



La revue francophone sur les fourrages et les prairies

*The French Journal on Grasslands and Forages*

Cet article de la revue **Fourrages**,  
est édité par l'Association Francophone pour les Prairies et les  
Fourrages

Pour toute recherche dans la base de données  
et pour vous abonner :

**[www.afpf-asso.fr](http://www.afpf-asso.fr)**



AFPf - Maison Nationale des Eleveurs - 149 rue de Bercy -75595 Paris Cedex 12  
Tel. : +33.(0)1.40.04.52.00 - Mail : [contact@afpf-asso.fr](mailto:contact@afpf-asso.fr)

Association Francophone pour les Prairies et les Fourrages

# Élever 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

T. Puech<sup>1\*</sup>, V. Py<sup>1</sup>, A. Durpoix<sup>1</sup>

Autrefois, chaque ferme familiale élevait quelques porcs pour valoriser les déchets du foyer... Adapter ces pratiques ancestrales pour valoriser des productions non commercialisables en alimentation humaine au sein de systèmes diversifiés, tel est le pari pris au sein du système expérimenté sur le dispositif INRAE de Mirecourt. Premiers résultats d'une expérimentation débutée en 2017...

## RESUME

La diversification et l'autonomie sont des pistes à explorer pour engager les systèmes agricoles vers la transition agro-écologique. L'expérimentation système INRAE ASTER Mirecourt met en place depuis 2016 un système de polyculture-élevage autonome et diversifié. Dans ce cadre, entre 15 et 30 porcs à l'engraissement sont élevés en plein air intégral chaque année depuis 2017, avec l'objectif de valoriser les productions issues des autres ateliers du système et non commercialisables en alimentation humaine. Nous montrons que les choix de conception du système entraînent (i) une hétérogénéité des performances que nous décrivons à partir de 4 profils de performances (croissance, poids carcasse, rendement boucher) et (ii) que cette hétérogénéité est présente tant au sein qu'entre les bandes de porcs. L'inscription de ce système dans des circuits courts de commercialisation permet de valoriser cet atelier de diversification peu adapté aux filières spécialisées.

## SUMMARY

**Raising pigs to valorize fodder and productions not marketable for human consumption in a diversified and autonomous agricultural system: zootechnical performances and critical points**

Diversification and autonomy are among the tracks to be explored in order to move farming systems towards an agro-ecological transition. On the INRAE ASTER Mirecourt experimental farm, we implement since 2016 a diversified crop-livestock system. Within this framework, a herd of 15 to 30 fattening pigs are raised in free range each year since 2017, with the objective of valorising the productions from the system that cannot be marketed as human food. We show that the design choices of the system lead to (i) heterogeneity in performance, which we describe on the basis of four performance profiles (growth, carcass weight, butchery yield), and that (ii) this heterogeneity is expressed both within and between the pig bands. The inclusion of this system in short marketing circuits makes it possible to develop this diversification, which is not well suited to specialised sectors.

Durant la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, les systèmes agricoles de l'ouest de l'Europe se sont spécialisés sous l'impulsion des politiques publiques, du développement des intrants de synthèse et de la mondialisation des échanges commerciaux (Jepsen *et al.*, 2015). Cette spécialisation a entraîné d'une part une déconnexion progressive entre les productions animales et végétales

au sein des exploitations agricoles et d'autre part une distanciation entre les systèmes agricoles et les systèmes alimentaires, désormais organisés à l'échelle globale (Billen *et al.*, 2014). Ce modèle agricole dominant, dont font partie la majorité des élevages porcins du Grand Ouest, spécialisés et peu connectés à leurs territoires, est remis en cause par la société civile (Roguet *et al.*, 2015).

### AUTEURS

1 : UR 0055 ASTER, INRAE, F-88500 MIRECOURT. 662 Av Louis BUFFET, 88500 Mirecourt. [thomas.puech@inrae.fr](mailto:thomas.puech@inrae.fr)

MOTS-CLES : Porc plein air, hétérogénéité, agriculture biologique, analyses multivariées, système agri-alimentaire.

KEY-WORDS: Free-range pigs, heterogeneity, organic farming, multivariate analyses, agri-food system.

REFERENCE DE L'ARTICLE : Puech T., Py V., Durpoix A., (2021). « Élever 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* 248, 35-46

Depuis quelques années, de nombreuses initiatives appellent une transformation des systèmes agricoles vers plus de durabilité (Bonaudo *et al.*, 2014 ; Dumont *et al.*, 2014). Les systèmes conçus selon les principes de l'agro-écologie font partie des pistes à explorer. Ils s'appuient notamment sur la diversification (complexification des réseaux trophiques), le bouclage des cycles des nutriments et la reconnexion entre les systèmes agricoles et alimentaires tout en limitant le recours aux intrants de synthèse (Gliessman, 2004; Kremen *et al.*, 2012; Martin *et al.*, 2020). De nombreux auteurs mettent en avant l'intérêt des systèmes d'élevage multispécifiques (voir la synthèse de Martin *et al.*, 2020). Toutefois, si l'association de différentes espèces de ruminants a fait l'objet de nombreux travaux, l'association ruminants - monogastriques a été beaucoup moins travaillée dans la bibliographie, alors que leurs rôles respectifs dans la chaîne trophique sont très complémentaires (Magne *et al.*, 2019) : les ruminants (bovins, ovins, équins) sont adaptés à la valorisation de fourrages grossiers, alors que les monogastriques (porcs, volailles), omnivores, peuvent physiologiquement valoriser une gamme beaucoup plus large de ressources alimentaires. A cet égard, l'alimentation des animaux monogastriques, et en particulier des porcs, est souvent en concurrence directe avec l'alimentation humaine (Mottet *et al.*, 2017).

