouge* et *Agriculture Biologique*. Leur but était d'atteindre 25% de viande de lapins issus d'élevages alternatifs en 2022 (CLIPP, 2018). Ce but

reste à atteindre et pour accompagner cette transition, l'effort de recherche doit être conséquent (Dumont et al., 2014) et envisagé de façon interdisciplinaire.

La recherche en génétique animale doit se saisir de ces thématiques pour accompagner au mieux la transition agroécologique des systèmes cunicoles.

Références

- Altieri M 2002. Agroecological principles and strategies for sustainable agriculture. In *Agroecological innovations: Increasing food production with participatory development*. (ed. N. Uphoff), pp. 40–46. London, UK.
- Anses 2021. Surveillance des ventes de médicaments vétérinaires contenant des antibiotiques en France en 2020. Rapport annuel.
- Baselga M, Deltoro J, Camacho J and Blasco A 1988. Genetic analysis on lung injury in four strains of meat rabbit. In *4th World Rabbit Congress*, pp. 120–127. Budapest, Hungary.
- Besson M, Komen H, Rose G and Vandeputte M 2020. The genetic correlation between feed conversion ratio and growth rate affects the design of a breeding program for more sustainable fish production. *Genetics Selection Evolution* 52, 5.
- Bishop SC 2010. Modelling farm animal diseases. In *Breeding for disease resistance in farm animals*, pp. 38–54. CABI Books.
- Bolet G, Brun J-M, Lechevestrier S, Lopez M and Boucher S 2004. Evaluation of the reproductive performance of eight rabbit breeds on experimental farms. *Animal Research* 53, 59–65.
- Bolet G, Brun JM, Monnerot M, Abeni F, Arnal C, Arnold J, Bell D, Bergoglio G, Besenfelder U, Bosze S, Boucher S, Chanteloup N, Ducourouble MC, Durand-Tardif M, Esteves PJ, Ferrand N, Gautier A, Haas C, Hewitt G, Jehl N, Joly T, Koehl PF, Laube T, Lechevestrier S, Lopez M, Masoero G, Menigoz JJ, Piccinin R, Queney G, Saleil G, Surridge A, van der LOO W, Vicente JS, Viudes de Castro MP, Virag JS and Zimmermann JM 2000. Evaluation and conservation of european rabbit (*Oryctolagus cuniculus*) genetic resources. First results and inferences. In *7th World Rabbit Congress*, pp. 281–315. Valencia, Spain.
- Bonaudo T, Bendahan AB, Sabatier R, Ryschawy J, Bellon S, Leger F, Magda D and Tichit M 2014. Agroecological principles for the redesign of integrated crop–livestock systems. *European Journal of Agronomy* 57, 43–51.
- Buckwell A and Nadeu E 2018. What is the Safe Operating Space for EU Livestock? RISE Foundation Brussels.
- Caquet T, Gascuel-Oudoux C, Tixier-Boichard M, Dedieu B, Detang-Dessendre C, Dupraz P, Faverdin P, Hazard L, Hinsinger P, Litrico-Chiarelli I, Medale F, Monod H, Petit-Michaud S, Reboud X, Thomas A, Lescourret F, Roques L, de Vries H and Soussana J-F 2019. Réflexion prospective interdisciplinaire pour l'agroécologie. Rapport de synthèse.
- Carneiro M, Rubin C-J, Di Palma F, Albert FW, Alfoldi J, Barrio a. M, Pielberg G, Rafati N, Sayyab S, Turner-Maier J, Younis S, Afonso S, Aken B, Alves JM, Barrell D, Bolet G, Boucher S, Burbano H a., Campos R, Chang JL, Duranthon V, Fontanesi L, Garreau H, Heiman D, Johnson J, Mage RG, Peng Z, Queney G, Rogel-Gaillard C, Ruffier M, Searle S, Villafuerte R, Xiong a., Young S, Forsberg-Nilsson K, Good JM, Lander ES, Ferrand N, Lindblad-Toh K and Andersson L 2014. Rabbit genome analysis reveals a polygenic basis for phenotypic change during domestication. *Science* 345, 1074–1079.
- CLIPP 2018. PLAN DE FILIERE LAPIN 2018-2022.
- Coutelet G 2015. Résultats technico-économiques des éleveurs de lapins de chair en France en 2014. In *16ème Journées de la Recherche Cunicole*, pp. 193–196. Le Mans, France.
- CRB-Anim 2018. INRAE. Centre de Ressources Biologiques - Pilier Animal.
- Domingues JP, Bonaudo T, Gabrielle B, Perrot C, Trégaro Y and Tichit M 2019. Les effets du processus d'intensification de l'élevage dans les territoires. *INRA Productions Animales* 32, 159–170.
