

Agro-écologie et écologie industrielle : deux voies complémentaires pour les systèmes d'élevage de demain.

Applications potentielles aux systèmes cynicoles

L. FORTUN-LAMOTHE¹, M. THOMAS², M. TICHIT³, M. JOUVEN⁴,
GONZALEZ-GARCIA E.⁵, DOURMAD J.Y.⁶, B. DUMONT⁷

¹INRA, UMR 1289 TANDEM, Chemin de Borde Rouge, BP 52627, F-31326 Castanet Tolosan, France

²Université de Lorraine-INRA, USC0340 AFPA, 54505 Vandoeuvre-les-Nancy, France

³INRA, UMR1048 SADAPT, 75231 Paris, France

⁴SupAgro, UMR868 Systèmes d'Elevage Méditerranéens et Tropicaux, 34060 Montpellier, France

⁵INRA, UMR 868 Systèmes d'Elevage Méditerranéens et Tropicaux, 34060 Montpellier, France

⁶INRA, UMR1348 PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France

⁷INRA, UMR1213 Herbivores, Theix, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France

Résumé : L'agro-écologie et l'écologie industrielle, mobilisant différents principes écologiques, sont deux approches complémentaires pour des systèmes d'élevage plus durables. L'agro-écologie cherche à stimuler les processus naturels dans des systèmes peu artificialisés pour réduire les intrants et valoriser leur diversité. L'écologie industrielle explore les bouclages possibles des cycles (matière, énergie) dans les systèmes artificialisés pour économiser les ressources et diminuer les pollutions. Jusqu'à présent, les systèmes d'élevage ont généralement été ignorés par les démarches agro-écologiques. Nous proposons cinq principes agro-écologiques applicables à l'élevage : développer des pratiques de gestion intégrée pour améliorer la santé animale, potentialiser l'utilisation de toutes les ressources pour diminuer les intrants nécessaires à la production, optimiser le fonctionnement métabolique des systèmes d'élevage pour réduire les pollutions, gérer la diversité dans les élevages pour renforcer leur résilience et adapter les pratiques d'élevage pour préserver la biodiversité dans les agro-écosystèmes. Nous décrivons comment s'appliquent ces principes dans trois cas types appartenant à différentes filières de production (vache laitière, oie, porc) et comment ils peuvent aussi s'appliquer en production cynicole. Finalement les opportunités et freins actuels pour des élevages innovants sont discutés en considérant les évolutions nécessaires pour que s'opèrent ces changements.

Summary: Agroecology and industrial ecology: two complementary ecology-based perspectives for rabbit production. Agroecology and industrial ecology can be viewed as complementary means for reducing the environmental footprint of animal farming systems. Agroecology aims to stimulate natural processes in weakly artificialized systems to reduce inputs and valorize their diversity. Industrial ecology aims to close system loops in artificialized systems, thereby reducing demand for inputs and lowering pollution. We propose five principles for the design of ecology-based production systems: adopting health management practices that minimize the use of chemical drugs, decreasing the inputs needed for production, decreasing pollution by optimizing the metabolic functioning of farming systems, enhancing diversity to strengthen system resilience, and preserving biological diversity by adapting management practices. We discuss how these different principles combine in three case-studies (dairy cows, geese and pigs), and how they could also apply in rabbit production systems. Finally, we discuss opportunities and resistance to change that need to be considered for the scaling-up of agroecological systems.

Introduction

L'idée de « Produire mieux avec moins d'intrants » s'est imposée à l'échelle mondiale comme un objectif incontournable de l'agriculture à l'aube de ce troisième millénaire. La demande croissante pour les produits animaux est alimentée par l'évolution démographique mondiale. Cet objectif nécessite que soient réduits en parallèle les déchets alimentaires, qui représentent jusqu'à 30% de l'ensemble des aliments produits dans le monde chaque année (FAO, 2011). Le secteur de l'élevage doit aussi répondre aux défis environnementaux liés aux changements d'usage des terres, aux pollutions, à la réduction des ressources naturelles et à l'érosion de la biodiversité. En occident, la demande sociétale est forte pour des

aliments sains et dont la production respecte le bien-être animal. Aussi des démarches telles l'intensification écologique, l'agriculture à haute valeur environnementale, l'agriculture biologique ou encore l'éco-agriculture pour ne citer qu'elles, s'affichent comme des alternatives à l'agriculture industrielle qui a constitué le mode dominant durant les dernières décennies. Ce « reverdissement » de l'agriculture tel qu'il s'affiche aujourd'hui est une traduction des préoccupations, voire de l'insatisfaction de certains producteurs et consommateurs vis-à-vis des approches industrielles. Il s'agit de concilier la production d'aliments avec la préservation des ressources naturelles et le maintien des services éco-systémiques sur le long terme, dans un contexte de changement climatique. Il n'existe pas

à l'heure actuelle de consensus scientifique sur les moyens à mettre en œuvre pour relever ce défi, prenant en compte la diversité des systèmes de production et des contextes biogéographiques. Nous défendons l'idée qu'une des solutions consiste à conjuguer les principes et modes d'actions de l'agro-écologie et de l'écologie industrielle. Ces deux disciplines scientifiques sont nées dans les années 1980 aux Etats-Unis, et se fondent sur la mobilisation des connaissances en écologie pour l'étude, la conception et la gestion de systèmes durables.

L'agro-écologie cherche à stimuler les processus naturels dans des systèmes faiblement artificialisés pour promouvoir des systèmes productifs, respectueux de l'environnement et moins dépendants des intrants (Altieri, 1987 ; Gliessman, 1997 ; Wezel et Soldat, 2009). Elle considère les systèmes d'élevage comme des ensembles d'éléments biophysiques en interaction dynamique. Ces systèmes d'élevage sont appréhendés de manière interdisciplinaire y compris dans leur dimension socio-économique (Francis *et al.*, 2003) et évalués sur des pas de temps longs. L'intégrité de l'écosystème – qui garantit la production sur le long terme – est ainsi aussi importante que la production d'aliments à court terme.

L'écologie industrielle explore les possibilités de bouclage des cycles de matière et d'énergie de systèmes industriels dans une démarche trans-sectorielle (Frosh et Gallopoulos, 1989 ; Frosh, 1992). Les systèmes agricoles peuvent alors être connectés aux productions industrielles au sein d'un territoire afin de mutualiser des moyens et des services et de réduire les émissions polluantes et la consommation de ressources par une meilleure valorisation des déchets.

Bien que la littérature scientifique dans le domaine de l'agro-écologie soit en forte augmentation ces dernières années, les productions animales y ont été le plus souvent ignorées (Gliessman, 2006). Plusieurs auteurs relèvent pourtant les nombreux rôles bénéfiques joués par les animaux au sein des agro-écosystèmes : ils produisent des protéines à partir de ressources non directement valorisables par l'homme (les prairies et parcours, les résidus de culture et autres sous-produits), ils fournissent de nombreux services écosystémiques (séquestration du carbone, préservation de la biodiversité, etc.), ils recyclent des substances potentiellement polluantes et ont de nombreuses fonctions culturelles et sociales. L'agro-écologie considère la biodiversité à la fois comme une ressource à préserver et comme un levier pour la production (Veen *et al.*, 2009). Elle permet également de réduire les intrants et d'augmenter les revenus des producteurs. L'écologie industrielle est encore peu sollicitée par les productions animales, à l'exception de la gestion des effluents dans les systèmes intensifs à grande échelle (Holm Nielsen, 2010). Elle pourrait contribuer de façon notable à la production alimentaire, en ne prenant qu'une part modeste à la compétition croissante pour la terre, l'eau et

l'énergie ; elle valorise les déchets, limitant par là même l'empreinte environnementale des systèmes d'élevage.

Cette communication est une adaptation du texte de Dumont *et al.* (2013). Nous présentons les principaux concepts de l'écologie et les cinq principes agro-écologiques mobilisables pour la conception de systèmes d'élevage innovants proposés par ces auteurs. Nous décrivons ensuite comment ces principes sont utilisés dans 3 exemples de systèmes d'élevage présentant un degré d'intensification varié et discutons de la façon dont ils pourraient être valorisés en production cunicole. Enfin, nous discutons les implications pratiques du double recours à l'agro-écologie et à l'écologie industrielle, ainsi que les opportunités et les limites pour développer de tels systèmes.

