

Construction et implications de l'autonomie protéique fourragère dans un système de polyculture-élevage diversifié : Témoignage à partir du projet PAPILLE mené sur l'installation expérimentale d'ASTER

T. Puech^{1*}, A. Durpoix¹, B. Autret¹, L. Brunet¹, D. Foissy¹, P. Guillemain¹

I : INRAE UR0055 ASTER. 662 Avenue Louis BUFFET, 88500 MIRECOURT.

* Auteur de correspondance : thomas.puech@inrae.fr

L'autonomie azotée est un des enjeux majeurs de l'élevage français. Comment se construit l'autonomie sur une ferme ? Quelles en sont les conséquences sur ses performances biotechniques et les acteurs qui l'entourent ? Quelques pistes de discussion à partir d'une expérimentation autonome en polyculture-polyélevage...

Résumé

Dans cet article, nous nous appuyons sur l'expérimentation système INRAE ASTER en polyculture-polyélevage autonome notamment d'un point de vue fourrager. L'autonomie azotée s'y appuie exclusivement sur des complémentarités cultures-élevages et des intrants renouvelables. La constitution de stocks fourragers, l'adaptation des effectifs animaux et la priorisation de l'usage des ressources fourragères représentent les trois principaux leviers pour l'autonomie. Les performances zootechniques présentent une hétérogénéité qui s'exprime à la fois sur un pas de temps intra et inter-annuel et impacte directement une diversité d'acteurs des filières et des territoires. Cet exemple singulier questionne la place de différents acteurs (intermédiaires des systèmes agri-alimentaires, consommateurs, politiques publiques) sur leurs rôles pour favoriser la transition des exploitations agricoles vers plus d'autonomie.

I. Introduction

La seconde moitié du XXème siècle a vu les exploitations et les territoires européens et en particulier français se spécialiser (Jepsen et al., 2015), entraînant un recul généralisé des formes de polyculture-élevage. Ces dernières se maintiennent toutefois dans certains territoires à faibles potentiels, dits périphériques, en bordure de grands bassins de production spécialisés en productions animales ou végétales (Schott et al., 2018). Si l'autonomie protéique a régulièrement été mise à l'agenda politique de ces dernières décennies (plan « Protéines » entre 1982 et 1992, plan Barnier au début des années 2010, plan « protéines végétales » du plan de relance 2021), la France et plus globalement l'Europe restent largement dépendantes des importations de protéines végétales des Etats Unis et d'Amérique du Sud pour l'alimentation des animaux d'élevage (Thomas et al., 2013 ; Billen et al., 2021). La raréfaction des ressources naturelles, l'augmentation du coût et la diminution de la disponibilité de certains intrants (alimentation animale, engrais minéraux - Pinsard, 2022) dont dépendent largement les systèmes spécialisés (Schott et al., 2018) et les (in)certitudes croissantes quant aux évolutions à venir des contextes de production (IPCC, 2021) questionnent la dépendance et la vulnérabilité de ces systèmes dans le contexte actuel et relancent l'intérêt de favoriser l'autonomie protéique des systèmes agricoles (Peyraud et al., 2019). Les systèmes basés sur les complémentarités cultures-élevages feraient partie des formes d'agriculture à promouvoir (Martin et al., 2016 ; Martel et al., 2020), notamment dans le cadre de la transition agro-écologique (Altieri et al., 2012; Bonaudo et al., 2014) du fait de leur autonomie. Toutefois, les systèmes ayant des activités d'élevage sont questionnés vis-à-vis des ressources qu'ils mobilisent du fait que près d'un tiers des grains produits dans le monde le sont à destination première de l'alimentation animale (FAOSTATS 2016 cité par Mottet et al., 2017), et plus globalement, près de 80% de la surface agricole française est dédiée à l'alimentation animale (Couturier et al., 2016). Par conséquent, il y a un enjeu fort de développer des systèmes agricoles autonomes (i.e. peu voire pas dépendants des intrants en termes d'alimentation animale ou fertilisants minéraux, favorisant les complémentarités entre cultures et élevages) tout en limitant les concurrences alimentation humaine/animale dans l'usage des sols agricoles (Mottet et al., 2017; Van Zanten et al., 2019). Or, l'azote étant l'un des principaux facteurs limitants des systèmes autonomes (notamment dans le cas des systèmes en agriculture biologique, voir Barbieri et al., 2021), cela questionne la façon dont se construit l'autonomie de ces systèmes et la nature des leviers mobilisés en situation d'absence d'intrants azotés (alimentation animale, fertilisants). Par ailleurs, cela interroge également les conséquences de l'autonomie d'une

part sur les performances biotechniques et d'autre part sur les implications vis-à-vis d'autres acteurs des filières et des territoires dans lesquels ces systèmes autonomes s'inscrivent.

Nous proposons dans cet article d'explorer ces aspects à partir de l'exemple singulier de l'expérimentation PAPILLE (système de Polyculture polyélevage Autonome, conçu Pas à pas pour l'alimentation humaine, avec Les ressources du miLiEu), conçue sur l'installation expérimentale INRAE de l'unité de recherche ASTER de Mirecourt dans une logique stricte d'autonomie fourragère depuis 2016.

2. Matériel et méthodes

2.1 PAPILLE : une expérimentation système autonome et diversifiée pour l'alimentation humaine

Le projet PAPILLE, initié en 2016 au sein de l'initiative TEASER-LAB (Coquil et al., 2019), est une expérimentation système conçue à l'échelle ferme entière sur l'installation expérimentale INRAE-ASTER (Mirecourt, Vosges, France). Conduite selon une démarche « pas à pas » (Coquil et al., 2011, 2014) et visant à capitaliser les apprentissages et à s'adapter aux aléas rencontrés en cours d'expérimentation (techniques, climatiques...), ce projet vise une **priorisation directe de l'usage des sols agricoles pour l'alimentation humaine** (240 ha de surface agricole utile, composée de 135 ha de prairies permanentes et 105 ha de terres arables - dont environ 35 ha de prairies temporaires). PAPILLE s'appuie sur une diversification forte des productions végétales (une vingtaine d'espèces en cultures annuelles à destination exclusive de l'alimentation humaine sur environ 70 ha) et animales (129 UGB bovin lait, 13.5 UGB ovins allaitants, 2 UGB porcs en engraissement en moyenne sur la période 2016-2021). En conséquence, les ruminants sont conduits en herbivorie stricte (environ 250 j de pâturage par an pour les bovins, plein air intégral pour les ovins) et les porcs sont engraisés au pâturage (luzerne-graminées) à partir des seules productions non commercialisables produites sur le système (issues de tri des cultures annuelles, lait colostral, légumes non consommables) et commercialisés auprès d'une boucherie traditionnelle de l'Ouest Vosgien. Les génisses de renouvellement, pour partie en race pure Holstein/Montbéliardes et pour partie croisées (Brunet et al., 2020) sont élevées sous vaches nourrices sans concentré dans un objectif d'un premier vêlage à 24 mois (Puech et Brunet, 2022). Les vaches laitières sont conduites exclusivement en monotraite en vue notamment de libérer du temps pour les activités de diversification (Coquil et al., 2019).

Dans la continuité de deux systèmes autonomes et économes expérimentés entre 2004 et 2015 (Coquil et al., 2014), le système PAPILLE est fondé sur une logique d'autonomie : (i) aucun achat ou vente de fourrages ni de matières fertilisantes sur la période étudiée, (ii) pas de drainage supplémentaire par rapport à la situation ante 2004, (iii) absence d'irrigation. Le système reste toutefois dépendant d'achats en matière d'énergie (carburant, électricité), de renouvellement génétique (animaux reproducteurs et taureaux d'insémination artificielle, semences des productions végétales bien que pour partie en semences fermières, porcelets à engraisser). L'inscription dans le cahier des charges de l'agriculture biologique constitue un cadrage réglementaire depuis 2004 dans la perspective de l'autonomie. Depuis 2019, la conservation des fourrages se fait exclusivement sous forme sèche (séchage intégral au soleil, sans séchage ou ventilation post-récolte) dans le cadre du cahier des charges « Lait de foin ».