- Doré T and Bellon S 2019. Les mondes de l'agroécologie.
- Drouilhet L, Gilbert H, Balmiss E, Ruesche J, Tircazes A, Larzul C and Garreau H 2013. Genetic parameters for two selection criteria for feed efficiency in rabbits. *Journal of Animal Science* 91, 3121–3128.
- Ducos A, Douhard F, Savietto D, Sautier M, Fillon V, Gunia M, Rupp R, Moreno-Romieu C, Mignon-Grasteau S, Gilbert H and Fortun-Lamothe L 2021. Contributions de la génétique animale à la transition agroécologique des systèmes d'élevage. *INRAE Productions Animales* 34, 79–96.
- Dumont B, Fortun-Lamothe L, Jouven M, Thomas M and Tichit M 2013. Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. *Animal* 7, 1028–1043.
- Dumont B, Fortun-Lamothe L and Thomas M 2020. Agroécologie en élevage : quelles opportunités face au défi climatique ? In *L'élevage pour l'agroécologie et une alimentation durable* (eds. S. Chriki, M. Ellies-Oury and J. Hocquette), pp. 157–175. Paris, France.
- Dumont B, González-García E, Thomas M, Fortun-Lamothe L, Ducrot C, Dourmad JY and Tichit M 2014. Forty research issues for the redesign of animal production systems in the 21st century. *Animal* 8, 1382–1393.
- Duru M and Le Bras C 2020. Crises environnementales et sanitaires : des maladies de l'anthropocène qui appellent à refonder notre système alimentaire. *Cah. Agric.* 29.
- Duru M, Fares M and Therond O 2014. Un cadre conceptuel pour penser maintenant (et organiser demain) la transition agroécologique de l'agriculture dans les territoires. *Cahiers Agricultures* 23, 84-95 (1).
- Eady SJ, Garreau H and Gilmour AR 2007. Heritability of resistance to bacterial infection in meat rabbits. *Livestock Science* 112, 90–98.
- European Union 2020. Farm to Fork Strategy – for a fair, healthy and environmentally-friendly food system.
- FAO 2018. FAO's work on agroecology: A pathway to achieve the SDGs. Rome, Italy.
- Faverdin P and Van Milgen J 2019. Intégrer les changements d'échelle pour améliorer l'efficacité des productions animales et réduire les rejets. *INRAE Productions Animales* 32, 305–322.
- Fetiveau M, Savietto D, Gidenne T, Pujol S, Aymard P and Fortun-Lamothe L 2021. Effect of access to outdoor grazing and stocking density on space and pasture use, behaviour, reactivity, and growth traits of weaned rabbits. *Animal* 15, 100334.
- Flatt T 2011. Survival costs of reproduction in *Drosophila*. *Experimental Gerontology* 46, 369–375.
- Fortun-Lamothe L and Savietto D 2022. Gestion intégrée de la santé animale : Définition. Dictionnaire d'agroécologie. from <https://dicoagroecologie.fr/dictionnaire/gestion-integree-de-la-sante-animale/>.
- García ML, Gunia M and Argente MJ 2021. Genetic factors of functional traits. *World Rabbit Science* 29, 207–220.
- Garreau H, Eady S, Hurtaud J and Legarra A 2008. Genetic parameters of production traits and resistance to digestive disorders in a commercial rabbit population. In *Proc. 9th World Rabbit Congress*.
- Garreau H, Fournier E, Allain D and Gunia M 2015a. Génétique et sélection. In *Le lapin. De la biologie à l'élevage* (ed. T. Gidenne).
- Garreau H, Larzul C, Tudela F, Ruesche J, Ducrocq V and Fortun-Lamothe L 2017. Energy balance and body reserves in rabbit females selected for longevity. *World Rabbit Science* 25, 205.
- Garreau H, Licois D, Rupp R and Rochambeau H De 2005. Variabilité génétique de la résistance à l'entéropathie épizootique du lapin : nouveaux résultats. In *11ème*

- Journées de la Recherche Cunicole, pp. 277–280. Paris, France.
- Garreau H, Theau-clément M and Gidenne T 2015b. Anatomie, taxonomie, origine, évolution et domestication. In *Le lapin. De la biologie à l'élevage* (ed. T. Gidenne).
- Gayraud C, Bretaudeau A, Gombault P, Hoste H and Gidenne T 2022. Feed incorporation of dehydrated sainfoin: effects on health and performances of does and growing rabbits. *World Rabbit Science* 30, 107–118.
- Gidenne T 2018. Diversité des filières cunicoles. *Innovations Agronomiques* 68, 217–225.