1. Les concepts de l'écologie

L'agro-écologie et l'écologie industrielle utilisent les concepts de l'écologie pour le pilotage de systèmes durables. L'écologie est l'étude des interactions entre les êtres vivants et le milieu où ils vivent. On peut appréhender ces interactions à trois niveaux : celui de l'individu, de la population ou des relations entre différentes populations. L'écologie a défini plusieurs grands concepts qui permettent de décrire et comprendre ces interactions entre les organismes vivants et leur milieu.

Interactions, tolérance et adaptation. Le premier mobilisé est que les êtres vivants sont en relation continue avec leur environnement. Les caractéristiques du milieu (lumière, température, pluviométrie, caractéristiques physiques du sol, ...) conditionnent leur développement. En retour, les êtres vivants s'adaptent à leur milieu de vie (adaptations morphologique, comportementale, digestive, métabolique, ...) en augmentant leur tolérance à une ou plusieurs de ses caractéristique(s). Mais ces capacités d'adaptation ne sont pas infinies. Une modification importante du milieu peut entraîner une réduction ou la disparition d'une population. Une espèce généraliste sera capable de tolérer une diversité de conditions et ainsi de peupler des milieux différents ; à l'inverse, une espèce spécialiste ne pourra survivre et se développer que dans des conditions de milieu particulières.

Régulations et relations biotiques. Il existe de nombreuses interactions biotiques directes ou indirectes qui sous-tendent le fonctionnement des écosystèmes. Entre les espèces, on distingue des relations de symbiose (relation obligatoire pour la survie des deux espèces impliquées), de mutualisme (association bénéfique entre deux espèces), de commensalisme (association entre deux espèces dont une seule tire profit sans pour autant nuire à l'autre), de parasitisme (association étroite au bénéfice du parasite seul), ou de compétition (rivalité entre espèces pour l'accès aux ressources). La relation la plus importante est la relation de prédation (manger

ou être mangé), laquelle conduit à la notion de chaîne alimentaire. Au sein d'une même espèce, on distingue des phénomènes de coopération ou de compétition, avec partage du territoire, et parfois organisation en société hiérarchisée. Ces différentes interactions permettent l'accomplissement des besoins physiologiques des espèces (croissance, alimentation, reproduction), leur développement et leur survie.

Réseaux trophiques. L'ensemble des chaînes alimentaires unissant les diverses populations d'espèces que comporte un écosystème constitue les réseaux trophiques. Ce sont ces interconnexions alimentaires entre êtres vivants de différentes natures (autotrophes = producteurs primaires, hétérotrophes = consommateurs primaires ou secondaires et décomposeurs) qui permettent le recyclage des éléments (carbone, azote, phosphore, ...) et de l'énergie. La structure des réseaux trophiques (les types et réseaux de relations alimentaires entre organismes) influence fortement la quantité, la diversité, la stabilité et la qualité de la biomasse et de la matière organique produites par les écosystèmes.

Dynamique des écosystèmes. Populations et écosystèmes ne sont pas des structures figées mais en évolution permanente en lien avec l'évolution des facteurs du milieu et des autres populations (prédation, habitat, ...). Dans les systèmes agricoles l'évolution naturelle est contrôlée ou pilotée pour favoriser le développement des espèces d'intérêt pour l'homme. Le maintien d'un agro-écosystème appelle ainsi un compromis entre dynamiques naturelles et objectifs de production.

Diversité, stabilité, productivité. La diversité entre espèces d'un écosystème est d'autant plus élevée que les conditions de vie sont variées. Avec une diversité croissante, la complexification des mécanismes de régulation accroît la stabilité de l'écosystème. Inversement, plus les conditions environnementales demeurent stables, plus l'écosystème est stable, divers et équilibré. L'énergie stockée sous forme de biomasse dans un écosystème, donc sa productivité, est proportionnelle à son degré d'organisation, c'est-à-dire à sa diversité et au nombre et au degré d'interconnexions entre ses éléments constitutifs.

Au final, dans un écosystème, tout est lié, interdépendant et en équilibre dynamique.

2. Les cinq principes agro-écologiques à promouvoir pour des systèmes d'élevage innovants

Ces principes ont été inspirés de ceux proposés par Altieri (2002) pour une gestion intégrée des cultures.

2.1. Développer des pratiques de gestion intégrée pour améliorer la santé animale

Gérer de manière intégrée la santé animale implique de mobiliser les capacités d'adaptation des animaux afin de minimiser les intrants médicamenteux, dont l'utilisation massive se traduit par une augmentation de la fréquence d'apparition de résistances. Ceci implique le choix de génotypes adaptés à

l'environnement d'élevage. Les adaptations des animaux peuvent être morphologiques ou anatomiques (taille, composition corporelle, taille des phanères), physiologiques (aptitude à valoriser des ressources alimentaires particulières, à mobiliser les réserves corporelles face à des restrictions alimentaires, *etc.*), comportementales (déplacement en milieu difficile, exploration et apprentissage, *etc.*).

La sensibilité des animaux aux pathogènes peut également être réduite par la mise en place de pratiques d'élevage adaptées. Il est possible de perturber les cycles hôte-pathogène en jouant sur la répartition des animaux dans l'espace et dans le temps. En élevage cunicole, la prévention des coccidioses passe par une limitation des contacts entre les animaux et leurs déjections, pour rompre le cycle de développement du parasite. En élevage confiné, la cage grillagée permet de répondre à cet objectif. En élevage sur parcours herbagé, le déplacement fréquent des cages et un délai d'attente long avant le retour sur le même parcours sont un minimum pour gérer cette difficulté.

De nombreuses plantes possèdent également une valeur pour la santé des animaux. Le sainfoin permet de réduire l'infestation des petits ruminants par les strongles digestifs (Hoste *et al.*, 2006). Les extraits de plantes, dont les huiles essentielles, font aussi l'objet d'une investigation croissante pour la maîtrise de la santé animale (Akbarian *et al.*, 2013 ; Katiki *et al.*, 2013).

Dans les systèmes en confinement, il est possible de diminuer la charge pathogène de l'environnement en choisissant des génotypes adaptés et en raisonnant l'occupation des bâtiments (densité d'animaux, succession des bandes, vides sanitaires, *etc.*). Chez les bovins, limiter les ré-allotements réduit le stress social et permet une meilleure croissance des animaux (Mounier *et al.*, 2006) diminuant le recours aux traitements médicamenteux.

Chez le lapin, le microbiote digestif est une cible privilégiée pour une gestion intégrée de la santé animale. Combes *et al.* (2013a) ont proposé des pistes de recherche pour piloter le fonctionnement de l'écosystème digestif chez le lapin et améliorer ainsi leur santé et leur efficacité digestives. L'ensemencement précoce, la voie nutritionnelle, la gestion du sevrage, l'utilisation de pré- ou probiotiques sont autant de pistes proposées.

2.2. Potentialiser l'utilisation de toutes les ressources pour diminuer les intrants nécessaires à la production

Un premier levier pour diminuer les ressources nécessaires à la production consiste à augmenter l'efficacité alimentaire des animaux. Cela peut être réalisé par l'utilisation de génotype plus efficaces (Garreau *et al.*, 2011 ; Drouilhet *et al.*, 2013). Limiter la quantité d'aliment ingérée ou l'enrichissement de la ration en lipides ou en amidon permet également d'augmenter l'efficacité alimentaire des animaux (Gidenne *et al.*, 2013). Chez le lapin, il convient

toutefois d'être très vigilant sur les apports de fibres pour maintenir la santé digestive des animaux.

Une autre piste consiste à augmenter la part dans l'alimentation animale des ressources non directement valorisables par l'homme. On cherchera ainsi à valoriser les prairies, les parcours, les résidus de cultures mais aussi les co-produits de l'industrie agro-alimentaire.