2.2 Outils et Méthodes pour illustrer la construction et les conséquences de l'autonomie.

Cet article ne vise pas à documenter l'exhaustivité des pratiques mises en place pour construire l'autonomie du système PAPILLE et leurs conséquences, mais à illustrer les principaux points saillants par des exemples principalement pris au sein des productions animales. L'expérimentation système est documentée par des systèmes d'information spécifiques (Trommschläger et al., 2010) permettant le suivi des conduites (conduite de pâturage, itinéraires techniques sur cultures annuelles, prairies temporaires et permanentes, alimentation des animaux – nature, origine et quantité) et des performances techniques (rendements des productions végétales, croissance des animaux, caractéristiques des carcasses, production laitière...). Ces systèmes d'information seront mobilisés dans cet article pour illustrer la construction et les conséquences de l'autonomie sur le système expérimenté, à savoir :

- Les principales caractéristiques de l'autonomie, en particulier l'autonomie azotée à partir de la méthode proposée par Puech et Stark (2023), pour caractériser le bouclage des cycles et le rôle des processus naturels (fixation symbiotique, dépôts atmosphériques) dans l'autonomie du système sur la période 2016 - 2021 (via sa dimension « azote », considérée comme un des principaux facteurs limitants des systèmes biologiques – Barbieri et al., 2021).
- Les logiques de priorisation de l'usage des fourrages, à partir du suivi des stocks fourragers et des conduites d'alimentation des animaux.

- L'hétérogénéité des performances de production animales, qui sera illustrée principalement à partir de la production laitière et d'agneaux de boucherie. Sur ce dernier point, la variabilité des performances de production sera analysée sous forme d'une typologie des performances productives des agneaux (âge à l'abattage, poids de naissance/à l'abattage/carcasse, rendement carcasse et croissance moyenne) via une Analyse en Composantes Principales (package R FactomineR - Lê et al., 2008) et une classification ascendante hiérarchique (Ward, 1963).

3. Construction de l'autonomie

L'objectif de ce paragraphe est de montrer que l'autonomie, et en particulier l'autonomie azotée, s'appuie exclusivement sur des complémentarités cultures / élevages et des processus biologiques. Du point de vue des pratiques, nous montrons que le système est particulièrement dépendant des conditions de milieu pour son processus de production. Par conséquent, l'adaptation des besoins aux ressources disponibles est le principal levier dans la conduite de l'autonomie, nécessitant de prioriser l'usage des ressources.

3.1 Le bouclage des cycles et les processus biologiques comme principaux moteurs de l'autonomie azotée

Du fait de la priorisation d'un usage direct des sols agricoles pour l'alimentation humaine (cultures annuelles exclusivement destinées à l'alimentation humaine), **les animaux ont un rôle essentiel dans l'autonomie azotée du système par une activité de recyclage des nutriments** (en plus de leur dimension productive). Nous montrons sur la période 2016-2021 que 74% de l'activité du système (i.e. de l'ensemble des flux d'azote circulants au sein du système) correspond à des flux d'intégration cultures-élevages (productions fourragères pâturées ou récoltées, restitutions de matières organiques au pâturage ou épandage d'effluents). Les productions animales permettent en particulier de valoriser des ressources non commercialisables en alimentation humaine, et par voie de conséquence, une redistribution (pour partie) des éléments fertilisants au sein du système via les effluents d'élevage (fertilisation de certaines cultures annuelles type avoine de floconnerie, prairies fauchées ou prairies temporaires en dernière année avant remise en culture annuelle).

Les légumineuses assurent la majeure partie des intrants azotés. En effet, 71.2 % des intrants azotés du système sont issus de la fixation d'azote symbiotique par les légumineuses (soit en moyenne 38.4 kgN/ha/an, à 93% assuré par les légumineuses fourragères - luzernes et trèfles sur prairies temporaires et/ou permanentes). Les dépôts atmosphériques représentent 28.5 % des intrants sur le système (soit 15.4 kgN/ha/an). Les achats d'animaux (troupe ovine initiale introduite en 2017, porcelets, reproducteurs ovins et bovins) représentent une part marginale (0.3 %) des importations d'azote. A noter que les prairies temporaires (environ 35 ha sur la période d'étude) occupent une place pivot dans le système : elles assurent à elles seules 38.5 % des intrants azotés du système via la fixation symbiotique et jouent un rôle essentiel dans la régulation des flores adventices et de la fertilité du sol des terres labourables par les entrées de matières organiques.

3.2 Gérer des stocks pour équilibrer les besoins aux potentialités du milieu

Dans le paragraphe précédent, nous mettons en évidence que les activités d'élevage et les productions végétales associées (prairies temporaires et permanentes) représentent une part dominante de l'activité azotée totale du système. Du fait des principaux choix de conduite du système et en particulier de sa stricte autonomie fourragère, l'autonomie du système s'appuie principalement sur la production primaire (i.e. issue de l'activité photosynthétique), laquelle est dépendante des conditions météorologiques.

3.2.1 Les stocks fourragers permettent de tamponner les conditions de milieu

Si chaque année présente des singularités météorologiques, les années 2016 et 2021 se distinguent par des été humides, caractérisées par de faibles déficits hydriques ($P-ETP^1 > -100$ mm sur la période avril - septembre). Inversement, les années 2017 à 2020 se caractérisent par des étés secs et des déficits hydriques marqués (-298 à -411 mm sur la même période). La figure 1 montre une production primaire valorisée supérieure à 1 000 tMS en année à faible déficit hydrique (1 090 tMS en 2016, 1 032 tMS en 2021) alors qu'elle est inférieure à 811 tMS sur les 4 années sèches. Nous observons que les niveaux de production des prairies (temporaires et permanentes) sont négativement corrélés aux conditions de milieu sur la période avril - septembre).

¹ Le déficit hydrique est caractérisé par la différence $P-ETP$ entre les précipitations (P) et l'évapotranspiration potentielle (ETP). Une valeur négative (resp. positive) signifie que l'évapotranspiration potentielle est supérieure (resp. inférieure) aux précipitations : on parle alors de déficit hydrique (resp. excédent hydrique).

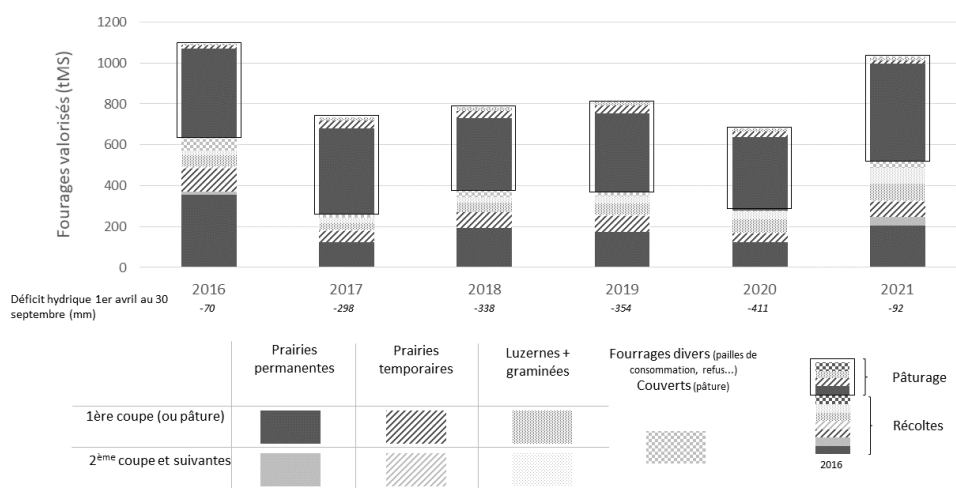


FIGURE 1 : Evolution de la production fourragère valorisée entre 2016 et 2021

En revanche, les spécificités biologiques des bovins (du fait notamment d'un premier vêlage au mieux à 24 mois), ou des rotations culturales (délais de retour des prairies temporaires de 3 à 9 ans) permettent difficilement d'ajuster production (par les prairies temporaires) et consommation fourragère (par les bovins) à un pas de temps annuel face aux conditions de milieu, de part une inertie pluriannuelle de leurs productions. Cette inertie est plus faible pour les espèces animales à cycle court comme les ovins et les porcins (mais ils ne représentent que 10% des UGB sur la période étudiée). Par conséquent, **la constitution de stocks fourragers** (sur pied ou sous forme de fourrages secs) **représente le principal levier d'ajustement pour tamponner l'impact des conditions de milieu sur l'autonomie du système**. La figure 2 montre l'évolution des stocks fourragers en entrée d'hiver entre 2016 et 2021 : cette dernière connaît une constante diminution au cours de la période (Fig. 2a). Cette diminution est une conséquence directe (i) des faibles récoltes de fourrages des années 2017 à 2020 et (ii) des forts besoins en complémentation estivale sur cette même période nécessitant de prélever dans les stocks prévus pour l'hiver (87 à 117 tMS selon les années, soit 23 à 27 % des besoins en fourrages secs totaux annuels – Fig. 2b.).