- Gidenne T, Aubert C, Drouilhet L and Garreau H 2013. L'efficacité alimentaire en cuniculture: impacts technico-économiques et environnementaux. In *15èmes Journées de la Recherche Cunicole*, pp. 1–13. Le Mans, France.
- Gliessman SR 2006. *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*. CRC Press.
- Golovan SP, Meidinger RG, Ajakaiye A, Cottrill M, Wiederkehr MZ, Barney DJ, Plante C, Pollard JW, Fan MZ, Hayes MA, Laursen J, Hjorth JP, Hacker RR, Phillips JP and Forsberg CW 2001. Pigs expressing salivary phytase produce low-phosphorus manure. *Nature Biotechnology* 19, 741–745.
- Gourdine JL, Riquet J, Rosé R, Pouillet N, Giorgi M, Billon Y, Renaudeau D and Gilbert H 2019. Genotype by environment interactions for performance and thermoregulation responses in growing pigs. *Journal of Animal Science* 97, 3699–3713.
- Le Graverand Q, Labruno Y, Aymard P, Chapuis H, Demars J, Helies V, Riquet J, Ruesche J, Zemb O, Gilbert H and Garreau H 2023. Analyse génomique de la composition du microbiote caecal du lapin. In *23èmes Rencontres Recherche Ruminants*. Le Mans, France.
- Gunia M, David I, Hurtaud J, Maupin M, Gilbert H and Garreau H 2018. Genetic Parameters for Resistance to Non-specific Diseases and Production Traits Measured in Challenging and Selection Environments; Application to a Rabbit Case. *Frontiers in Genetics* 9, 467.
- Herbert C, Yviquel J, Flatres-Grall L, Pong-Wong R and Lenoir G 2021. Optimal contribution selection in C line Hycole: prospect for genetic gain. In *12th World Rabbit Congress*. Nantes, France.
- Hill S 1985. Redesigning the food system for sustainability. *Alternatives*, 32–36.
- Hill WG and Kirkpatrick M 2010. What Animal Breeding Has Taught Us about Evolution. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 41, 1–19.
- ITAVI 2017. Structure et organisation des filières cunicoles en Europe. Analyse comparée des filières espagnole, italienne, hongroise, belge et néerlandaise.
- Laisney C 2012. L'évolution de l'alimentation en France. Centre d'études et de prospectives.
- Landecker H 2019. Antimicrobials before antibiotics: war, peace, and disinfectants. *Palgrave Communications* 5, 1–11.
- Leroy G, Mary-Huard T, Verrier E, Danvy S, Charvolin E and Danchin-Burge C 2013. Methods to estimate effective population size using pedigree data: Examples in dog, sheep, cattle and horse. *Genetics Selection Evolution* 45, 1.
- Leterrier C, Aubin-Houzelstein G, Boissy A, Deiss V, Fillon V, Lévy F, Merlot E and Petit O 2022. Améliorer le bien-être des animaux d'élevage: est-ce toujours possible? *Sesame*.
- Magne M-A, Nozières-Petit M-O, Cournut S, Ollion É, Puillet L, Renaudeau D and Fortun-Lamothe L 2019. Gérer la diversité animale dans les systèmes d'élevage: laquelle, comment et pour quels bénéfices? *INRAE Productions Animales* 32, 263–280.
- Mahieu M, Arquet R, Fleury J, Bonneau M and Mandonnet N 2020. Mixed grazing of adult goats and cattle: Lessons from long-term monitoring. *Veterinary Parasitology* 280, 109087.
- Martin G, Barth K, Benoit M, Brock C, Destruel M, Dumont B, Grillot M, Hübner S, Magne M-A, Moerman M, Mosnier C, Parsons D, Ronchi B, Schanz L, Steinmetz L, Werne S, Winckler C and Primi R 2020. Potential of multi-species livestock farming to improve the sustainability of livestock farms: A review. *Agricultural Systems* 181, 102821.
- El Nagar AG, Sánchez JP, Ragab M, Mínguez C and Baselga M 2020. Genetic variability of functional longevity in five rabbit lines. *animal* 14, 1111–1119.
- Nozières-Petit M-O, Baritoux V, Couzy C, Dervillé M, Perrot C, Sans P and You G 2016. Organisation des filières de ruminants: Quelles évolutions? Quelles alternatives pour les éleveurs? In *23èmes Rencontres Recherche Ruminants*. Paris, France.
- Peyraud J-L, Richard G and Gascuel-Oudoux C 2015. Boucler les grands cycles biogéochimiques. *Innovations Agronomiques* 43, 177–186.
- Phocas F, Agabriel J, Dupont-Nivet M, Geurden J, Médale F, Mignon-Grasteau S, Gilbert H and Dourmad JY 2014. Le phénotypage de l'efficacité alimentaire et de ses composantes, une nécessité pour accroître l'efficacité des productions animales. *INRAE Productions Animales* 27, 235–248.