En France, plus de 99% des porcs charcutiers biologiques sont élevés en bâtiments (Prache *et al.*, 2020) avec des coûts alimentaires pouvant atteindre 80% des coûts de production (Roinsard *et al.*, 2014). Des entretiens récents de professionnels des filières porcines biologiques ont confirmés que les coûts liés à l'alimentation et aux bâtiments d'élevage sont des freins majeurs au développement des filières porcines

biologiques (entretiens menés dans le cadre du consortium ORIGAMI – Metabio INRAE).

Par conséquent, l'élevage de porcs, lorsqu'il est conduit (i) en complémentarité avec des ruminants, (ii) en plein air intégral et (iii) en valorisant exclusivement des productions issues des autres ateliers présents dans l'exploitation agricole et ne pouvant être valorisées en alimentation humaine serait une voie particulièrement intéressante à explorer pour répondre aux enjeux de développement de systèmes agricoles en transition agro-écologique. Mais quelles sont les performances biotechniques et les points critiques de ces systèmes ?

Après quatre années d'une expérimentation « ferme entière » mise en place sur l'installation expérimentale INRAE de Mirecourt au sein de laquelle un atelier d'engraissement de porcs en plein air a été conduit, l'objectif de cet article est de présenter les résultats de performances zootechniques de cet atelier d'engraissement. Il vise également à expliciter principaux points critiques et leviers mobilisables identifiés tant sur la conduite d'élevage que sur ses conditions de réussite.

## 1. Matériel et Méthodes

### 1.1. Un système agricole diversifié et autonome

Le système (Figure 1) s'appuie sur une diversification des productions animales et végétales (Coquil *et al.*, 2019). Il a été mis en place à partir de 2016 sur l'installation expérimentale INRAE de Mirecourt (Latitude 48°17N, Longitude 6°07E). La diversification animale a été opérationnalisée en 2017. Ce système vise un usage direct des terres à destination de

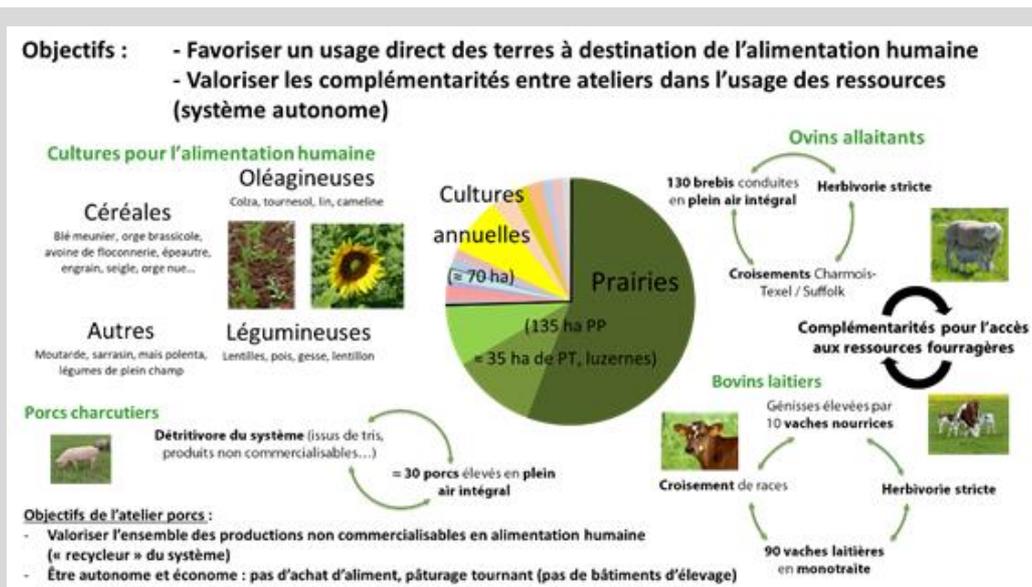


FIGURE 1 : Composition du système diversifié  
Figure 1: Diversified system composition

l'alimentation humaine dans une logique d'économie circulaire et d'autonomie (« faire au mieux avec les ressources du milieu » : pas d'achats de fertilisants, ni de fourrages) et valorisant les complémentarités entre productions végétales et productions animales (Van Zanten *et al.*, 2019). Le système est conduit selon le cahier des charges de l'agriculture biologique et dans une logique de conception « pas à pas ». Ce mode de conception vise à donner une place importante aux apprentissages en cours d'expérimentation pour lever les difficultés qui apparaissent dans l'action (Coquil *et al.*, 2014).

Deux troupeaux de ruminants (composés d'une centaine de vaches laitières et d'environ 120 brebis allaitantes et leurs suites) sont conduits sur les prairies permanentes (135 ha) et prairies temporaires (35 ha) dans une logique de maximisation de pâturage (240 j de pâturage pour les bovins, plein air intégral pour les ovins). Une partie des couverts intercultures sont également pâturés par les ovins en fin d'été / automne. Ces deux troupeaux sont conduits en herbivorie stricte : l'alimentation des ruminants est basée exclusivement sur de l'herbe (pâturages, foin), ils ne reçoivent aucun concentré.

Les cultures annuelles sont cultivées sur environ 70 ha. Elles sont à destination exclusive de l'alimentation humaine et comprennent une vingtaine d'espèces différentes parmi lesquelles figurent blé meunier, avoine de floconnerie, lentilles, pois, lin, tournesol, cameline, légumes de plein champ dont pommes de terre... Les cultures sont généralement cultivées en mélanges de variétés ou d'espèces (lentille – cameline, avoine – pois cassé par exemple) et sont triées à la ferme avant leur commercialisation.