L'eau est une ressource qui risque de devenir limitante y compris sous nos latitudes. Ceci devrait encourager le développement de ressources alimentaires mieux adaptées à des épisodes de sécheresse, telles que le sorgho, la luzerne ou les graminées à dormance estivale. Pour les animaux nourris à l'herbe, augmenter la part des légumineuses dans les prairies permet de réduire la fertilisation minérale, tout en maintenant des hauts niveaux de production (Soder *et al.*, 2006 pour les vaches laitières). Plus globalement, il s'agit de préserver de manière naturelle les services de support à la production. Ainsi la diversité fonctionnelle des prairies peut entraîner une plus grande stabilité de la production fourragère et procure une capacité de résistance à l'invasion par des adventices (Frankow-Lindberg *et al.*, 2009). Dans les rotations, les prairies préservent la matière organique du sol et augmentent ainsi le rendement des cultures qui les suivent.

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

La réduction des pollutions peut s'envisager par des actions ponctuelles dans un itinéraire de production, ou bien par un réagencement de l'ensemble du système de production.

Par exemple, des additifs alimentaires d'origine naturelle réduisent significativement les émissions de méthane par les ruminants (Martin *et al.*, 2010), et chez le porc l'alimentation séquencée permet de réduire l'excrétion d'azote et de phosphore (Dourmad *et al.*, 2009). De même, chez le lapin, l'ajustement des teneurs en protéines des aliments au besoin des animaux permet de réduire significativement l'excrétion azotée (Gidenne *et al.*, 2011).

Il existe d'autres leviers à l'échelle du système d'élevage. Par exemple, le maintien des prairies augmente la capacité du milieu à stocker le carbone et limite le lessivage de l'azote et le ruissellement du phosphore. Dans les exploitations de polyculture-élevage, l'enjeu est de favoriser le recyclage des déjections en tirant parti de la complémentarité des composantes du système, par épandage des déjections, mixité entre productions animales et végétales ou méthanisation. Dans ce dernier cas on peut également rechercher la complémentarité avec des éléments extérieurs au système (déchets de productions voisines). L'agroforesterie est aussi un exemple de système permettant de maximiser le bouclage des cycles de nutriments (voir paragraphe 3).

2.4. Gérer la diversité au sein des élevages pour renforcer leur résilience

Il est possible de renforcer la résilience des systèmes d'élevage à des aléas climatiques ou économiques en valorisant la diversité des ressources fourragères et la complémentarité des animaux. Ceci implique d'adapter le cycle de production pour mettre en adéquation la saisonnalité des besoins alimentaires des animaux avec la diversité des ressources présentes sur l'exploitation, et de raisonner pour cela les capacités d'adaptation des animaux (par exemple en utilisant le phénomène de croissance compensatrice). Le modèle « généraliste-spécialiste » donne un cadre conceptuel à ces approches. Les animaux généralistes produisent moins mais sont plus robustes, ce qui est à raisonner pour la constitution des lots et leur alimentation (Puillet *et al.*, 2010). Le pâturage mixte de plusieurs espèces d'herbivores augmente l'utilisation de la biomasse disponible et réduit les risques d'infestation parasitaire, ce qui se traduit en général par une meilleure croissance des animaux. A l'échelle du système, élever simultanément plusieurs espèces peut permettre de réduire les risques climatiques, sanitaires ainsi que ceux liés aux fluctuations du marché (Tichit *et al.*, 2004). Toutefois, cette stratégie peut changer la nature du travail en raison d'une plus faible spécialisation.

2.5. Adapter les pratiques d'élevage pour préserver la biodiversité dans les agro-écosystèmes

La préservation de la biodiversité des animaux domestiques au sein des agro-écosystèmes passe notamment par l'utilisation de races locales dites « rustiques ». Préserver les races locales est d'autant plus important que l'érosion du patrimoine génétique est très marquée dans les races les plus sélectionnées. Pour l'élevage non confiné, et du fait de leur adaptation au milieu, ces races permettent de réduire les charges d'alimentation et les frais vétérinaires.

Adapter le mode d'utilisation des surfaces pâturées, mais aussi celles entrant dans les assolements ou utilisées en agroforesterie, permet de préserver la biodiversité floristique et faunistique. Au pâturage, l'hétérogénéité structurale des couverts et l'intensité de floraison des parcelles sont deux facteurs déterminants pour l'entomofaune. Les fauches tardives sont ainsi préconisées, et en production bovine au pâturage il a été montré qu'exclure certaines parcelles au pic de floraison pouvait profiter aux papillons sans pour autant nécessiter de réduire le chargement du troupeau (Farruggia *et al.*, 2012).

Les compromis sont surtout à rechercher à l'échelle du système, où préserver du pâturage entre 20 et 50% des parcelles au printemps peut compenser les effets délétères d'un fort chargement sur les autres surfaces (Franzén et Nilsson, 2008). Plusieurs travaux ont aussi quantifié les bénéfices liés à l'introduction de bandes enherbées en bord des champs cultivés (Marshall *et al.*, 2006). Aux échelles supérieures, il s'agit de construire le parcellaire et les paysages pour

créer des zones réservoirs et préserver la connectivité des milieux. Dans les marais de l'Ouest de la France, raisonner l'agencement des pratiques dans le but de favoriser l'hétérogénéité des surfaces a permis de concilier la production laitière et la préservation des oiseaux limicoles (Sabatier *et al.*, 2010).

3. Trois études de cas en agro-écologie et écologie industrielle

L'agro-écologie et l'écologie industrielle nécessitent que l'on considère les agro-écosystèmes dans leur ensemble et dans leurs relations avec d'autres entités au sein d'un territoire, prenant en compte tout à la fois les dimensions biologiques, techniques et économiques. Les interactions entre composantes du système et la dynamique des processus écologiques constituent des éléments indispensables à intégrer dans les systèmes d'élevage mobilisant les principes agro-écologiques. Sans chercher à être exhaustif, nous illustrons ces différents points en discutant trois études de cas dans des filières différentes et couvrant un large gradient d'intensification.

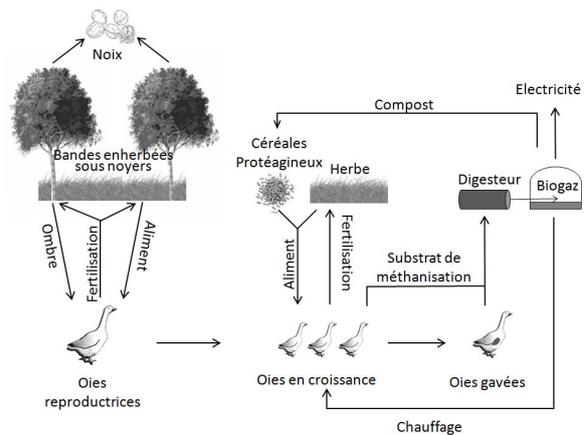
3.1. Elevages laitiers à bas niveaux d'intrants

Les systèmes français de vaches laitières à bas niveaux d'intrants du Réseau Agriculture Durable cherchent à privilégier l'autonomie et l'économie des exploitations ainsi que leur lien au sol. Une composante clé est de privilégier le pâturage de prairies renfermant graminées et légumineuses plutôt que des aliments concentrés. Les troupeaux sont gérés de façon à ce que les besoins des animaux correspondent à la disponibilité des ressources (par exemple en groupant les périodes de vêlage). En Bretagne, les bénéfices environnementaux ont été démontrés dans ces fermes (Le Rohellec *et al.*, 2009), avec des consommations énergétiques moindres que celles d'exploitations conventionnelles (33% inférieures par 1000 L de lait produit). Ce résultat s'explique par une fertilisation minérale moindre, accompagnée d'économies sur les aliments concentrés et le fuel (diminution de l'indice de fréquence de traitements pesticides). Ces systèmes affichent des revenus nets plus élevés par unité de travail (19 k€ vs. 7 k€ en 2009). La faible diminution de productivité (-200 L de lait/ha de fourrage comparé au système conventionnel) est largement compensée par une réduction des coûts de production. Ces exploitations, moins tributaires de la fluctuation des prix de l'énergie, sont par contre sensibles aux aléas climatiques, et subissent les variations inter-annuelles de l'herbe pâturée.

3.2. Agroforesterie et méthanisation pour la production de foie gras d'oie

Pour ce système avicole, les pratiques agro-écologiques combinent l'utilisation d'animaux de souches locales, le choix des rations alimentaires, la complémentarité entre élevage et l'agroforesterie, et la méthanisation des déjections (Figure 1).