- Phocas F, Belloc C, Bidanel 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 and Brochard M 2017. Quels programmes d'amélioration génétique des animaux pour des systèmes d'élevage agro-écologiques? *INRA Productions Animales* 30, 31–46.
- Piles M, Baselga M and Sanchez JP 2014. Expected responses to different strategies of selection to increase heat tolerance assessed by changes in litter size in rabbit. *Journal of Animal Science* 92, 4306–4312.
- Pinillos RG, Appleby MC, Manteca X, Scott-Park F, Smith C and Velarde A 2016. One Welfare – a platform for improving human and animal welfare. *Veterinary Record* 179, 412–413.
- Ragab M, Ramon J, Rafel O, Quintanilla R, Piles M and Sanchez JP 2015. Paramètres génétiques des phénotypes liés aux maladies chez le lapin en engraissement nourri avec deux régimes alimentaires différents. In *16ème Journées de la Recherche Cunicole*, pp. 69–72. Le Mans, France.
- Renevey M, Combes S, Cauquil L, Aymard P, Helies V, Larzul C, Ruesche J, Poli M, Zemb O and Garreau H 2023. Etude de la résilience de l'holobionte suite à une rupture de transmission symbiotique dans 2 lignées de lapins sélectionnées sur l'efficacité alimentaire. In *19èmes journées de la Recherche Cunicole*. Le Mans, France.
- Sabatier R, Durant D, Hazard L, Lauvie A, Lecrivain E, Magda D, Martel G, Roche B, Sainte Marie C de, Teillard F and Tichit M 2015. Towards biodiversity-based livestock systems: review of evidence and options for improvement. *CABI Reviews* 2015, 1–13.
- Saviotto D, Cervera C, Blas E, Baselga M, Larsen T, Friggens NC and Pascual JJ 2013. Environmental sensitivity differs between rabbit lines selected for reproductive intensity and longevity. *Animal* 7, 1969–1977.
- Saviotto D, Cervera C, Ródenas L, Martínez-Paredes E, Baselga M, García-Diego FJ, Larsen T, Friggens NC and Pascual JJ 2014. Different resource allocation strategies result from selection for litter size at weaning in rabbit does. *Animal* 8, 618–628.
- Saviotto D and Drusch S 2022. Le lapin, le pommier et les bénéfices écosystémiques interspécifiques. Conception d'un système d'association arboriculture – élevage. In *Séminaire du métaprogramme Metabio*. Paris, France.
- Saviotto D, Ródenas L, Martínez-Paredes E and Pascual JJ 2016. Adjusting the age pyramid to promote a more sustainable and healthful rabbit production system. In *Proceedings of the 11th World Rabbit Congress*, pp. 123–126.
- Shrestha M, Garreau H, Balmiss E, Bed'hom B, David I, Guitton E, Helloin E, Lenoir G, Maupin M, Robert R, Lantier F and Gunia M 2020. Genetic parameters of

- resistance to pasteurellosis using novel response traits in rabbits. *Genetics Selection Evolution* 52, 34.
- Slagboom M, Hjortø L, Sørensen AC, Mulder HA, Thomasen JR and Kargo M 2020. Possibilities for a specific breeding program for organic dairy production. *Journal of Dairy Science* 103, 6332–6345.
- Soleimani T and Gilbert H 2020. Evaluating environmental impacts of selection for residual feed intake in pigs. *Animal* 14, 2598–2608.
- Theau-Clément M, Tircazes A, Saleil G, Monniaux D, Bodin L and Brun JM 2015. Preliminary study of the individual variability of the sexual receptivity of rabbit does. *World Rabbit Science* 23, 163.
- Tixier-Boichard M, Verrier E, Rognon X and Zerjal T 2015. Farm animal genetic and genomic resources from an agroecological perspective. *Frontiers in Genetics* 6.
- Wezel A and Jauneau J-C 2011. Agroecology – Interpretations, Approaches and Their Links to Nature Conservation, Rural Development and Ecotourism BT - Integrating Agriculture, Conservation and Ecotourism: Examples from the Field. In (eds. W.B. Campbell and S. Lopez Ortiz), pp. 1–25. Springer Netherlands, Dordrecht.
- Zeferino CP, Moura ASAMT, Fernandes S, Kanayama JS, Scapinello C and Sartori JR 2011. Genetic group×ambient temperature interaction effects on physiological responses and growth performance of rabbits. *Livestock Science* 140, 177–183.
- Zhang Q and Cao X 2019. Epigenetic regulation of the innate immune response to infection. *Nature Reviews Immunology* 19, 417–432.