Les productions non commercialisables sont valorisées par un lot de porcs élevés en plein air intégral en pâturage tournant, sur une parcelle de luzerne-graminées avant l'implantation d'une culture annuelle alimentaire (blé meunier par exemple). Dans une logique d'autonomie, aucun aliment pour porcs n'est acheté à

l'extérieur et les porcs valorisent les Issues de Tri des Cultures (ITC) destinées à l'alimentation humaine (grains cassés ou de petit calibre) et ponctuellement des productions périssables (laitcolostral ou à comptages cellulaires élevés, purge de la salle de traite, pommes de terre non valorisables en alimentation humaine). La première troupe de porcs a été introduite en 2017. L'effectif de chaque bande de porcs est défini annuellement à partir de la quantité d'issues de tris peu périssables issus de la récolte de l'année précédente (29 porcs en 2017, 30 en 2018, 38 en 2019 répartis en 2 bandes, 15 en 2020). Les porcs sont élevés en une seule bande, à l'exception de 2019 où deux bandes ont été élevées séparément (hétérogénéité des poids et date d'arrivée des porcelets, en provenance de deux naisseurs différents). Les porcelets sont achetés généralement en post sevrage (selon la possibilité d'approvisionnement en porcelets biologiques – la génétique variant selon les élevages d'origine). Les porcs sont conduits en pâturage tournant sur une parcelle de luzerne-graminées au printemps / été (généralement en dernière année avant destruction et remise en cultures), puis sur des couverts intercultures durant la période automnale. Les porcs sont abattus à l'abattoir de Rambervillers (environ 40 km de Mirecourt). Ils sont ensuite valorisés *via* une boucherie traditionnelle de la région de Mirecourt sur la période automne-hiver de l'année d'engraissement.

## 1.2. Modalités de conduites de l'atelier porcs pour valoriser des ressources irrégulières

L'analyse rétrospective des choix de conduite d'élevage permet de mettre en évidence 4 périodes clés dans la conduite d'élevage des porcs (Figure 2, adaptée de Puech et Durpoix, 2021).

### Transition à l'arrivée de l'élevage de naissance :

Une période de transition en bâtiment (ancien silo) d'au plus trois semaines peut être réalisée à leur arrivée. La présence et la durée de cette période de transition est

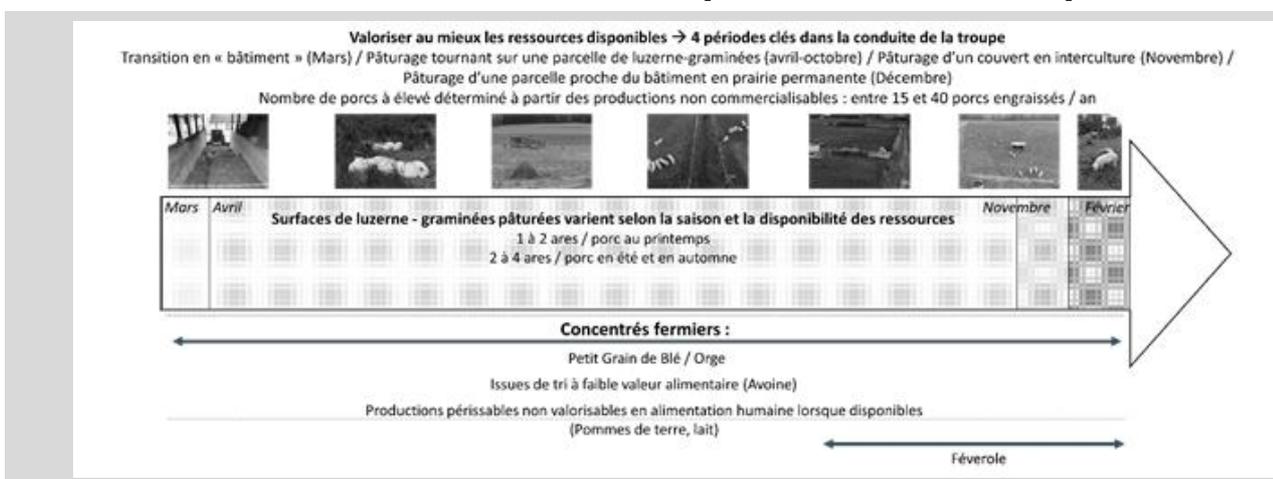


FIGURE 2 : Principales périodes clés dans la conduite d'élevage de porcs (adapté de Puech et Durpoix, 2021)  
Figure 2: Main key periods in pig breeding (adapted from Puech and Durpoix, 2021)

fonction (i) de l'âge des animaux et du souhait de réaliser une transition de régime alimentaire pour les porcelets les plus jeunes et (ii) des conditions pédoclimatiques, notamment en termes de portance des sols (pour éviter la destruction de la luzernière en début de saison de pâturage).

**Pâturage de luzerne-graminées** : d'avril à l'automne, les porcs sont élevés en pâturage tournant sur une parcelle de luzerne-graminées en fin de cycle (3ème ou 4ème année). La surface pâturable varie de 1 à 2 ares/porc lors du pic de croissance de la luzerne-graminées au printemps, à 3-4 ares/porc en été et automne. Les surfaces non pâturées au printemps sont fauchées pour l'alimentation des bovins ; les repousses pouvant être pâturées par les porcs. A l'issue de la saison de pâturage, la parcelle de luzerne-graminées est soit (i) détruite en septembre pour préparer le semis de la culture suivante (fin de la campagne de pâturage de luzerne graminées début septembre pour préparer le semis du blé en octobre), soit (ii) prolongée pour l'élevage des porcs l'année suivante (si la part de luzerne dans le couvert est suffisante), les porcs sont alors retirés de la parcelle dès que les conditions de sol sont humides (généralement fin octobre – début novembre) pour éviter de pénaliser le couvert pour la campagne de pâturage suivante.

**Pâturage d'un couvert interculture** : A l'issue de la campagne de pâturage de luzerne-graminées, les porcs sont déplacés pour pâturer un couvert intercultures (radis, trèfle, phacélie). Le pâturage de ce type de couverts n'est pas systématique : il n'est réalisé que si les couverts sont suffisamment développés à l'automne. Les porcs sont maintenus au pâturage sur ces couverts jusqu'à l'arrivée des premières gelées (décembre) pour (i) permettre le labour de la parcelle en vue d'enfouir les résidus éventuels de couverts et niveler la surface du sol pour l'implantation de la culture suivante, et (ii) faciliter l'alimentation des animaux en conditions hivernales.