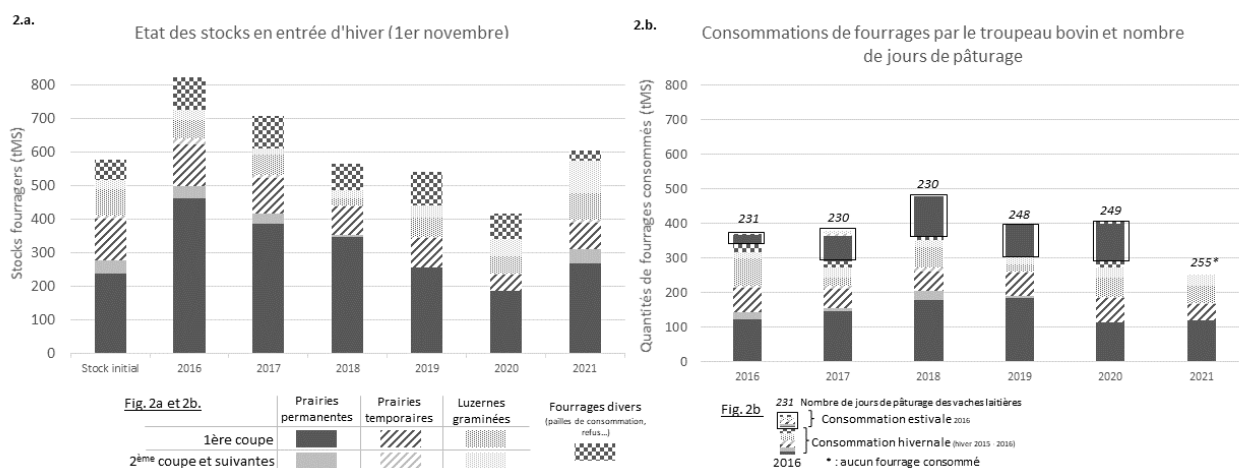


FIGURE 2 : Evolution des stocks fourragers en entrée d'hiver (2.a) et consommation de fourrages par le troupeau bovin (2.b)

3.2.2 Un nécessaire ajustement des effectifs animaux aux conditions de milieu et fourrages disponibles

Si la constitution de stocks fourragers représente le principal levier d'adaptation aux variabilités des conditions de milieu, l'adaptation des effectifs des cheptels représente le second niveau d'ajustement aux ressources disponibles et leurs variabilités.

Ainsi, malgré l'introduction des ovins et des porcs, le passage au projet PAPILLE en 2016 s'est traduit par une réduction importante des effectifs d'animaux élevés sur le système (170.7 UGB sur la période 2011-2015 vs 145.2 UGB sur la période 2016-2021) notamment grâce à l'avancée de l'âge au vêlage chez les bovins (Puech, Brunet, 2022). Dans le même temps, les surfaces fourragères ont également diminué (suppression des cultures annuelles fourragères), la SFP passant de 215.5 ha à 166 ha, se traduisant par un chargement moyen un peu plus élevé dans le projet PAPILLE (0.88 UGB/ha) par rapport à celui des systèmes précédemment expérimentés

(0.79 UGB/ha). Toutefois, nous observons que ce chargement est plus faible en 2020-2021 (resp. 0.81 et 0.75 UGB/ha SFP) par rapport à la période 2016-2019 (0.93 UGB/ha SFP en moyenne). Cela est lié en particulier à une diminution des effectifs bovins suite à de mauvais résultats de reproduction des vaches laitières sur les campagnes 2018 et 2019 (34 % de taux de gestation contre 61 % les autres années - Puech et al., 2022) et un sexe ratio peu favorable en 2019 (33 % de femelles). Sans cette diminution « subie » d'effectifs en 2020 ou si l'année 2021 avait été déficitaire en production fourragère dans la suite des années précédentes, une diminution significative du troupeau bovin aurait été nécessaire pour maintenir l'autonomie du système. Par conséquent, le choix de l'autonomie fourragère implique pour les travailleurs d'accepter une variation des effectifs animaux, l'objectif n'étant pas de saturer un outil de production (définis par une capacité des bâtiments d'élevage ou d'un robot de traite en système laitier par exemple) mais de s'adapter aux ressources disponibles.

Concernant le troupeau ovin, nous observons qu'avec un **chargement d'au plus 1 tête/ha de prairie permanente** (entre 115 [hiver 2018-2019] et 138 [hiver 2020-2021] brebis/agnelles/béliers pour 135 ha de prairies permanentes), **celui-ci a pu être conduit en plein air intégral sans complémentation fourragère au pâturage, y compris en période hivernale.**

Enfin, du point de vue de la troupe porcine, l'alimentation est fondée sur la seule utilisation des issues de tri des cultures annuelles (aucune culture fourragère dédiée), associée à du pâturage et sans aucun achat d'aliment (concentrés ou additifs type correcteurs de lysine). **Les effectifs de porcs engraisés sont donc déterminés à partir des seules issues de tris de la moisson précédente** (uniquement les produits peu périssables i.e. petits grains de blé, d'orge, brisures de lentilles). En moyenne 23 porcs ont été engraisés par an sur le système entre 2017 et 2022, avec toutefois une variabilité relativement forte entre les années. 38 porcs ont été engraisés en 2019, aucun n'a été engraisé en 2022 compte tenu d'une récolte 2021 de bonne qualité avec peu d'issues de tri (qui aurait permis d'engraisier 11 porcs mais dont le choix a été de reporter ce nombre sur la bande 2023 pour des raisons de charge de travail au vue du faible effectif).

3.3 Prioriser l'usage des ressources

Si la constitution/mobilisation de stocks fourragers ou l'adaptation des effectifs animaux aux ressources disponibles sont les principaux leviers d'adaptation du système, la dépendance marquée aux conditions de milieu nécessite par ailleurs de prioriser l'usage des ressources fourragères compte tenu (i) du choix de l'herbivorie stricte des ruminants et (ii) de l'absence d'achats de fourrages. Sur ce dernier point, les années 2017 à 2020 ont par exemple été marquées par l'absence de récolte de regains sur prairies permanentes et temporaires : du fait des conditions météorologiques estivales, les faibles quantités de repousses ont été valorisées par les animaux directement au pâturage.

Par conséquent, bovins et ovins sont conduits en complémentarité. Les brebis suitées sont conduites en pâturage simultané avec les vaches laitières au printemps du fait des forts besoins physiologiques des animaux en lactation (Puech, Brunet, 2020). En été, suite au sevrage, les agneaux sont engraisés sur des repousses de prairies temporaires, alors que les brebis taries valorisent des couverts à faible valeur alimentaire (prairies séchantes non accessibles aux vaches laitières ou refus de pâture). Sur la période d'étude, ces logiques de conduites ont permis de ne pas compléter les ovins, y compris en situation de sécheresse estivale. En revanche, la baisse de la ressource fourragère disponible au pâturage en été peut nécessiter une complémentation des bovins (Figure 3). **Le cadre de l'autonomie nécessite alors de prioriser les fourrages mis à disposition des animaux en complément de l'herbe pâturée** : les fourrages de meilleure qualité sont apportés préférentiellement aux vaches laitières. La récolte des résidus de certaines céréales à faible valeur alimentaire (avoines et orges, pour parties associées à des luzernes semées sous couvert au printemps) permet de compléter la ration des animaux à moindre besoins (vaches taries). Les périodes et les quantités de fourrages distribués au pâturage varient selon les années climatiques (par ex, aucun foin distribué aux vaches laitières au pâturage en 2021 [05/05-16/11], 2/3 de la ration apportée sous forme de foin aux vaches laitières en été-automne 2018 [25/07-26/11]). En période hivernale, **les foin à plus forte valeur alimentaire sont distribués en priorité aux animaux à forts besoins physiologiques, dans la mesure de leur disponibilité** (Figure 3). En particulier, les foin de meilleure qualité sont apportés à volonté en début d'hiver pour maintenir la production laitière à la rentrée en bâtiments (monotrait, herbivorie stricte). Ils sont complétés par des regains (luzerne-graminées, prairies temporaires) en quantité limitée dans la mesure de leur disponibilité.