Figure 1: Complémentarité entre les productions animales et végétales, recyclage et valorisation des éléments dans une exploitation avicole



La ferme expérimentale de l'oie (Coulaures, Dordogne) élève 550 oies reproductrices, 200 mâles et 4 à 5 bandes annuelles de 1200 oies en croissance sur 15 ha de pâturages boisés. Une salle de gavage permet de gaver des bandes de 300 animaux pour la production de foie gras. Une unité de méthanisation sur la ferme produit 500 000 kWh/an d'électricité et chauffe les bâtiments d'élevage, à partir des déchets de l'élevage et des élevages et usines alentours.

Les oies reproductrices reçoivent un aliment complet sous forme de granulés et sont logées en bâtiment. Elles ont accès à 1 ha de parcours herbagé non fertilisé sous couvert de noyers. Leurs déjections augmentent les taux de matière organique (66 vs 58 g MO / kg sans animaux), d'azote (2,8 vs 2,5 g N / kg) et de phosphore (0,77 vs 0,49 g P / kg) du sol (Bijja *et al.*, 2010). Cette association améliore la production de noix de 26% et la croissance des arbres de 6% (Dubois *et al.* 2008a). Les risques de contamination microbienne des fruits (par *E. coli*) sont écartés si les oies sont retirées du parcours au moins deux mois avant la récolte. De plus, par temps chaud, la plupart des animaux (94% à 14h00) profitent de l'ombre apportée par les noyers (Dubois *et al.*, 2008b).

Au démarrage, les oisons sont élevés en bâtiment pour assurer leur confort thermique. A partir de 6 semaines, ils ont accès à un parcours herbagé de dactyle, pâturé en rotation. Cette gestion du pâturage (par rapport à un élevage en bâtiment ou en pâturage continu) améliore l'état des animaux (qualité du plumage et état des pattes) tout en contribuant aux apports nutritionnels, l'ingestion journalière d'herbe fraîche pouvant atteindre 1,2 kg par oie (Leprettre *et al.*, 2000). L'enherbement du parcours réduit également les phénomènes de lixiviation. L'essentiel des apports alimentaires proviennent néanmoins de céréales et de protéagineux apportés sous forme d'un mélange fermier composé de graines cultivées localement (fêverole, lupin, maïs et sorgho), concassées ou bien en mélange de céréales entières complétées par un granulé riche en protéines (Arroyo *et al.*, 2012). Ces

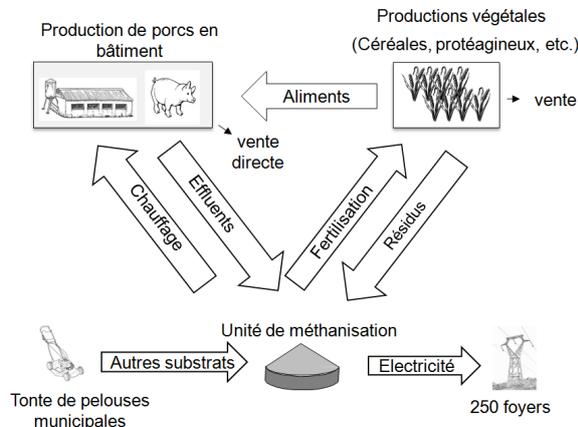
pratiques permettent des performances de croissance satisfaisantes (environ 45 g/j ; Bijja *et al.*, 2010) tout en limitant la consommation d'énergie pour le transport et la fabrication des aliments (environ -5%, Arroyo *et al.*, 2013).

Le choix des matières premières a également une influence sur le bilan environnemental de la production. Une substitution du maïs par du sorgho (de valeur nutritionnelle très proche mais plus résistant au stress hydrique) dans l'alimentation des oies pendant les phases d'élevage et de gavage entraîne une baisse du bilan Carbone (-18%) et de l'utilisation d'eau (-64% ; Arroyo *et al.*, 2013). L'utilisation de sorgho améliore aussi le poids du foie gras (+13%) mais réduit sa valeur commerciale. D'un point de vue économique, elle augmente la flexibilité du système en réduisant la dépendance au maïs.

3.3. Système d'élevage porcin plus autonome et produisant de l'énergie

Les impacts environnementaux de la production porcine sont principalement liés à la production des aliments et à la gestion des effluents. Dans ces systèmes, la maîtrise des émissions gazeuses (NH₃, N₂O, CH₄) et le recyclage des effluents comme fertilisants constituent les éléments clés de la maîtrise des impacts environnementaux.

Figure 2: Complémentarité entre les productions animales et végétales, intégration d'une exploitation porcine au sein d'un territoire



L'exemple décrit s'inscrit dans une démarche d'optimisation du fonctionnement métabolique d'une exploitation, en s'inspirant des principes de l'écologie industrielle (Figure 2). Il s'agit d'un élevage naisseur-engraisseur de 180 truies situé dans l'Indre, dans lequel les effluents sont méthanisés puis utilisés pour la fertilisation des 252 ha de cultures de céréales, oléagineux et pois. Les cultures sont utilisées pour la production des aliments, mis à part le tournesol, le millet et le sarrasin qui sont vendus. Le digesteur est principalement approvisionné par les effluents liquides et solides et des résidus d'inter-cultures, mais également des déchets verts communaux. La méthanisation permet de réduire les émissions de CH₄ dans l'environnement et diminue l'odeur des digestats et leur charge en bactéries et en résidus (Petersen *et*

al., 2007). Le biogaz est utilisé pour la production d'électricité (880 MWh électrique soit la consommation de 250 habitations) et la production de chaleur (847 MWh thermique). Le colza est pressé pour la production d'huile transformée en énergie (tracteur) et de tourteau utilisé comme source de protéines pour l'alimentation des porcs. La chaleur produite sert au chauffage des bâtiments, réduisant ainsi le coût et les émissions de gaz à effet de serre (Rigolot *et al.*, 2010), l'électricité est vendue à EDF.

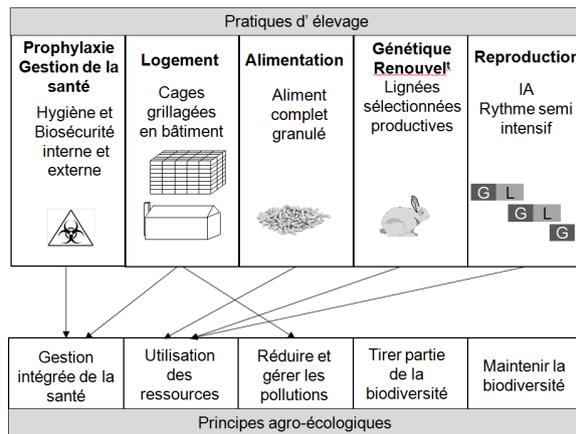
Les aliments sont fabriqués sur place, principalement à partir des cultures produites sur l'exploitation qui représentent au total en moyenne 75% de la ration. Les performances techniques de l'élevage sont voisines de la moyenne française, supérieures en engraissement et un peu inférieures en reproduction. Les variations annuelles de la marge brute sont fortement atténuées par l'autoproduction d'une part importante des aliments, la vente d'une partie des cultures et de la vente directe de charcuterie. L'exploitation emploie 8,5 UTH pour les cultures, l'élevage, la gestion des effluents, et la transformation et la vente des produits. Cet exemple illustre bien l'intérêt qu'il peut y avoir à mobiliser les principes de l'écologie industrielle pour maximiser les recyclages et favoriser des synergies au sein d'un territoire. On pourrait aussi envisager d'utiliser une partie de la chaleur disponible pour sécher les digestats et ainsi produire des engrais organiques.

4. Quelle prise en compte possible des principes agro-écologiques en élevage cynicole ?

En France, l'essentiel de la production de viande de lapin provient de systèmes où les animaux sont élevés en bâtiment, logés dans des cages grillagées et nourris avec des aliments granulés complets et équilibrés (Figure 3). Ces systèmes relativement artificialisés relèvent plutôt de l'écologie industrielle, tandis que l'agro-écologie s'applique aux systèmes d'élevage cynicoles au sol, basés au moins partiellement sur une alimentation fourragère. A l'heure actuelle, ceux-ci sont très peu nombreux et regroupent surtout des élevages répondant au cahier des charges de l'Agriculture Biologique. Dans ces deux types de systèmes de production cynicole, il est possible de progresser dans la prise en compte des principes agro-écologiques que nous avons décrits dans le chapitre 2 afin de limiter l'impact environnemental de la production cynicole.