**Retour à proximité des bâtiments en hiver** : les porcs en fin d'engraissement sont ensuite installés sur une prairie permanente peu productive à proximité des bâtiments pour permettre la destruction du couvert intercultures, faciliter l'accès pour l'alimentation (praticabilité des chemins) et limiter les problèmes liés au gel des abreuvoirs. Sur cette période, la ration (et par conséquent la croissance) des porcs est ajustée pour répondre aux besoins de la boucherie (période de fermeture, activités spécifiques liées aux périodes de fêtes de fin d'année).

### 1.3. Caractérisation de la ration des porcs

L'alimentation des porcs est composée (i) d'aliments distribués à l'échelle du lot d'animaux et (ii) de prélèvements de fourrages grossiers au pâturage

(luzerne-graminées, couvert intercultures). Cette ration est caractérisée de la manière suivante :

- La nature (issues de tri de céréales, légumineuses, lait, pommes de terre) et la quantité de chaque aliment distribué sont renseignées quotidiennement dans les systèmes d'information de l'installation expérimentale (Trommenschlager et Gaujour, 2010 ; Trommenschlager *et al.*, 2010).
- L'ingestion de fourrages au pâturage est estimée par deux types de mesures. Le premier type de mesure est réalisé par des zones dites de « mise en défend » dans les parcelles pâturées (cages grillagées de 1 m<sup>2</sup> empêchant le prélèvement par le pâturage) qui permettent d'estimer la quantité totale de biomasse produite au cours de la période de pâturage (biomasse présente au démarrage du cycle de pâturage et biomasse produite au cours de celui-ci). Ces zones en défend permettent d'estimer les quantités de fourrages prélevés et leur composition (part de légumineuses, graminées et autres espèces). Ces mesures sont complétées par des mesures de hauteur d'herbe (mesurées à l'herbomètre) à l'issue de la période de pâturage pour estimer la biomasse non prélevée. La différence entre ces deux mesures permet d'estimer les fourrages prélevés au cours du cycle de pâturage (exprimés en kg de matière sèche). Les mesures de prélèvements au pâturage n'ont été réalisées que lors du pâturage de luzerne-graminées (avril-novembre) : les conditions humides durant la période de pâturage du couvert ne permettent pas de quantifier de manière fiable les quantités de matière prélevées par les porcs au pâturage (en particulier les prélèvements d'organes racinaires type radis par exemple).

La ration des porcs est caractérisée par le calcul de deux paramètres considérés comme les principaux indicateurs permettant de décrire la valeur nutritive des aliments chez les porcs : sa valeur énergétique nette et sa teneur en lysine digestible (Noblet *et al.*, 2016). Les apports alimentaires sont classés selon quatre catégories : les prélèvements au pâturage, les apports de produits pas ou peu périssables (conservables plus de 6 mois : issues de tri des céréales et légumineuses à graines), les produits moyennement périssables (conservables quelques mois : issues de tri de légumes) et les produits ne pouvant se conserver plus de quelques heures (lait). Les valeurs d'énergie nette sont issues de la base de données Open Access Feedipedia (Heuzé *et al.*, 2015a, 2015b ; Heuzé *et al.*, 2016a, 2016b, 2016c ; Heuzé *et al.*, 2017 ; Heuzé *et al.*, 2018 ; Heuzé *et al.*, 2021a, 2021b). L'apport nutritif individuel est calculé à partir de valeurs moyennes sous l'hypothèse d'une consommation homogène au sein du lot d'animaux.

## 1.4. Performances zootechniques et qualités bouchères des carcasses

Les porcs sont pesés individuellement à leur arrivée (à jeun), tous les 15 jours pour un suivi des croissances et le pilotage de la conduite, et le jour de départ pour l'abattoir (kg). Le nombre de jours de présence sur la ferme (j), le Gain Moyen Quotidien de poids vif (g/j) sur l'ensemble de la période de présence sur la ferme et l'indice de conversion énergétique (énergie nette ingérée exprimée en MJ /kg de gain de poids vif sur l'ensemble de la période de présence – ICEN, Quiniou et Noblet, 2011) sont calculés. Les principaux critères de qualité des carcasses sont également renseignés à l'échelle individuelle (poids carcasse - kg, rendement carcasse - %, Taux de Muscle des Pièces TMP - %).

Les données sont analysées *via* une analyse en composantes principales (ACP) suivie d'une classification hiérarchique selon la méthode de Ward (1963). Les indicateurs facilement transposables et mesurables en élevage (nombre de jours sur la ferme, GMQ, poids carcasse, TMP, rendement carcasse) sont implémentés en tant que variables principales dans la construction des axes factoriels. Le poids des animaux à l'arrivée et à l'abattage sont implémentés en tant que variables complémentaires car corrélées avec les variables principales (ex : le rendement carcasse est calculé à partir du poids à l'abattage et du poids carcasse). L'analyse statistique a été faite à partir des données de 89 individus (sur les 112 entrés sur la ferme) pour lesquelles nous possédions l'ensemble des données (en particulier les données issues de l'abattage – TMP et poids carcasse), 23 porcs vendus vifs, morts ou volés en cours d'expérimentation ne sont pas intégrés dans l'analyse statistique (absence d'information sur la qualité des carcasses). Ces données ont été publiées par

Py *et al.*, (2021). Les analyses statistiques ont été réalisées sous R avec le package FactoMineR (Lê *et al.*, 2008). Des tests de comparaisons de moyenne entre les groupes statistiques issus de la classification hiérarchique ont été réalisés *via* des tests non paramétriques de Wilcoxon [pas d'hypothèse de distribution normale ; package rstatix (Kassambara, 2020)].

Ces éléments ont été complétés à partir d'un entretien semi-directif auprès de la boucherie qui commercialise les porcs. L'objectif de cette enquête est (i) de comprendre le contexte de la boucherie (clientèle, saisonnalité activités commerciales, exigences en termes d'origine et de type d'élevage) et (ii) caractériser de manière rétrospective les qualités des carcasses des porcs étudiées dans cet article. Les résultats de cette enquête ont été principalement mobilisés dans la discussion de ce travail.