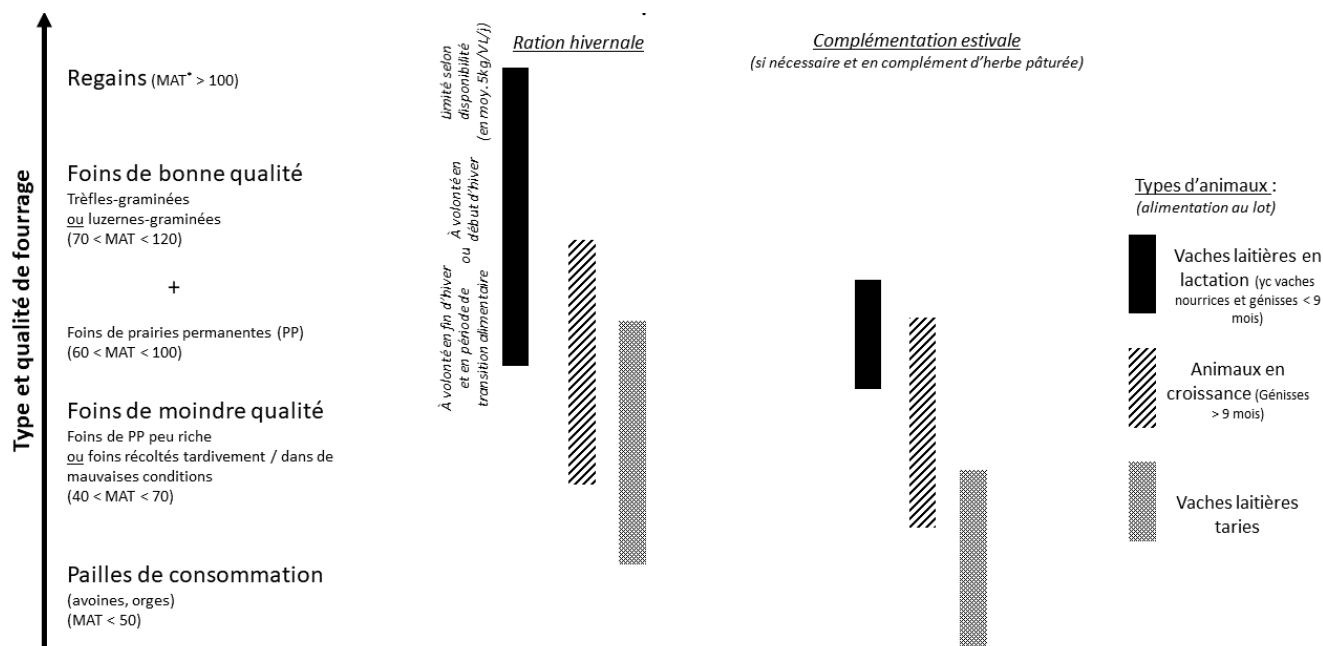


FIGURE 3 : Logiques de priorisation de l'affectation des fourrages secs pour les bovins selon le stade physiologique et la période de l'année

De la même façon, on observe une hétérogénéité dans l'alimentation des porcs liée à la disponibilité des ressources alimentaires, entraînant par conséquent une priorisation dans leur usage (pour plus de détails, voir Puech et al., 2021; Py, 2021).

4. Les conséquences multi-niveaux de l'autonomie

La dépendance du système aux conditions de milieu et les choix techniques qui en résultent, en particulier en termes de priorisation de l'usage des ressources, entraînent des performances biotechniques hétérogènes. Cette hétérogénéité implique des choix spécifiques en termes de valorisation et impacte directement d'autres acteurs des territoires.

4.1 Des performances zootechniques hétérogènes

L'analyse des performances des agneaux de boucherie (Figure 4) montre l'existence d'une diversité de profils biotechniques, caractérisés par des niveaux de croissance, poids carcasse et durées de présence différents. Nous observons une hétérogénéité dans la distribution des profils au cours des 5 années d'étude (Figure 4). **Cette hétérogénéité s'exprime conjointement au sein d'une même année** (plusieurs profils co-dominants, aucun profil représentant plus de 50 % des effectifs une année donnée) **et entre les années** (la distribution des profils diffère selon les années). Nous observons par exemple que les profils 2 et 3 représentent 70 % des effectifs en 2021 et sont caractérisés par des croissances plus faibles et des durées de présence plus longues que les autres profils, par ailleurs plus fréquents les autres années. En effet, si les conditions climatiques de l'été 2021 ont été favorables à la pousse de l'herbe (excédent hydrique de +70 mm entre le 20 juin et le 10 août), la pression parasitaire sur agneaux a pénalisé les croissances et a nécessité un recours plus élevé à des traitements allopathiques² (-12 % sur le GMQ vie des agneaux 2021 par rapport à la moyenne 2017-2021).

Ces résultats témoignent par ailleurs des apprentissages par les expérimentateurs en particulier vis-à-vis du poids de vente des agneaux au regard des attentes des filières (les agneaux à profil 5 sont déclassés par la filière compte tenu d'un poids carcasse supérieur à 20kg, ils sont présents principalement les deux premières années).

² 1.6 traitements allopathiques antiparasitaire par agneau en moyenne sur la campagne 2021 (contre 0.7 en 2018, 0 en 2019, 0.2 en 2020).

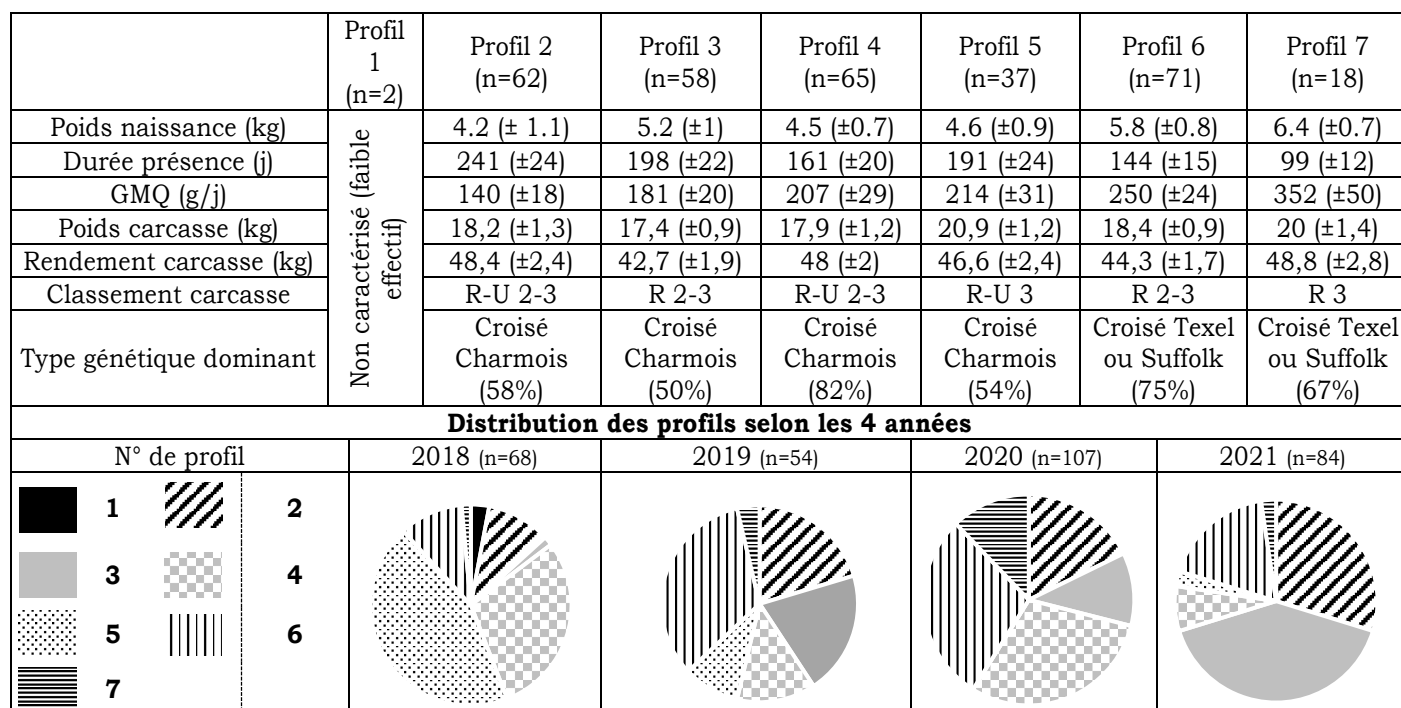


FIGURE 4 : Distribution des performances biotechniques des agneaux de boucherie (adapté de Febvre, 2022).