Elevage en claustration. Les impacts environnementaux de la production cynicole conventionnelle, i.e. en claustration totale, sont principalement liés à la production des aliments et à la gestion des effluents (Zened *et al.*, 2013). Dans ces élevages, la maîtrise de l'efficacité du système (efficacité alimentaire, réduction de la mortalité, prolificité), la réduction des émissions gazeuses (NH₃, N₂O, CH₄) et le recyclage des effluents comme fertilisants constituent les éléments clés de la maîtrise des impacts environnementaux.

Figure 3: Mobilisation des principes agro-écologiques en production cynicole conventionnelle



Les travaux pour améliorer l'efficacité alimentaire, par la sélection génétique, l'alimentation ou les pratiques d'élevage restent d'actualité. L'alimentation des animaux à partir de matières premières provenant de la ferme et distribuées sous forme simplifiée est délicate dans ces systèmes. D'une part, le lapin a besoin d'un apport minimum en fibres et la distribution de fourrage sec en tiges longues n'est pas aisée avec un logement en cage grillagée. Cela n'est pas facilement mécanisable/automatisable dans la configuration actuelle des bâtiments, ni toujours compatible avec les systèmes de gestion des effluents (bourrage des rampes de raclage). Il conviendrait plutôt de proposer les fourrages sous forme compactée (bouchons), puisque la distribution de farine entraîne des problèmes respiratoires. D'autre part, le lapin a tendance à sélectionner au sein d'un mélange, les composés qui sont les plus appétants au détriment de l'équilibre nutritionnel. L'utilisation de mélange de céréales et de protéagineux entraîne généralement du gaspillage, ce qui est contraire aux principes d'efficacité visés. Des innovations restent donc à proposer pour favoriser l'utilisation des ressources fermières sans pénaliser l'efficacité du système.

L'autre piste, conforme au raisonnement de l'écologie industrielle, consiste à mieux valoriser les co-produits pour l'alimentation des animaux. Les aliments complets granulés aujourd'hui utilisés dans les élevages cynicoles conventionnels comprennent déjà une part importante de co-produits (>50%). Toutefois, de nouveaux co-produits tels ceux issus de la production d'agrocarburant, arrivent régulièrement sur le marché. Leur intérêt (Molette *et al.*, 2009) mais aussi l'étude de leur valeur alimentaire, de leurs conditions d'utilisation et de leur empreinte environnementale sont à systématiser. Il s'agit aussi d'utiliser prioritairement les co-produits d'origine locale pour favoriser le bouclage des éléments au sein d'un territoire, et limiter les pollutions liées au transport.

La méthanisation des déjections est un moyen de valoriser la matière organique des déjections animales

et de réduire les émissions de gaz à effet de serre (de 85 à 100% pour un méthaniseur individuel et de 79 à 94% pour un méthaniseur collectif), qui peut être particulièrement intéressant dans les zones à forte densité d'élevage où les surfaces d'épandage deviennent limitantes. Elle peut également permettre de recycler d'autres substrats organiques provenant du territoire (déchets de légumes, tontes de pelouses, déchets alimentaires, graisses...). L'investissement initial reste un des freins majeurs au développement de cette technologie. En termes de recherche, une meilleure connaissance des caractéristiques des substrats issus de l'élevage cynicole, et notamment de leur capacité à produire du méthane est nécessaire pour définir la production potentielle de biogaz et la rentabilité des installations envisagées.

La gestion intégrée de la santé animale est un des enjeux majeurs de la filière cynicole en raison de la difficulté à maîtriser les troubles digestifs chez les lapins en croissance, et les troubles respiratoires chez les femelles reproductrices. L'élevage en bâtiment permet la mise en place de pratiques qui aident à la gestion de la santé : gestion de l'ambiance (température, hygrométrie, poussières...), réduction du contact avec les excréments ce qui limite les ré-infestations (gestion du parasitisme), nettoyage et désinfection... En revanche, une densité élevée d'animaux de même souche et au même stade physiologique, donc de même sensibilité, augmente les risques de contamination. Le développement de programmes de sélection sur la résistance génétique aux maladies est une piste prometteuse pour limiter ces risques (Helloin *et al.*, 2009). Les bénéfices d'une réintroduction de la diversité génétique (lignées, ou races présentant des sensibilités différentes) au sein des cellules d'élevage pour limiter l'émergence des maladies méritent aussi d'être étudiés.

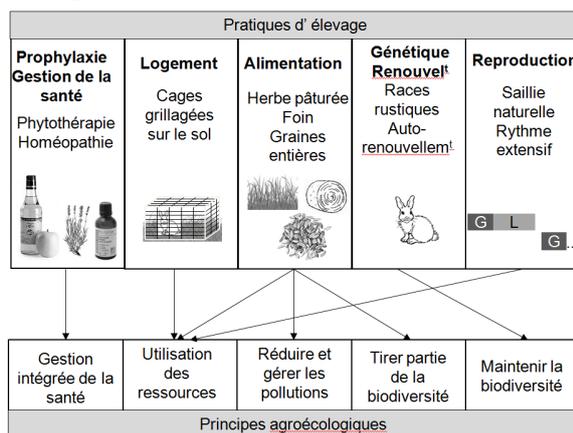
De plus, de nombreuses plantes ont des propriétés médicinales (antihelminthique, anti inflammatoire, bactériostatique... ; Blanco *et al.*, 1999). Les animaux sont capables d'apprentissage et d'adaptation pour la gestion de leur santé (Huffman, 2003). L'utilisation de ces plantes ou molécules, éventuellement couplée avec une évolution du mode actuel d'élevage pour permettre aux animaux une part d'automédication, mérite d'être explorée (Xue *et al.*, 1997 ; Sun, 1998).

Enfin, des travaux récents ont montré que le comportement naturel de coprophagie chez les lapereaux au nid influence le processus d'implantation du microbiote bactérien caecal. L'apport de fèces d'origine exogène amplifie, décale et prolonge ce comportement naturel et réduit fortement la mortalité pendant la période de croissance des animaux (Combes *et al.*, 2013b). Ces travaux montrent qu'il est donc possible de stimuler un comportement naturel en élevage confiné pour une gestion intégrée de la santé en élevage cynicole.

Elevage sur parcours enherbé. Les systèmes de production cynicoles biologiques mettent en œuvre la

plupart des principes agro-écologiques (Figure 4). Les lapins généralement de race rustique, sont élevés en plein air dans des cages mobiles sur des prairies plurispécifiques non fertilisées, ce qui contribue au maintien de la diversité et limite le recours aux intrants. Les cages sont déplacées chaque jour pour fournir de l'herbe fraîche aux animaux, ce qui limite le contact avec leurs excréments et réduit ainsi l'infestation parasitaire (coccidies). Toutefois, la coccidiose reste un problème de santé majeur en production de lapins biologiques en plein-air (Licois et Marlier, 2008). La santé est aussi gérée à l'aide d'huiles essentielles, d'extrait d'ail et de vinaigre de cidre ajouté à l'eau de boisson (Benguesmia *et al.*, 2011). Outre le pâturage, l'alimentation des animaux est principalement composée de fourrages secs et d'un mélange de céréales et de protéagineux bruts (triticale, orge, avoine, pois) cultivés en association, éventuellement complétés par des aliments granulés complets biologiques du commerce.

Figure 4: Mobilisation des principes agro-écologiques en production cynicole sur parcours herbagé



Toutefois, ces systèmes de production cynicole sont généralement de petite taille (environ 40-60 vs 500 femelles reproductrices en système conventionnel) et conduits selon un rythme de reproduction extensif (80-90 vs 42 jours d'intervalle entre deux mises-bas). Cela rend le système beaucoup moins productif par animal et par unité de main d'œuvre que les systèmes conventionnels (20 vs 51 lapins / femelle / an ; 1000 à 1500 vs 30 000 lapins / UTH / an). La prolificité (6 contre 8 lapereaux sevrés) et la vitesse de croissance (<25 vs >30 g / j) y sont plus faibles tandis que la mortalité y est plus élevée (>20% vs <15% entre deux semaines d'âge et l'abattage). La viabilité économique du système n'est permise que par un prix de vente élevé (>10 vs <2 € / kg), notamment grâce à la vente directe.