## 2. Résultats

Les ressources produites permettent d'engraisser entre 15 et 38 porcs par an (Tableau 1). Les porcelets sont achetés au printemps généralement en post sevrage. Le faible nombre d'élevages naisseurs biologiques dans la région a nécessité de trouver des naisseurs éloignés (Marne, Côte d'Or), entraînant (i) une arrivée relativement tardive de certaines bandes (2018, 2019B, 2020, ayant été retardé suite aux contraintes institutionnelles liées à la situation sanitaire du covid) ou (ii) une forte hétérogénéité dans le poids des porcelets (2019A). La majorité des porcs sont vendus en boucherie artisanale.

Sur la période d'étude, 14 porcs ont été vendus vifs (5 en 2017 et 9 en 2019). De manière générale, nous observons une faible mortalité des porcs (1 mort sur les 82 porcs élevés en 2017, 2019 et 2020), l'année 2018 fait

Ration	2017	2018	2019A	2019B	2020
<b>Nombre de porcelets achetés</b>	29	30	24	14	15
<b>Type génétique</b>	Truies : Duroc x Landrace Verrat : Hampshire x Piétrain	Truies : Large White x Landrace Verrat : Piétrain	Truies : non précisée par l'élevage d'origine Verrat : Adénia x Piétrain	Truies : croisement 4 voies (Duroc x Landrace x Hampshire x piétrain) Verrat : Large White	Truies : Duroc x Landrace Verrat : Hampshire x Piétrain
<b>Nombre de porcs morts en cours d'engraissement</b>	0	6	1	0	0
<b>Nombre de porcs volés en cours d'engraissement</b>	1	0	0	0	1
<b>Nombre de porcs vendus vifs</b>	5	0	9	0	0
<b>Nombre de porcs abattus et vendus à la boucherie artisanale</b>	23	24	14	14	14

TABLEAU 1 : Effectifs élevés et commercialisés  
Table 1: Bred and marketed numbers

	2017	2018	2019A	2019B	2020	
<b>Aliments distribués</b>	ITC blé/orge (kg/porc/j)	1.300	1.329	1.109	0.954	1.370
	ITC féverole (kg/porc/j)	0.229	0.148	0.274	0.249	0
	ITC avoine / épeautre (kg/porc/j)	0	0.378	0.527	0.241	0.073
	Légumes (kg/porc/j)	0	0.039	0.102	0.144	0.431
	Lait (kg/porc/j)	0.136	0.887	0.095	0.366	0.367
<b>Luzerne-graminées sur la période de pâturage (estimation kgMS/porc/j)</b>	2.2	1.6	4.5	1.6	1.5	
<b>Nombre de jours de pâturage du couvert de luzerne – graminées</b>	181	157	133	168	166	

ITC : Issus de Tri des Cultures

TABLEAU 2 : Composition moyenne de l'alimentation des porcs  
Table 2 : Average composition of the pigs' diet

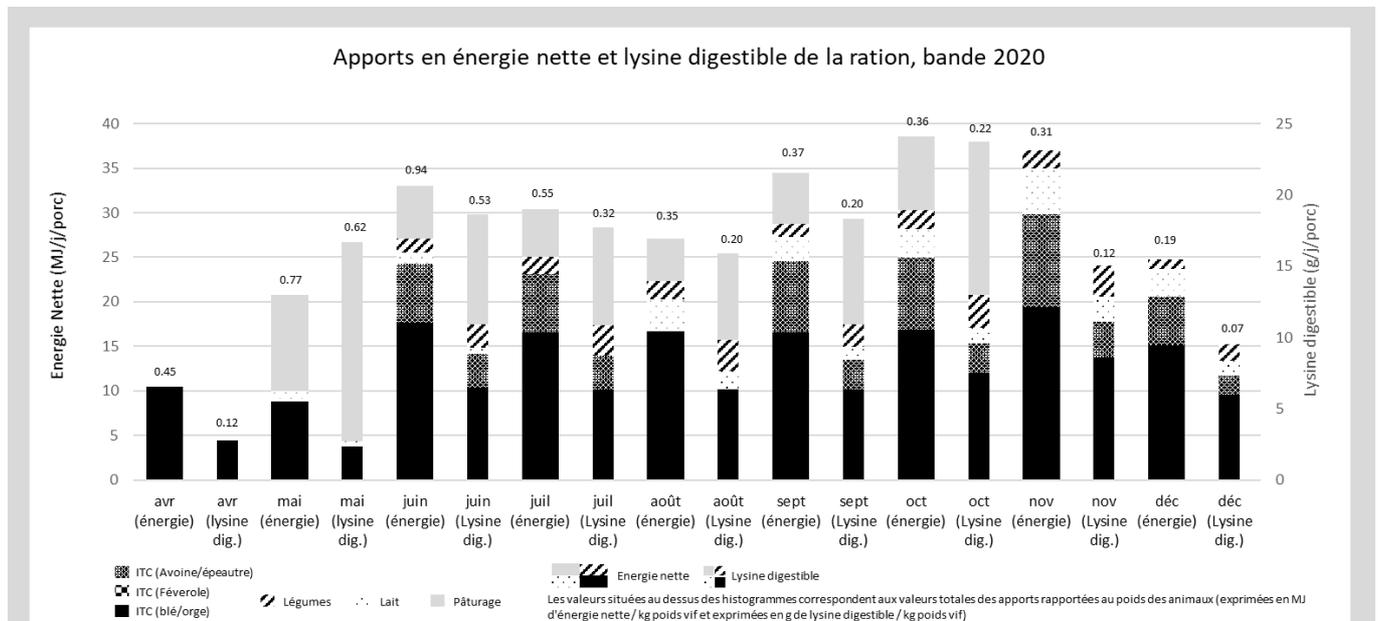
toutefois état d'une mortalité élevée (20%) en cours d'engraissement. Une pathologie pulmonaire contractée dans l'élevage de naissance (toux antérieure à l'arrivée des porcelets) et les fortes chaleurs durant l'été 2018 (malgré la présence d'un abri et d'une bauge) sont les principales causes de cette forte mortalité.