Des résultats similaires ont été montrés quant à l'hétérogénéité des performances zootechniques des porcs à l'engraissement en plein air (Puech et al., 2021; Py, 2021) ou des performances de croissance et de reproduction des génisses sous vaches nourrices (Puech et Brunet, 2022). Sur ce dernier point, les auteurs ont montré que les performances de ce mode d'élevage des génisses, bien que permettant des croissances plus élevées et plus régulières qu'en élevage classique au Distributeur d'Aliment Lacté, se dégradent en situation de forte complémentation des animaux sur la période 6-9 mois (chutes de croissance lors de la sécheresse estivale en 2018 avec près de 80 % de complémentation). Les auteurs montrent toutefois une certaine stabilité des performances en régime intermédiaire de complémentation estivale (croissances avec 50-60% de complémentation en peu différentes comparativement à une situation de faible complémentation).

En matière de production laitière, le choix des vêlages groupés de fin d'hiver pour favoriser la production de lait à l'herbe entraîne également une saisonnalité de la production laitière commercialisée (i.e. la production totale, déduction faite du lait destiné à l'alimentation des veaux en attente d'adoption, aux porcs [lait colostrale excédentaire ou à comptage cellulaire élevé] ou jeté pour des raisons sanitaires [soins antibiotiques] – Figure 5), avec un maximum en mai (33 kl) et un minimum en février (11 kl). Le léger rebond observé à l'automne s'explique pour partie par la campagne de vêlages de rattrapage (notamment en 2017) et pour partie par la présence de repousses d'herbe au pâturage. Conjointement à cette variation saisonnière, on observe une variation interannuelle de la production laitière pouvant atteindre 15% de la production annuelle moyenne (229 kl en 2022, 269 kl en 2021) au gré des effectifs de vaches laitières présentes (dépendant pour partie des performances de reproduction, des niveaux de réforme et du nombre de vaches nourrices) et leur production individuelle (dépendante de la qualité des fourrages disponibles - pâturés ou distribués – et de leur persistance laitière en monotraite). Ainsi, à l'instar de la croissance des génisses sous nourrices, on observe que la production laitière automnale en 2018 (en moyenne inférieure à 61l/j/vl, proche du seuil de tarissement) est nettement en deçà de celle des autres années (8 à 91l/VL/j), en raison notamment d'une forte complémentation au pâturage (au-delà de 75 % de la ration). Du point de vue qualitatif, la conduite en monotraite entraîne des taux de matière utile élevés (resp. 46.6 g/kg de taux butyreux, 35.8 g/kg de taux protéique), avec (i) une augmentation tendancielle (45.2 g/kg TB et 35.4 g/kg TP en moyenne annuelle 2016 à 48.8 g/kg TB et 36.1 g/kg TP en 2022) liée notamment à l'introduction progressif de croisements laitiers et (ii) une variation interannuelle compte tenu des conditions d'élevage et périodes de vêlage (resp. -2.2g/kg TB et -1.6g/kg TP au printemps et + 3.1 g/kg TB et +2.3 g/kg TP à l'automne par rapport aux moyennes annuelles).

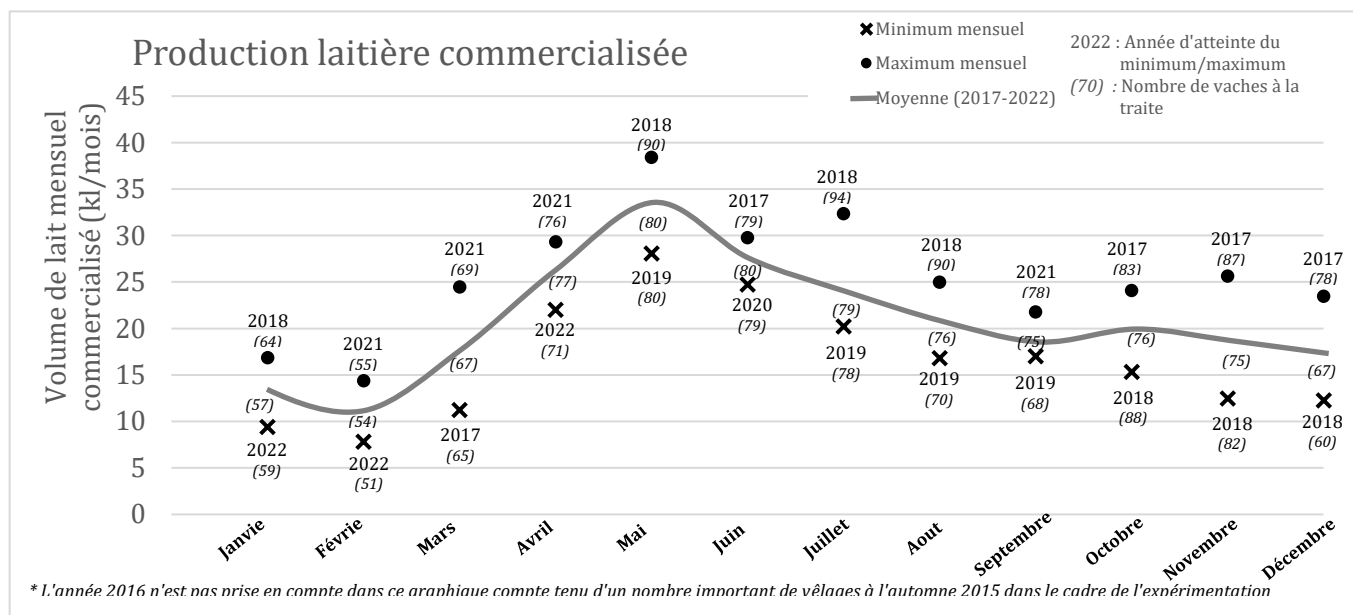


FIGURE 5 : Répartition de la production laitière commercialisée et sa variabilité interannuelle.

Concernant les performances économiques, si Puech et Durpoix (2021) apportent sous certaines hypothèses (dont l'absence de valeur marchande des aliments utilisés pour l'alimentation des animaux) quelques éléments sur la rémunération partielle du travail permise par cet atelier, des investigations complémentaires sont à mener pour rendre compte des performances économiques à l'échelle du système et de leurs dynamiques sur le temps long, en particulier au regard de la variabilité des performances zootechniques.

4.2 Les implications de l'autonomie pour les acteurs des systèmes agri-alimentaires

Le choix de l'autonomie dans la conception du projet PAPILLE, entraîne une dépendance du système et de ses performances aux conditions de milieu bien que des leviers permettent d'en tamponner les effets sur un pas de temps pluriannuel. Si l'hétérogénéité des performances s'exprime sur les caractéristiques biotechniques (croissances, durées de présences, qualités de carcasses, volumes de lait produits...), elle s'exprime également sur le calendrier d'élevage. En effet, près de 80 % des porcs sont abattus sur la période août-janvier et 90 % des agneaux de boucherie sont commercialisés sur la période août-décembre. Cet étalement du calendrier de finition des animaux implique un départ régulier vers des structures de première transformation (abattoirs), généralement par lots d'au plus une dizaine d'agneaux ou 4 porcs par semaine. La présence de ces structures à proximité de la ferme (abattoir ruminants à 8 kilomètres et abattoir multi-espèces dont porcs à une trentaine de kilomètres) représente un facteur facilitant le développement de ces initiatives de diversification dans des régions peu spécialisées dans ces productions. L'étalement du calendrier de finition de ces animaux est compatible avec les filières dans lesquelles les carcasses sont valorisées : (i) la période automnale est une période creuse dans un marché de viande d'agneau très saisonnalisé en termes de demande au printemps (gigot, épaule) ou en été (côtes - FranceAgriMer, 2019); (ii) les besoins et capacités de transformation / commercialisation de la boucherie traditionnelle valorisant les porcs sont d'au plus 3 à 4 porcs par semaine.