Dans ces systèmes, les perspectives de travail portent principalement sur i) la gestion de la santé animale dont la maîtrise est encore insuffisante, ii) la gestion de la reproduction qui se révèle plus délicate en période de jours courts et en l'absence de stimulation hormonale ou lumineuse et iii) la maîtrise de

l'alimentation (Roinsart *et al.*, 2013). Les besoins nutritionnels des animaux dans cette conduite spécifique restent en effet à préciser (thermorégulation, activité physique...) ainsi que la valeur nutritive et les capacités d'ingestion des fourrages verts et secs.

5. Développement de systèmes d'élevage innovants basés sur les principes agro-écologiques: implications pratiques, freins et opportunités

5.1. Quelle mobilisation des principes agro-écologiques dans les systèmes d'élevage?

Les trois exemples précédents ainsi que d'autres exemples décrits par Dumont *et al.* (2013) montrent que les cinq principes agro-écologiques sont mobilisés de façon différente selon les systèmes d'élevage et leur niveau d'intensification. Chaque système décrit a au moins mobilisé trois principes. L'économie des intrants et la réduction des pollutions ressortent systématiquement (Dumont *et al.*, 2013). Ceci s'explique par i) les contraintes économiques et réglementaires qui s'imposent aux productions animales, les obligeant à diminuer l'utilisation des intrants et les rejets polluants ; et ii) les importants efforts en recherche et développement sur ces questions. La gestion intégrée de la santé animale est un principe plus rarement mobilisé. Les engagements politiques actuels (plan Ecoantibio 2017) devraient probablement modifier la situation à moyen terme. Enfin le principe intéressant la préservation de la biodiversité s'affiche davantage comme un objectif secondaire, présent essentiellement dans les systèmes agro-écologiques (en particulier les systèmes herbagers), alors que la réduction des pollutions domine en écologie industrielle (Dumont *et al.*, 2013).

5.2. Complémentarités entre « agro-écologie » et « écologie industrielle »

Pour produire mieux avec moins d'intrants, nous défendons l'idée de coupler agro-écologie et écologie industrielle en raison de leurs contributions, respectives et complémentaires à la production de protéines animales et de services écosystémiques. Leur socle commun est la mobilisation des concepts de l'écologie, avec l'objectif partagé de minimiser l'empreinte environnementale des systèmes d'élevage et de préserver les ressources naturelles. Coupler ces deux approches remet en cause l'opposition classiquement faite entre les deux modèles d'occupation des terres appelés « Land sharing » et « Land sparing ». Récemment, Tschardtke *et al.* (2012) ont aussi plaidé pour sortir d'une telle opposition pour l'ensemble du secteur agricole. L'agro-écologie qui cherche à valoriser la diversité existant dans les agro-écosystèmes et à utiliser les ressources non directement valorisables par l'homme pour produire de la viande et du lait relève du Land Sharing. Elle concourt à préserver des espaces à forte biodiversité, en tirant parti des services écosystémiques. L'écologie industrielle relève en revanche d'une logique de Land Sparing. Elle limite

les pollutions en utilisant les rejets des productions animales comme ressources. Elle doit permettre d'accroître les niveaux de production, tout en limitant l'usage des ressources naturelles rares, la consommation d'énergie et l'occupation des terres.

5.3. *Une redistribution des contraintes par rapport aux systèmes conventionnels*

Jusqu'à présent, les systèmes d'élevage se sont beaucoup développés pour maximiser le revenu de l'éleveur et faciliter l'organisation des maillons des filières, et ceci parfois dans le respect de cahiers des charges (Label Rouge, Agriculture Biologique...) et des différentes logiques d'éleveurs (artisan, entrepreneur, créateurs... ; Commandeur, 2006). L'application des principes agro-écologiques place la réduction des impacts de l'élevage sur l'environnement à un même niveau de priorité que la production de denrées alimentaires. Il s'agit d'ajuster le rapport entre productivité et intrants à l'échelle de l'unité de production (= le système d'élevage) et en considérant des temps longs (plusieurs années et non pas une seule campagne). La forte baisse des intrants permise par la recherche d'une autonomie alimentaire et/ou énergétique élevée peut aboutir à une augmentation de la valeur ajoutée créée sur l'exploitation (Le Rohellec *et al.*, 2009 ; Dumont *et al.*, 2013). La diversification des productions peut stabiliser les revenus face aux aléas des marchés, tandis que le bouclage des cycles réduit les pollutions et l'usage d'énergies non renouvelables. Le bilan économique final reste à évaluer au cas par cas selon le contexte de politique agricole (aides, taxes), la productivité du travail et les besoins en matériel. Ainsi, en écologie industrielle, la simulation en milieu confiné et contrôlé de processus naturels s'appuie sur des technologies avancées et un matériel spécifique. Le coût généralement élevé de l'investissement initial peut limiter le développement de telles unités (exemple : unité de méthanisation).

5.4. *Un préalable au renforcement de l'autonomie*

Les systèmes d'élevage basés sur les principes de l'agro-écologie sont plus autonomes car ils cherchent à produire les ressources primaires dont ils ont besoin, tout en recyclant leurs déchets. L'autonomie concerne notamment les différents intrants (aliments, énergie...), ce qui permet de s'affranchir des aléas de prix des marchés. Pour autant, en élevage de monogastriques, l'ajustement précis en composés nutritifs des aliments complets issus de l'industrie de l'alimentation animale aux besoins des animaux permet généralement une amélioration de l'efficacité alimentaire et une diminution des rejets. La prise en compte des principes agro-écologiques dans les systèmes d'élevage basés sur une alimentation non fourragère d'origine fermière nécessite donc une bonne connaissance des valeurs nutritives des matières premières locales et de leur variabilité, et des systèmes d'alimentation qui limiteraient le gaspillage, afin de conserver l'efficacité du système.

5.5. *Une nécessaire réorganisation du travail*

La composante « travail » est un élément clé dans l'évolution des systèmes d'élevage car même si la quantité de travail n'est pas forcément accrue, sa nature change (Tripp, 2008) : surveillance accrue du système, intégration de nouvelles productions, *etc.* Cela est particulièrement vrai durant la phase de transition. Plusieurs approches peuvent être envisagées pour améliorer la productivité du travail : *i)* l'automatisation des élevages et le recours à de nouvelles technologies, telle que l'électronique embarquée, pour faciliter la collecte et le traitement des informations du système (Meuret *et al.*, 2013). En élevage cunicole on peut penser au suivi précis de la croissance, de l'ingestion d'eau et d'aliment, de la qualité de l'air... *ii)* le développement d'outils d'aide à la décision permettant d'accompagner les éleveurs dans l'acquisition de connaissances nouvelles et de compétences spécifiques à son système d'élevage. On peut penser aux logiciels d'analyse des performances qui se développent et qui peuvent être couplés aux performances dynamiques des bandes (ingestion, mortalité...).

5.6. *Un changement de posture pour favoriser la transition vers les systèmes innovants*

Dans les systèmes d'élevage fondés sur les principes de l'agro-écologie, il ne s'agit plus d'appliquer des solutions génériques et toutes faites, mais d'ajuster les décisions en continu aux potentialités territoriales et aux savoirs et savoir-faire locaux (González-García *et al.*, 2012). En conséquence, tous les acteurs doivent être mobilisés et doivent changer de postures pour capitaliser les savoirs et les savoir-faire, et travailler de concert avec les éleveurs pour renforcer leur autonomie décisionnelle. Une des difficultés est que les trajectoires de spécialisation régionale sont caractérisées par une forte inertie et des irréversibilités complexes du fait des nombreuses interconnexions entre les maillons des filières et des investissements à amortir. Ce changement de posture implique que les chercheurs considèrent la spécificité des systèmes d'élevage pour les appréhender de façon holistique et à différentes échelles (de l'animal au territoire, avec un pas de temps pluriannuel). Ils favoriseront pour cela les travaux inter-disciplinaires associant la zootechnie et l'écologie aux sciences économiques et sociales. Les unités expérimentales seront des outils privilégiés puisqu'elles permettent une plus grande prise de risques que les exploitations d'élevage.