### 2.1. Variabilité de composition de la ration des porcs

Les issues de tri de blé et d'orge constituent la base de la ration alimentaire des porcs (1,25 ± 0,485 kg /porc/j) quelles que soient les années (Tableau 2). Cette ration de base est complétée avec d'autres ressources alimentaires dont la nature et la

quantité varient tant au cours de l'année (exemple de l'année 2020 sur la Figure 3) qu'entre les années (Tableau 2). Ainsi, la ration a été complétée par des issues de tri à faible valeur alimentaire et peu périssables de type avoine ou épeautre (0,287 ± 0,470 kg/porc/j) ou des productions moyennement à très périssables comme des pommes de terre (0,062 ± 0,340 kg/porc/j, principalement en automne-hiver) et du lait (0,420 ± 0,859 kg/porc/j). Du fait de la saisonnalité des productions et de leur durée de conservation limitée, la disponibilité de ces deux dernières ressources est hétérogène.

Cette ration distribuée est complétée par du pâturage de luzerne-graminées sur la période



(1) : ITC : Issus de tri des cultures destinées à l'alimentation humaine. Aucune distribution de féverole en 2020 (ressource non disponible cette année-là).

FIGURE 3 : Evolution des apports d'énergie nette et de lysine digestible de la ration des porcs (bande 2020, n=15)  
Figure 3: Evolution of net energy and digestible lysine intake of pigs

printanière et estivale (entre 133 et 181j de pâturage selon les bandes). La consommation de luzerne-graminées est estimée à  $2,05 \pm 1,42$  kg MS/porc/j en moyenne annuelle (Tableau 2). On observe que le poids moyen des bandes 2017 et 2019A (respectivement 72.7 kg et 98.7 kg sur la période de pâturage) entraîne une consommation plus importante de luzerne-graminées (respectivement 2.2 et 4.5kg MS/porc/j) que les autres bandes (poids moyen durant la période de pâturage : 42.9 à 60.7 kg selon les bandes, pour une consommation estimée à 1.5-1.6kg MS/porc/j – voir Tableaux 2 et 3). La valeur de 4.5 kg MS/porc/j estimée pour la bande 2019A nous semble toutefois surestimer les prélèvements au pâturage. En effet, sur la période de mai à juillet 2019, les parcelles pâturées avaient une proportion de graminées supérieure à 50% et ont été fauchées en cours de pâturage entraînant, malgré une consommation des fourrages fauchés, une sous-estimation lors des mesures à l'herbomètre de la biomasse résiduelle non prélevée par les animaux. La luzerne-graminées assure une partie importante des apports alimentaires, en particulier au printemps, avec plus de 2/3 des apports protéiques (et en particulier de lysine digestible) et environ 50% des apports énergétiques nets (Figure 3). La fin de l'été, de la féverole (cultivée en association avec des céréales ou oléagineuses pour ses intérêts agronomiques) peut être ajoutée à la ration ( $0,208 \pm 0,193$  kg/porc/j) pour compléter l'apport protéique du fait de la baisse de production des légumineuses prairiales. On observe une baisse des apports (énergétiques et protéiques) rapportés au poids des animaux sur la seconde moitié de la période d'engraissement.

## 2.2. Des performances zootechniques et bouchères hétérogènes

### ◆ Une approche multivariée pour étudier les performances de manière transversale

Les individus sont répartis de manière homogène sur le premier plan factoriel de l'analyse statistique multivariée dont l'inertie représente 57,8% de l'inertie du nuage de points (Figure 4). Le premier axe factoriel est régi par la vitesse de croissance opposée à la durée de présence sur la ferme (contributions respectives de 48% et 36% sur l'axe 1). Le second axe factoriel représente les caractéristiques des carcasses avec le poids carcasse (contribution de 48%) et le TMP (contribution de 24%). Le troisième axe factoriel (non représenté sur la figure) représente également les caractéristiques bouchères avec le rendement carcasse (contribution de 48%) et le TMP (contribution de 43%). Le poids avant abattage est corrélé positivement (80%) avec le second axe factoriel, les autres variables complémentaires sont peu corrélées aux axes factoriels (corrélations inférieures à 50%).

Quatre profils de performance biotechnique sont retenus à l'issue de la classification hiérarchique. Ce