Toutefois, les conséquences de l'autonomie sur le système PAPILLE questionnent les complémentarités internes au système et avec d'autres systèmes d'élevage. Si par exemple la production de porcs ne permet d'approvisionner la boucherie (dont les besoins annuels s'élèvent à 150-200 porcs) qu'une partie de l'année, la variabilité du nombre de porcs engraisés par an nécessite une anticipation et une coordination des actions entre différents acteurs du territoire (boucherie, éleveurs porcs), notamment en termes de complémentarité des calendriers d'élevages. En matière de complémentarités internes et pour une exploitation commerciale, le transfert d'une telle pratique (jusqu'aux années sans troupe engraisée) interroge l'enjeu central de fidélisation (partenaires économiques, clients), sachant que pour le circuit court associé « la proximité relationnelle compense le déficit de proximité institutionnelle » des circuits plus classiques de distribution (Chevalier et al., 2014). Les enjeux de variabilité et donc de complémentarité entre systèmes d'élevage s'expriment également pour la filière agneaux de boucherie entre (i) les systèmes d'engraissement plein air (dont les agneaux sont commercialisés entre la fin d'été et le début d'hiver), (ii) les systèmes en bergerie Lorrains – conduits à contre-saison – dont les premiers agneaux sont mis en marché en début d'hiver (Février, 2022), voire (iii) les carcasses importées au printemps pour répondre à la saisonnalité de la demande du marché européen.

Cependant, si la création d'activités de diversification comme l'engraissement de porcs plein air peuvent contribuer à l'émergence d'autres formes de diversification à l'échelle territoriale (par exemple création d'une activité de naissage de porcs biologiques en complément d'une activité traditionnelle en Lorraine de polyculture-élevage bovin lait), l'irrégularité de la demande en porcelets en système autonome (liée aux variations de conditions de milieu) pourrait tout autant s'avérer être un frein au développement et à la structuration de ces mêmes activités de diversification dans la mesure où elles ne représentent pas de débouché régulier pour les élevages naisseurs.

D'une manière similaire, les choix de conduite sur l'atelier lait (pic de production printanière) contribue à l'excédent de production à l'échelle des filières laitières (notamment biologiques) sur cette période. D'autres stratégies de conduite en vêlage automnal (promu par les filières via une saisonnalité des tarifs d'achat du lait) permettent, pour partie, de compenser la forte saisonnalité de la production laitière de ce type de système à l'échelle des territoires et des filières. Pour autant, le lait produit dans le système PAPILLE présente des atouts majeurs du point de vue de la transformation fromagère (particulièrement en lait cru), avec des rendements fromagers de laboratoire supérieurs à 67% (exprimés en extrait sec – du fait notamment des taux de matière utile élevés) et des faibles taux de spores de bactéries butyriques (93% des analyses inférieures à 300 spores/g, n=216 ; ces bactéries étant responsables de « gonflement tardif » et flaveurs indésirables des fromages - Beuvier et al., 2014). Des initiatives de diversification par une transformation à la ferme ou en petites unités collectives, portées par des éleveurs (Flipo, 2019), se développent sur le territoire pour valoriser ces laits en transformation fromagère (type Emmental ou autres fromages à pâte pressée cuite). Si ces initiatives entraînent une transformation du travail (Serviere et al., 2019), elles visent à créer de la valeur ajoutée en ferme et valoriser la spécificité et la singularité de ces systèmes en terroirs de plaine, dont le lait est généralement standardisé et banalisé dans le cadre d'échanges entre intermédiaires de collecte et de transformation (De La Haye Saint Hilaire et al., 2022), voire déclassé compte tenu des difficultés actuelles du secteur laitier biologique.

4.3 Les questions adressées par l'autonomie

La dimension spatiale de l'autonomie a fait l'objet de nombreux travaux, depuis des échelles locales (Moraine et al., 2017) jusqu'à des échelles internationales (Billen et al., 2014; Gameiro et al., 2019; Le Noë et al., 2016). Plus globalement, les questions d'autonomie alimentaires ont fait l'objet d'un certain nombre de travaux, notamment en termes de complémentarités commerciales entre circuits courts et circuits longs, particulièrement concernant les productions légumières du fait du caractère très saisonnalisé de ces productions (surproduction en AMAP en période estivale, achat-revente pour compléter une gamme locale en produits de contre-saison - Aubry et Chiffolleau, 2009; Samak, 2013). En productions animales, la question de la saisonnalité a été posée principalement en production laitière (Champouillon et al., 2004; Napoléone, 2001) alors qu'en production de viande, les enjeux majeurs au niveau des filières se posent en termes d'équilibre carcasse, particulièrement en production porcine (Faure et al., 2021; Richard et al., 2008).

Nous montrons dans cet article à partir de la singularité d'une expérimentation système que le choix de l'autonomie fourragère implique, entre autres, une saisonnalité forte des productions. **A cette saisonnalité liée aux conditions de milieu s'ajoute celle de la demande et du consentement des consommateurs à adapter leurs pratiques alimentaires à la saisonnalité des productions**, et qui par conséquent interroge dans une certaine mesure la « fabrication » de cette saisonnalité par certaines filières de commodité structurées autour de denrées standardisées (Bernard de Raymond et al., 2013; De La Haye Saint Hilaire et al., 2022). Alors que l'autonomie basée sur les ressources du milieu induit nécessairement une saisonnalité qualitative (Carbone, 2017), toutes les productions ne présentent pas le même potentiel d'acceptabilité. **La saisonnalité du pâturage des animaux constitue un critère de construction de la qualité voire de marketing établi et reconnu pour certaines appellations fromagères sous cahier des charges** (Salers, Beaufort ou Comté par exemple). **Concernant d'autres produits de l'élevage plus ordinaires cela reste un enjeu fort pour les filières** qui se structureraient à travers une coexistence de Systèmes Alimentaires Territorialisés (Soulard, 2020), de Systèmes Alimentaires du Milieu et des circuits longs plus conventionnels (Brives et al., 2017). L'interprofession apparaît comme l'acteur pouvant s'en saisir (comme en Lorraine avec le cahier des charges *Agneau Viande du Terroir Lorrain*), afin de co-construire avec les éleveurs les arbitrages entre segments commerciaux en cas de faible ou forte disponibilité des productions (Bouroullec, 2020). Il en va d'un enjeu croisé de l'autonomie (i) tant en quantité qu'en qualité (ii) à tous les niveaux des filières d'élevage, au cœur de plusieurs controverses (Delanoue et al., 2015; Peyraud et al., 2020).

Les productions animales sont régulièrement interpellées lors de débats de société (Delanoue, 2018) : bien-être animal (Despret et Porcher, 2002), impacts environnementaux (Gerber et al., 2013), concurrences d'usage des sols alimentation humaine/animale (en particulier dans le contexte de tensions géopolitiques actuel), place des produits animaux dans les régimes alimentaires (Barbier et al., 2022; Couturier et al., 2016). Les systèmes d'élevage herbagers (Garambois, 2011) ou sous cahier des charges (agriculture biologique) sont régulièrement promus comme des pistes à soutenir (Aubron, 2021). Certaines politiques publiques françaises (en particulier les lois Egalim 1 et 2) définissent comme objectif réglementaire l'approvisionnement de la restauration collective

en produits sous signe de qualité (en particulier les produits certifiés en agriculture biologique) ou de saison (Darly, 2013; Gatien-Tournat et al., 2016), autant qu'un enjeu d'adéquation entre offre et demande (Aubry et Chiffolleau, 2009). Or, certains cahiers des charges présentent une certaine ambiguïté sur les relations à la saisonnalité, tant en productions animales qu'en productions végétales (par exemple débat sur le chauffage des serres en agriculture biologique - Renou, 2021). Dès lors, dans la mesure où ces politiques publiques sont attendues comme un fort levier de développement des systèmes d'élevage en transition agroécologiques (Duru et al., 2021), certains travaux interrogent le lien entre nature des productions à promouvoir via ces politiques publiques (Poinsot et al., 2022), en particulier la nature des productions animales (ruminants / monogastriques) et des pratiques d'élevage (et leurs controverses) qui y sont associées. **La place des productions issues de systèmes de ruminants pâturants, pourvoyeurs de services écosystémiques (paysages, biodiversité...) par les espaces qu'ils valorisent et peu concurrentiels de l'alimentation humaine dans l'usage des sols agricoles, questionne ces politiques publiques mais également les pratiques et l'acceptation de la saisonnalité de ces productions par les éleveurs, l'ensemble des acteurs intermédiaires des filières, des cuisiniers, des gestionnaires et in fine, des mangeurs** (Martin et al., 2022).