Les pouvoirs publics devront quant à eux établir leurs décisions (réglementation, incitations économiques) non plus à l'aide d'indicateurs génériques probablement trop simples, mais en considérant la diversité des situations locales et régionales et en s'appuyant sur des outils d'évaluation multi-critères.

Conclusion

L'innovation dans les productions animales qui consisterait à développer des approches complémentaires relevant de l'agro-écologie et de l'écologie industrielle est à explorer dans le but de favoriser la production et la durabilité des systèmes d'élevage tout en réduisant leur empreinte environnementale. Les principes que nous avons édictés constituent un cadre facilitant l'appropriation et l'utilisation des concepts de l'écologie. Comprendre la nécessité de produire mieux avec moins d'intrants, bénéficier de l'environnement social et institutionnel facilitant ce changement, disposer d'un temps suffisant pour l'apprentissage de nouvelles pratiques sont quelques clés pour ouvrir la voie vers les systèmes d'élevage de demain. Malgré un contexte économique difficile, la filière cunicole a sans doute aussi des bénéfices à tirer de ces nouvelles perspectives.

Références

- AKBARIAN A., GOLIAN A., KERMANSHAHI H., FARHOOSH R., RAJI R., DE SMET S., MICHIELS J. 2013. Growth performance and gut health parameters of finishing broilers supplemented with plant extracts and exposed to daily increased temperature. *Span. J. Agric. Res.*, 11 : 109-119.
- ALTIERI M.A., 1987. *Agroecology: the scientific basis of alternative agriculture*. Boulder: Westview Press.
- ALTIERI M.A., 2002. Agroecological principles and strategies for sustainable agriculture. In *Agroecological Innovations: Increasing food production with participatory development* (ed NT Uphoff), pp 40-46. Earthscan publication Ltd, London.
- ALTIERI M.A., NICHOLLS C.I., 2005. *Agroecology and the search for a truly sustainable agriculture*. Basic Textbooks for Environmental Training, United Nations Environment Programme, 291pp.
- ALTIERI M.A., FUNES-MONZOTE F.R., PETERSEN P., 2012. Agroecologically efficient agricultural systems for small holder farmers: contribution to food sovereignty. *Agron. Sustain. Dev.*, 32, 1-13.
- ARROYO J., FORTUN-LAMOTHE L., DUBOIS J.P., LAVIGNE F., AUVERGNE A., 2012. Conduite et gestion des transitions alimentaires chez les oies destinées à la production de foie gras. *INRA Prod. Anim.*, 25, 419-430.
- ARROYO J., FORTUN-LAMOTHE L., AUVERGNE A., DUBOIS J.P., LAVIGNE F., BIJJA M., AUBIN J., 2013. Environmental influence of maize substitution by sorghum and diet presentation on goose *foie gras* production. *J. Clean. Prod.* (in press).
- BENGUESMIA M., NIEPCERON A., BOUCHER S., CORTET J., CHAUMEIL T., CABARET J., 2011. Assessing the use of cider vinegar on parasitism and biological growth in organic farming rabbits. In: *Actes des 14^{èmes} Journées de la Recherche Cunicole*, 22-23 Novembre 2011, Le Mans, France, pp. 9-12.
- BIJJA M., DUBOIS J.P., LAVIGNE F., AUVERGNE A., ARROYO A., FERNANDEZ X., 2010. Qualité des parcours de palmipèdes : comparaison de la conduite en parcours tournants et en parcours fixe. In *Proc. 9^{èmes} Journées de la Recherche sur les Palmipèdes à Foie Gras*, 7-8 Octobre 2010, Bordeaux, France, 197-201.
- BLANCO, E., M. J. MACIA, MORALES, R. 1999. Medicinal and veterinary plants of El Laurel (Galicia, northwest Spain). *J. Ethnopharm.*, 65: 113-124.
- COMBES S., FORTUN-LAMOTHE L., CAUQUIL L., GIDENNE T. 2013a. Engineering the rabbit digestive ecosystem to improve digestive health and efficacy. *Animal*, 7:1429-1439.
- COMBES S., GIDENNE T., CAUQUIL L., BALMISSE E., AYMARD P., BONNEMERE J.M., BANNELIER C., GABINAUD B., SEGURA M., TARTIE V., FORTUN-LAMOTHE L. 2013b. Stimuler le comportement naturel de coprophagie des lapereaux au nid, modifie l'implantation de leur microbiote et améliore leur santé. In *Proc. 15^{èmes} Journées de la Recherche Cunicole*, 19-20 novembre 2013, Le Mans, France.
- COMMANDEUR, M. A. 2006. Diversity of pig farming styles: understanding how it is structured. *Wag. J. Life Sci.* 54; 111-127.
- DOURMAD J.Y., RIGOLOT C., JONDREVILLE C., 2009. Influence de la nutrition sur l'excrétion d'azote, de phosphore, de cuivre et de zinc des porcs, et sur les émissions d'ammoniac, de gaz à effet de serre et d'odeurs. *INRA Prod. Anim.*, 22, 41-48.
- DROUILHET L., GILBERT H., BALMISSE E., RUESCHE J., TIRCAZES A., LARZUL C., GARREAU H. 2013. Genetics parameters for two selection criteria for feed efficiency in rabbits. *J. Anim. Sci.* 91, 3121-3128.
- DUBOIS J.P., BIJJA M., AUVERGNE A., LAVIGNE F., FERNANDEZ X., BABILE R., 2008a. Qualité des parcours de palmipèdes : choix des espèces végétales, rendement et résistance au piétinement. In *Proc. 8^{èmes} Journées de la Recherche sur les Palmipèdes à Foie Gras*, 30-31 Octobre 2008, Arcachon, France, 107-110.
- DUBOIS JP, BIJJA M., AUVERGNE A., LAVIGNE F., FERNANDEZ X., BABILE R., 2008b. Agroforesterie : comportement des oies sous un couvert de noyers et effets sur les performances du verger. In *Proc. 8^{èmes} Journées de la Recherche sur les Palmipèdes à Foie Gras*, 30-31 Octobre 2008, Arcachon, France, 111-115.
- DUMONT B., FORTUN-LAMOTHE L., JOUVEN M., THOMAS M., TICHIT M., 2013. Prospects from agroecology and industrial ecology for animal production in the 21st century. *Animal*, 7, 1028-1043.
- FAO 2011. *Global food losses and food waste: Extent, causes and prevention*. By Gustavsson J., Cederberg C., Sonesson U., van Otterdijk R. and Meybeck A. (Available at <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf>).
- FARRUGIA A., DUMONT B., SCOHIER A., LEROY T., PRADEL P., GAREL J.P., 2012. An alternative rotational grazing management designed to favour butterflies in permanent grasslands. *Grass Forage Sci.*, 67, 136-149.
- FRANKOW-LINDBERG BE, BROPHY C, COLLINS RP AND CONNOLLY J 2009. Biodiversity effects on yield and unown species invasion in a temperate forage ecosystem. *Ann. Bot.*, 103, 913-921.
- FRANCIS C., LIEBLEIN G., GLIESSMAN S., BRELAND T.A., CREAMER N., HARWOOD R., SALOMONSSON L., HELENIUS J., RICKERL D., SALVADOR R., WIEDENHOEFT M., SIMMONS S., ALLEN P., ALTIERI M., FLORA C., POINCELOT R., 2003. *Agroecology: The ecology of food systems*. *J. Sustain. Agric.*, 22, 99-118.
- FRANZEN M., NILSSON, S.G., 2008. How can we preserve and restore species richness of pollinating insects on agricultural land? *Ecography*, 31, 698-708.
- FROSC R.A., GALLOPOULOS N.E., 1989. Strategies for manufacturing. *Sci. Am.*, 261, 144-152.
- FROSC R.A., 1992. *Industrial Ecology: A philosophical introduction*. *P. Natl. Acad. Sci. USA* 89, 800-803.
- GARREAU H., DROUILHET L., TUDELA F., RUESCHE J., SCAPIN V., BAILLOT C., GIDENNE T., LARZUL C. 2011. Déterminisme génétique de l'efficacité alimentaire. Analyse d'une expérience de sélection pour deux critères d'efficacité alimentaire. In *Proc. 14^{èmes} Journées de la Recherche Cunicole*, 22-23 novembre 2011, Le Mans, France, 113-116.