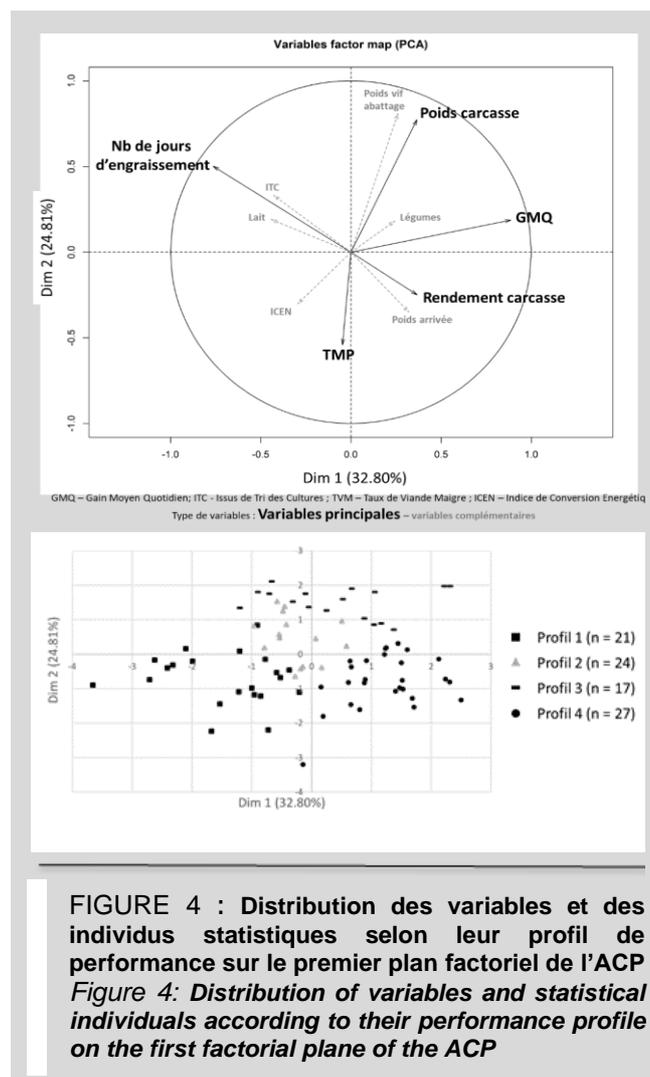


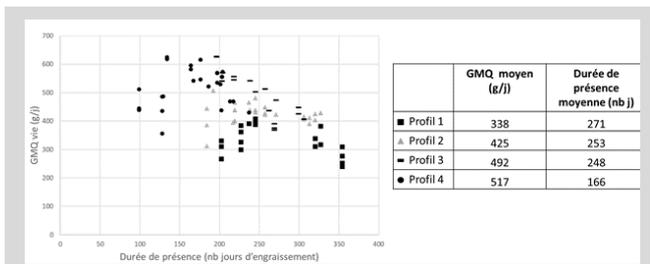
FIGURE 4 : Distribution des variables et des individus statistiques selon leur profil de performance sur le premier plan factoriel de l'ACP  
Figure 4: Distribution of variables and statistical individuals according to their performance profile on the first factorial plane of the ACP

nombre est un bon compromis entre un petit nombre de profils hétérogènes et un nombre élevé de profils homogènes mais statistiquement peu robustes, compte tenu de leurs faibles effectifs.

### ◆ Des croissances et durées de présence variables et peu corrélées

Nous observons une importante hétérogénéité dans les croissances et les durées d'engraissement des animaux.

La figure 5 rend compte de l'hétérogénéité de la population tant en termes de durée de présence (99 – 354 j) qu'en termes de GMQ (240 – 628 g/j). La croissance des animaux et la durée de présence ne sont pas corrélées ( $R^2=0.27$ ), en raison notamment de la variabilité importante du poids des porcelets à leur arrivée ( $34,0 \text{ kg} \pm 20 \text{ kg}$ ). Le profil 4 (27 individus) est caractérisé (i) par des temps de présence plus faibles que chacun des trois autres profils ( $166 \pm 42 \text{ j}$  vs  $258 \pm 49 \text{ j}$ ;  $p < 0,001$ ) et (ii) par des GMQ ( $517 \pm 69 \text{ g/j}$ ) plus élevés que les profils 1 et 2 ( $384 \pm 63 \text{ g/j}$ ,  $p < 0,001$ ). Les profils 1 (21 individus), 2 (24 individus) et 3 (17 individus) ne présentent pas de différences notables en termes de temps de présence (respectivement  $271 \pm 57$ ,  $253 \pm 47$



**FIGURE 5 : Distribution des individus et des profils au regard de la croissance et de la durée de présence**

*Figure 5: Distribution of individuals and profiles with respect to growth and duration of presence*

et  $248 \pm 37$  jours de présence moyenne). En revanche, le profil 1 se distingue par des GMQ plus faibles que les autres profils ( $338 \pm 53$  g/j ;  $p < 0,001$ ). Les profils 2 et 3 ne se détachent pas sur ces deux variables (GMQ respectifs de  $425 \pm 38$  et  $492 \pm 83$  g/j).

Du point de vue de l'efficacité énergétique, l'ICEN moyen est de 99.4 MJ/kg gain poids. Les profils 3 et 4 sont les plus efficaces du point de vue énergétique (respectivement  $75. \pm 13$  5MJ/kg et  $95 \pm 35$  MJ/kg) comparativement aux profils 2 et 1 (respectivement  $107 \pm 39$  MJ/kg et  $116 \pm 35$  MJ/kg). Ces observations sont cohérentes avec les observations sur les croissances (corrélation de - 46% entre le GMQ et l'ICEN).

#### ◆ Caractéristiques des carcasses

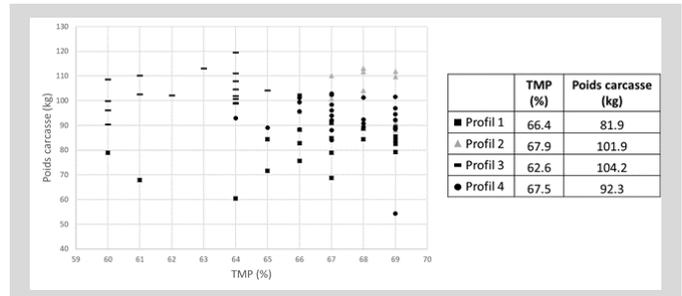
Du point de vue des caractéristiques des carcasses (figure 6), nous n'observons pas de corrélation entre le poids carcasse et le TMP. Le profil 1 se caractérise par des poids de carcasse plus faibles que chacun des autres profils ( $81.9 \pm 9.3$  kg ;  $p < 0.001$ ) ; inversement, les profils 2 et 3 correspondent aux individus avec les poids carcasse comparativement plus élevés (respectivement  $101.9 \pm 7.5$  et  $104.2 \pm 7.0$  kg) que le profil 4 ( $92.3 \pm 9.2$  kg ;  $p < 0.001$ ). Concernant le TMP, nous n'observons pas de différences entre les profils 1, 2 et 4 (respectivement  $66.4 \pm 2.5$ ,  $67.9 \pm 1.0$  et  $67.5 \pm 1.4$  %), seul le profil 3 se détache avec des valeurs plus faibles que les autres profils ( $62.6 \pm 1.8$  %).