5. Conclusion

Dans cet article, nous montrons que l'autonomie azotée du système expérimental PAPILLE (installation expérimentale INRAE de l'unité ASTER à Mirecourt, Vosges), s'appuie principalement sur l'intégration cultures-élevages et des processus naturels (fixation symbiotique, dépôts atmosphériques). Nous montrons que la gestion de stocks (fourrages, animaux) est le principal levier d'adaptation du système au regard des potentialités de son milieu et de leurs dynamiques. Cela implique d'une part des chargements faibles (0.8-0.9 UGB/ha SFP) mais aussi la constitution de stocks fourragers pour tamponner l'impact des conditions de milieu (notamment compte tenu de l'inertie pluriannuelle de certaines composantes productives - bovins, rotations culturales). Le choix de l'autonomie implique une hétérogénéité inter et intra-annuelle des performances biotechniques (croissance, qualités de carcasse) et une saisonnalité marquée des productions, du fait notamment de productions basées sur le pâturage. Par conséquent, si cette hétérogénéité doit être en cohérence avec les filières dans lesquelles le système s'inscrit, cela interroge les conséquences du choix de l'autonomie, pris à l'échelle de la ferme, sur les autres acteurs des systèmes agri-alimentaires, tant en amont qu'en aval de l'agrosystème via des mécanismes de transfert de dépendance aux conditions de milieu. Plus globalement, ce travail questionne d'une part les complémentarités entre différents modèles agricoles pour répondre à une demande alimentaire et d'autre part la capacité d'évolution de cette même demande (saisonnalité) et le rôle moteur de certaines politiques publiques.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier (i) l'ensemble du collectif technique de l'installation expérimentale ASTER pour la qualité des données collectées et leur engagement quotidien dans la conduite du projet PAPILLE, (en particulier Rémi LAVE pour les données concernant l'utilisation des ressources fourragères), (ii) Valentin PY et Aude FEBVRE pour leur travail de stage ayant contribué à cet article. Les auteurs remercient également les deux relecteurs pour la qualité de leurs remarques et leurs suggestions sur une version antérieure de cet article, Florence HELLEC (UMR CESAER) pour son aide bibliographique, ainsi qu'Eric BEUVIER et Odile ROLET-REPECAUD (URTAL) pour les analyses d'aptitude fromagère des laits du système PAPILLE.

Références Bibliographiques

- ALTIERI M. A., FUNES-MONZOTE F. R., PETERSEN P. (2012) "Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty", *Agronomy for Sustainable Development*, Vol.32, N°1, 1-13.
- AUBRON C. (2021) "Penser l'élevage à l'heure de l'anthropocene", *La vie des idées*.
- AUBRY C., CHIFFOLEAU Y. (2009) "Le développement des circuits courts et l'agriculture péri-urbaine : histoire, évolution en cours et questions actuelles", *Innovations Agronomiques*, Vol.5, 53-67.
- BARBIER C., COUTURIER C., DUMAS P., KESSE-GUYOT E., BAUDRY J., PHARABOD I., ET AL. (2022) "Prospective du système alimentaire et de son empreinte énergétique et carbone - Cinq visions de l'alimentation en France vers la neutralité carbone en 2050. "
- BARBIERI P., PELLERIN S., SEUFERT V., SMITH L., RAMANKUTTY N., NESME T. (2021) "Global option space for organic agriculture is delimited by nitrogen availability", *Nature Food*, Vol.2, N°5, 363-372.
- BERNARD DE RAYMOND A., BONNAUD L., PLESSZ M. (2013) "Introduction : les fruits et légumes dans tous leurs états. La variabilité, la périssabilité et la saisonnalité au cœur des pratiques sociales", *Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement*, Vol.1, 3-12.
- BEUVIER E., GAGNAIRE V., GAUCHERON F. (2014) « Les liens entre les procédés technologiques de transformation du lait et les composés l'intérêt nutritionnel du fromage », 61-74 in : *Composés d'intérêt nutritionnel du lait et des fromages de terroir* (Coord. Sibra C.), France
- BILLEN G., LASSALETTA L., GARNIER J. (2014) "A biogeochemical view of the global agro-food system: Nitrogen flows associated with protein production, consumption and trade", *Global Food Security*, Vol.3, N°3-4, 209-219.

- BILLEN G., AGUILERA E., EINARSSON R., GARNIER J., GINRICH S., GRIZZETTI B., LASSALETTA L., LE NOE J., SANZ-COBENA A. (2021) "Reshaping the European agro-food system and closing its nitrogen cycle: The potential of combining dietary change, agroecology, and circularity", *One Earth*, Vol.4, 839-850
- BONAUDO T., BENDAHAN A. B., SABATIER R., RYSCHAWY J., BELLON S., LEGER F., ET AL. (2014) "Agroecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems", *European Journal of Agronomy*, Vol.57, 43-51.
- BOUROULLEC M. D. M. (2020) "Les différentes gouvernances des circuits courts alimentaires de vente en ligne collective", *Économie rurale*, N°371, 59-75.
- BRIVES H., CHAZOULE C., FLEURY P., VANDENBROUCKE P. (2017) "La notion d'« agriculture du milieu » est-elle opérante pour l'analyse de l'agriculture de Rhône-Alpes ?", *Économie rurale*, N°357-358, 41-56.
- BRUNET L., DURPOIX A., PUECH T. (2020) "Stratégie d'accouplement des génisses laitières sur l'IE SATER de Mirecourt",
- CARBONE A. (2017) "Food supply chains: coordination governance and other shaping forces", *Agricultural and Food Economics*, Vol.5, N°1, 3.
- CHAMPOUILLON M., CLAMEN E., LAPOUTE J.-L. (2004) "Saisonnalité de la production laitière : améliorer la régularité de la collecte d'une laiterie par complémentarité des exploitations livreuses", 247 in: *Rencontres Recherches Ruminants*. Paris.
- CHEVALIER M., DELLIER J., PLUMECOCQ G., RICHARD F. (2014) "Dynamiques et structuration des circuits agroalimentaire en Limousin : distance institutionnelle, proximités spatiale et relationnelle", *Géographie, économie, société*, Vol. 16, 339-362.
- COQUIL X., ANGLADE J., BARATAUD F., BRUNET L., DURPOIX A., GODFROY M. (2019) "TEASER-lab : concevoir un territoire pour une alimentation saine, localisée et créatrice d'emplois à partir de la polyculture - polyélevage autonome et économe. La diversification des productions sur le dispositif expérimental ASTER-Mirecourt", *Innovations Agronomiques*, Vol.72, 61-75.
- COQUIL X., FIORELLI J. L., BLOUET A., MIGNOLET C. (2014) "Experiencing organic mixed crop dairy systems : a step-by-step design centred on a long-term experiment", 201-217 in: *Organic farming, prototype for sustainable agricultures*, (Coord. Bellon S., Penvern S.). Germany, Editions Springer. 489 p.
- COQUIL X., FIORELLI J.-L., BLOUET A., TROMMENSCHLAGER J.-M., BAZARD C., MIGNOLET C. (2011) "Conception de systèmes de polyculture élevage laitiers en agriculture biologique : Synthèse de la démarche pas à pas centrée sur le dispositif expérimental INRA ASTER-Mirecourt", 57-60 in: *Rencontres Recherches Ruminants*. Paris.
- COUTURIER C., CHARRU M., DOUBLET S., POINTEREAU P. (2016) "Afterres 2050. Un scénario soutenable pour l'agriculture et l'utilisation des terres en France à l'horizon 2050". Toulouse, SOLAGRO.
- DARLY S. (2013) "Relocaliser pour mieux négocier ou négocier pour mieux relocaliser ? Négociations et compromis pour la construction des réseaux locaux de l'approvisionnement des cantines", *Sud-Ouest européen*, N°35, 31-42.
- DE LA HAYE SAINT HILAIRE L., MIGNOLET C., PETIT C., AUBRY C. (2022) "Paysage industriel laitier et dynamiques des aires de collecte : recompositions territoriales en Lorraine et Haute-Marne", *Territoire en mouvement*, N°9339, 3-21.
- DELANOUE E. (2018) *Débats et mobilisations autour de l'élevage : analyse d'une controverse*. Rennes, Université Rennes 2, 424 p.
- DELANOUE E., DOCKES A.-C., ROGUET C., MAGDELAINE P. (2015) "Points de vue et attentes des acteurs de la société envers l'élevage. Un regard sur les principales controverses", 1-8 in: *Rencontres Recherches Ruminants*. Paris.
- DESPRET V., PORCHER J. (2002) "Anim. d'élev. ch. porte-parole et plus si aff. Les animaux d'élevage sont en voie de disparition", *Cosmopolitiques*, Vol.2, 74-90.
- DURU M., LE BRAS C., GRILLOT M. (2021) "Une approche holistique de l'élevage, au cœur des enjeux de santé animale, humaine et environnementale", *Cahiers Agricultures*, Vol.30, 26.
- FAURE J., MONTAGNE L., BIZE N. (2021) "Porcs bio, quelle gestion de l'équilibre carcasse ?", *Symbiose*, Vol.265, 14-15.
- FEVRE A. (2022) "Performances zootechniques des agneaux d'un atelier ovin allaitant en conduite biologique dans un système diversifié". Rapport de DUT Génie Biologique, IUT Nancy.
- FLIPO D. (2019) "Caractérisation de la création d'une filière « lait de foin » en Lorraine : approche historique, géographique et sociologique". Rapport de DUT Génie Biologique, IUT Colmar.
- FRANCEAGRIMER. (2019) "Consommation des produits carnés en 2019. "
- GAMEIRO A. H., BONAUDO T., TICHIT M. (2019) "Nitrogen, phosphorus and potassium accounts in the Brazilian livestock agro-industrial system", *Regional Environmental Change*, Vol.19, N°3, 893-905.
- GARAMBOIS N. (2011) "Des prairies et des hommes. Les systèmes herbagers économes du bocage poitevin. Agro-écologie, création de richesse et emploi en élevage bovin". Paris, AgroParisTech, 595 p.
- GATIEN-TOURNAT A., FORTUNEL F., NOËL J. (2016) "Qualité et proximité dans l'approvisionnement de la restauration collective en Sarthe (France) : jeux d'acteurs entre volontés et réalités territoriales.", *Annales de géographie*, Vol.N° 712, N°6, 666-691.
- GERBER P. J., STEINFELD H., HENDERSON B., MOTTET A., OPIO C., DIJKMAN J., ET AL. (2013) *Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities*. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- IPCC. (2021) "Summary for Policymakers". Cambridge University Press.
- JEPSEN M. R., KUEMMERLE T., MÜLLER D., ERB K., VERBURG P. H., HABERL H., ET AL. (2015) "Transitions in European land-management regimes between 1800 and 2010", *Land Use Policy*, Vol.49, 53-64.
- LÊ S., JOSSE J., HUSSON F. (2008). "FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis" *Journal of Statistical Software*, Vol 25, N°1, 1–18.
- LE NOË J., BILLEN G., LASSALETTA L., SILVESTRE M., GARNIER J. (2016) "La place du transport de denrées agricoles dans le cycle biogéochimique de l'azote en France : un aspect de la spécialisation des territoires", *Cahiers Agricultures*, Vol.25, N°1, 15004.
- MARTEL G., RAMETTE C., BOUVAREL I., BUTEAU A., FONTANET J.M., MISCHLER P. (2020) "NiCC'El. Un outil pour caractériser le niveau d'interaction entre cultures et élevage d'une exploitation et identifier les voies d'amélioration", *Innovations Agronomiques*, Vol 80, 33-40
- MARTIN G., MORAINÉ M., RYSCHAWY J., MAGNE M.-A., ASAI M., SARTHOU J.-P., ET AL. (2016) "Crop-livestock integration beyond the farm level: a review", *Agronomy for Sustainable Development*, Vol.36, N°3, 53.
- MARTIN G., PUJOS L., MAGRINI M.-B. (2022) "Micro-Level Sustainability Transition Pathways of Institutional Food Services in France", *Frontiers in Sustainable Food Systems*, Vol.6, 943020.
- MORAINÉ M., DURU M., THEROND O. (2017) "A social-ecological framework for analyzing and designing integrated crop-livestock systems from farm to territory levels", *Renewable Agriculture and Food Systems*, Vol.32, N°1, 43-56.