- GIDENNE T., COMBES S., BIENS C., DUPERRAY J., REBOURS G., SALUN J.M., WEISSMANN D., FORTUN-LAMOTHE L., COMBE Y., TRAVEL A. 2011. Ingestion restreinte et concentration protéique de l'aliment : impact sur la digestion et les rejets azotés chez le lapin en croissance. In Proc. 14^{èmes} Journées de la recherche Cunicole, 22-23 novembre 2011, Le Mans, France. 21-24.
- GIDENNE T, DROUILHET L. 2013. L'efficacité alimentaire en cuniculture : impacts technico-économiques et environnementaux. In Proc. 15^{èmes} Journées de la Recherche Cunicole, 19-20 novembre 2013, Le Mans, France
- GLIESSMAN S.R., 1997. *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. CRC Press.
- GLIESSMAN S.R., 2006. *Animals in Agroecosystems*. In *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food systems*. Second Edition. CRC Press, pp. 269-285.
- GONZÁLEZ-GARCÍA E., GOURDINE J.L., ALEXANDRE G., ARCHIMÈDE H., VAARST M., 2012. The complex nature of mixed farming systems requires multidimensional actions supported by integrative research and development efforts. *Animal*, 6, 763-777.
- HELLOIN E., GARREAU H., SLUGOCKI C., HILGENBERG M., LE BEUX C., LICOIS D., BOUCHER S., LE NORMAND B., MORIN H., BAUMIER L.M., COISNE F., FOURNIER E., MORENO C., LANTIER F. 2009. Vers une amélioration de la résistance du lapin à la pasteurellose. IN Proc. 13^{èmes} Journées de la Recherche Cunicole, 17-18 novembre 2009, Le Mans, France. 223-227.
- HOLM NIELSEN J.B., 2010. Bioenergy has a key role to play! Bioenergy in a European context: Potentials, Politics, Developments and Barriers. Proceedings of the 6th International Bioenergy Conference, Scientific Engineering Centre "Biomass", 1-36.
- HOSTE H., JACKSON F., Athanasiadou S., Thamsborg SM, Hoskin S.O., 2006. The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants. *Trends Parasitol.*, 22, 253-261.
- HUFFMAN M.A., 2003. Animal self-medication and ethno-medicine: exploration and exploitation of the medicinal properties of plants. *Proc. Nutr. Soc.*, 62 : 371-381.
- KATIKI, L. M., FERREIRA J. F. S., GONZALEZ, J.M., ZAJAC, A.M., LINDSAY D.S., CHAGAS A.C.S., AMARANTE A.F.T. 2013. Anthelmintic effect of plant extracts containing condensed and hydrolyzable tannins on *Caenorhabditis elegans*, and their antioxidant capacity. *Vet. Parasitol.*, 192, 218-227.
- LEPRETTRE S., AUVERGNE A., DUBOIS J.P., BABILE R., LAVIGNE F., 2000. Système d'élevage des oies et performances de croissance. In Proc. 4^{èmes} Journées de la Recherche sur les Palmipèdes à Foie Gras, 4-5 Octobre 2000, Arcachon, France, 105-108.
- LE ROHELLEC C., FALAISE D., MOUCHET C., BOUTIN M., THIEBOT J., 2009. Analyse de l'efficacité environnementale et énergétique de la mesure agri-environnementale « Système fourrager économe en intrants » (SFécologie industrielle), à partir de l'analyse de pratiques de quarante-quatre signataires. *Campagne culturale 2006/2007. Rencontres Recherches Ruminants*, 16, 109-112.
- LICOIS D., MARLIER D., 2008. Pathologies infectieuses du lapin en élevage rationnel. *INRA Prod. Anim.*, 21, 257-267.
- MARSHALL E.J.P., WEST T.M., KLEIJN D., 2006. Impacts of an agri-environmental field margin prescription on the flora and fauna of arable farmland in different landscapes. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 113, 36-44.
- MARTIN C., MORGAVI D.P., DOREAU M., 2010. Methane mitigation in ruminants: from microbe to the farm scale. *Animal*, 4, 351-365.
- MEURET M., TICHIT M., HOSTIOU N., 2013. Elevage et pâturage « de précision » : l'animal sous surveillance électronique. *Le courrier de l'Environnement de l'INRA*, 63, 13-24.
- MOLETTE C., NICOT M.C., COULMIER D., FARIZON Y., GIDENNE T. 2009. Impact d'une incorporation élevée de drèches de distillerie de blé, dans un aliment à formulation simplifiée, sur la croissance, la qualité de la carcasse et la composition en acides gras de la viande de lapin. In Proc. 13^{èmes} Journées de la Recherche Cunicole. Le Mans, , 17-18 novembre 2009, 14-17.
- MOUNIER L., COLSON S., ROUX M., DUBROEUCQ H., BOISSY A., INGRAND S., VEISSIER I., 2006. Links between specialization in the finishing of bulls, mixing, farmers' attitudes towards animals and the production of finishing bulls: a survey on French farms. *Anim. Sci.*, 82, 561-568.
- PETERSEN S.O., SOMMER S.G., BÉLINE F., BURTON C., DACH J., DOURMAD J.Y., LEIP A., MISSELBROOK T., NICHOLSON F., POULSEN H.D., PROVOLO G., SORENSEN P., VINNERAS B., WEISKE A., BERNAL M.P., BÖHM R., JUHÁSZ C., MIHELIC R., 2007. Recycling of livestock manure in a whole-farm perspective. *Livest. Sci.*, 112, 180-191.
- PUILLET L., MARTIN O., SAUVANT D., TICHIT M., 2010. An individual-based model simulating goat response variability and long term herd performance. *Animal*, 4, 2084-2098.
- RIGOLOTT C., ESPAGNOL S., ROBIN P., HASSOUNA M., BELINE F., PAILLAT J.M., DOURMAD J.Y., 2010. Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices. *Animal*, 4, 1413-1424.
- ROINSART A., FORTUN-LAMOTHE L., GIDENNE T., CABARET J., VAN DER HORST F. 2013. Etat des lieux des pratiques et des besoins de recherche en élevage cunicole biologique. Colloque DinaBio, 13-14 novembre 2013, Tours, France.
- SABATIER R., DOYEN L., TICHIT M., 2010. Modelling trade-offs between livestock grazing and water conservation in a grassland agroecosystem. *Ecol. Model.*, 221, 1292-1300.
- SODER K.J., SANDERSON M.A., STACK J.L., MULLER L.D., 2006. Intake and performance of lactating cows grazing diverse forage mixtures. *J. Dairy Sci.*, 89, 2158-2167.
- SUN, S. 1998. Effect of feeding Chinese medicinal herb additives on young rabbit's increasing weight and resistance to disease. *J. Econ; Anim.* 2, 16-19. TICHIT M., HUBERT B., DOYEN L., GENIN D., 2004. A viability model to assess the sustainability of mixed herds under climatic uncertainty. *Anim. Res.*, 53, 405-417.
- TRIPP R., 2008. Agricultural change and low-input technology. In : *Agricultural systems: agroecology and rural innovation for development*. Snapp S., Pound B. (Eds). Elsevier Academic Press Publication, Amsterdam, The Netherlands, 129-160.
- VEEN P., JEFFERSON R., DE SMIDT J., VAN DER STRAATEN J., 2009. Grasslands in Europe of high nature value. KNNV Uitgeverij, NHBS Distribution, Totnes, Devon, UK.
- WEZEL A., SOLDAT V., 2009. A quantitative and qualitative historical analysis of the scientific discipline agroecology. *Int. J. Agric. Sustain.*, 7, 3-18.
- XUE, H., SUN S., ZHAO, G. 1997. Effect of feeding additives of Chinese medicinal herbs on young rabbit's increasing weight and analysis of economic benefit. *J. Econ. Anim.* 1, 28-30.
- ZENED A., MEDA B., PONCHANT P., WILFART A., ARROYO J., GIDENNE T., COMBES S., BRACHET M., L. FORTUN-LAMOTHE. 2013. Conséquences d'une restriction alimentaire chez le lapereau sevré sur les impacts environnementaux de la production de viande de lapin. In Proc. 15^{èmes} Journées de la Recherche Cunicole, 19-20 novembre 2013, Le Mans, France.