- MOTTET A., DE HAAN C., FALCUCCI A., TEMPIO G., OPIO C., GERBER P. (2017) "Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate", *Global Food Security*, Vol.14, 1-8.
- NAPOLEONE M. (2001) "De la gestion de la répartition de la production laitière d'un troupeau à la gestion des approvisionnements d'une ferme", 177-181 in: *Production systems and product quality in sheep and goats*. Zaragoza.
- PEYRAUD J. L., AUBIN J., BARBIER M., BAUMONT R., BERRI C., BIDANEL J. P., ET AL. (2020) "Réflexion prospective interdisciplinaire Science pour les élevages de demain. Rapport de synthèse. 53 pp.",
- PEYRAUD J. L., AUBIN J., BARBIER M., BAUMONT R., BERRI C., BIDANEL J. P., ET AL. (2019) "Quelle science pour les élevages de demain ? Une réflexion prospective conduite à l'INRA", *INRA Productions Animales*, Vol 32, N°2, 323-338.
- PINSARD C. (2022) "Assessing the resilience of European farming systems to consequences of global peak oil using a dynamic nitrogen flow model". Paris, Paris-Saclay, 306 p.
- POINSOT R., VIEUX F., MAILLOT M., DARMON N. (2022) "Number of meal components, nutritional guidelines, vegetarian meals, avoiding ruminant meat: what is the best trade-off for improving school meal sustainability?", *European Journal of Nutrition*, Vol.61, N°6, 3003-3018.
- PUECH T., DURPOIX A. (2021) "Conduite de porcs plein air en agriculture biologique : retour d'expérience du système diversifié INRAE de Mirecourt", in: 53èmes Journées de la Recherche Porcine. Paris.
- PUECH T., BRUNET L. (2020) "Valorisation des ressources fourragères d'un système de polyculture-polyélevage autonome : premiers éléments du dispositif biologique INRAE de Mirecourt", 2 in: Journées AFPP – Produire des fourrages demain. Paris.
- PUECH T., BRUNET L. (2022) "Elever des génisses laitières sous vaches nourrices : une voie à explorer pour un vêlage 24 mois en système exclusivement herbager", 4 in: Rencontres Recherches Ruminants. Paris.
- PUECH T., BRUNET L., DURPOIX A., FOISSY D., HUOT P.-L., MIGNOLET C., ET AL. (2022) "Les principes de l'agroécologie pour la conception et l'évaluation d'un système autonome et diversifié : l'expérimentation système ASTER Mirecourt", in: Bordeaux.
- PUECH T., PY V., DURPOIX A. (2021) "Elever des porcs pour valoriser des fourrages et des productions non commercialisables en alimentation humaine dans un système agricole diversifié et autonome : performances zootechniques et points critiques", *Fourrages*, Vol.248, 35-46.
- PUECH T., STARK F. (2023) "Diversification of an integrated crop-livestock system: Agroecological and food production assessment at farm scale", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol.344, 108300.
- PY V. (2021) "Analyse des performances d'un atelier de porcs au sein d'un système diversifié et autonome : l'exemple du système biologique INRAE de Mirecourt". Mirecourt, ENSAT.
- SERVIERE G., CHAUVAT S., HOSTIOU N. (2019) "Le travail en élevage et ses mutations", *INRA Productions Animales*, 2019, Vol 32, N°1, 13-24.
- SOULARD C.-T. (2020) "Les territoires alimentaires à l'heure du changement global", 21 pages, pages 35-55.
- RENOU S. (2021) "Les associations professionnelles d'entreprises comme acteurs antipolitiques : le cas du secteur bio", *Entreprises et histoire*, Vol.n° 104, N°3, 111-128.
- RICHARD M., DENOYELLE C., MONNIOT C., BASTIEN D. (2008) "Adéquation entre offre et demande en viande bovine en France", 227-334 in: *Rencontres Recherches Ruminants*.
- SAMAK M. (2013) "Les conditions pratiques d'un engagement économique et moral. Les maraîchers biologiques et la saisonnalité des fruits et légumes", *Revue d'Etudes en Agriculture et Environnement*, Vol.1, 93-116.
- SCHOTT C., PUECH T., MIGNOLET C. (2018) "Dynamiques passées des systèmes agricoles en France : une spécialisation des exploitations et des territoires depuis les années 1970", *Fourrages*, Vol.235, 153-161.
- THOMAS A., SCHNEIDER A., PILORGE E. (2013) "Politiques agricoles et place du colza et du pois dans les systèmes de culture", *Agronomie, Environnement & Sociétés*, Vol.3, N°1, 61-73.
- TROMMENSCHLAGER J.-M., GAUJOUR E., FONTANA E., HARMAND M., FOISSY D., HUGUET J., ET AL. (2010) "Gérer et organiser les données agricoles et de recherche d'un site expérimental", *Cahier des Techniques de l'INRA*, Vol.69, 5-27.
- VAN ZANTEN H. H. E., VAN ITTERSUM M. K., DE BOER I. J. M. (2019) "The role of farm animals in a circular food system", *Global Food Security*, Vol.21, 18-22.
- WARD J. H. (1963) "Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function" *Journal of the American Statistical Association*, 58(301), 236-244.