Par ailleurs, le rendement carcasse de l'échantillon ( $73.3 \pm 2.4\%$ ) ne présente pas de différences notables entre les différents profils définis. La distribution temporelle des quatre profils au sein des cinq bandes élevées entre 2017 et 2020 révèle l'hétérogénéité des performances tant au sein d'une même bande qu'entre deux bandes.

#### ◆ Une hétérogénéité s'exprimant conjointement entre les bandes et au sein d'une même bande

La distribution des profils de porcs décrits précédemment montre que la distribution des profils entre bandes est différente (tableau 3) : aucun profil n'est spécifique d'une bande et chaque profil se retrouve

dans au moins 3 bandes différentes (hétérogénéité inter-bandes). Inversement, le tableau 3 met en avant que chaque bande a une composition bien spécifique. A l'exception de la bande 2019A avec seulement 2 profils repérés, les autres bandes sont composées d'au moins 3 profils différents. La nature et la proportion de chaque profil au sein chaque bande montre que chaque bande est singulière : les cohortes se suivent et ne se ressemblent pas.



**FIGURE 6 : Distribution des individus et des profils au regard du poids carcasse et du TMP**

*Figure 6: Distribution of individuals and profiles with respect to carcass weight and TMP*

La bande 2017 se caractérise par un poids moyen inférieur aux autres bandes : cette première année a permis l'acquisition de repères par les expérimentateurs et la boucherie. Ces repères ont permis de définir qu'un poids moyen de 130-140 kg vif à l'abattage constituait un repère pour le pilotage technique en accord avec les attentes de la boucherie. Inversement, la bande 2019A est caractérisée par des poids de réforme plus élevés, compte tenu d'une génétique peu adaptée au système pâturant (génétique Adénia x piétrain) et dont les carcasses ne correspondaient pas aux attentes de la boucherie (9 porcs ont été vendus vifs de ce fait). Du fait de croissances hétérogènes entre les individus (Tableau 3 - 2020 se détachant par des croissances moyennes plus importantes), les dates de réforme s'étalent de juillet à avril de l'année suivante, et par conséquent des durées d'engraissement hétérogènes (2018 et 2019B se détachent par des durées d'engraissement moyennes très longues, 2019A par de courtes durées d'engraissement du fait en particulier du poids d'arrivée des porcelets).

	2017	2018	2019A	2019B	2020
<b>Nature des profils de chaque bande</b>					
<b>Date d'arrivée</b>	17 mars	11 mai	25 mars	10 mai	28 avril
<b>Poids à l'arrivée (kg + écart type)</b>	40.5 (8.9)	20.5 (2.2)	72.5 (10.8)	18.8 (5.9)	22.8 (5.4)
<b>Dates min / max de sortie</b>	24/07/17 – 11/12/17	23/11/18 – 30/04/19	02/07/19 – 30/10/19	22/01/20 – 01/04/20	09/09/20 – 22/12/20
<b>Poids moyen sur la période de pâturage</b>	72.7	47.6	98.7	42.9	60.7
<b>Durée d'engraissement (jours + écart type)</b>	215.7 (35.5)	271.4 (55.5)	157.6 (50.6)	291.5 (28.6)	192.7 (32.6)
<b>Poids vif à la réforme (kg + écart type)</b>	115.7 (17.5)	129.4 (14.9)	149.3 (20.8)	140.8 (10.6)	128.6 (9.3)
<b>GMQ moyen (g/j + écart type)</b>	423.8 (89.7)	422.4 (107.0)	425.6 (51.9)	422.8 (44.7)	561.1 (46.0)
<b>Poids carcasse moyen (kg + écart type)</b>	85.6 (12.8)	94.0 (10.5)	105.8 (12.8)	103.7 (8.9)	95.1 (4.7)
<b>Rendement carcasse (% + écart type)</b>	74.0 (3.5)	72.7 (2.4)	71.1 (3.6)	73.6 (2.2)	74.1 (2.1)
<b>TMP (%)</b>	65.3 (3.5)	66.8 (2.3)	68.1 (1.1)	65.9 (2.1)	66.4 (1.7)

**TABLEAU 3 : Synthèse des principales données zootechniques**  
*Table 3: Summary of the main zootechnical data*

### 3. Discussion

#### 3.1. Les points critiques de l'atelier d'engraissement de porcs plein air du point de vue du système d'élevage

Dans sa conception, le système d'élevage des porcs plein air est très économe et autonome. Les charges d'alimentation et de structure (bâtiments) sont très limitées : le principal coût (hors main d'œuvre) correspond à l'achat des porcelets qui, avec les charges d'abattage, représentent 80% des charges sur les quatre années d'étude. Du point de vue du travail, cet atelier a nécessité 256 h de travail au total sur l'année 2020 (soit 3% du temps de travail total sur le système). Son insertion au sein du système a été permise notamment par la libération de temps de travail sur l'atelier bovin (monotraitée, élevage des génisses sous vaches nourrices) et concerne principalement l'alimentation quotidienne des animaux (1 repas/jour, 55% du temps total) et ponctuellement pour les mouvements d'animaux (18% - changement de parcelle, livraison à l'abattoir) et la mise en place et l'entretien régulier des clôtures en particulier vis-à-vis des mesures de biosécurité en système plein air (19%).

Considérant que la diversité et l'hétérogénéité des performances sont des conséquences des choix de conception de cet atelier, le principal point critique que nous avons observé est la composition de la ration en période hivernale. Il s'est avéré nécessaire de compléter l'alimentation par les concentrés en période hivernale d'une part pour couvrir les besoins énergétiques des animaux en finition pendant une période où les besoins d'entretien augmentent (diminution des températures) et d'autre part pour compenser les baisses de prélèvement au pâturage (pâturage d'une prairie permanente peu productive à proximité des bâtiments). Malgré cela, nous observons une baisse des apports sur des animaux en finition, les retours qualitatifs de la boucherie faisant état de carcasses plus maigres en période hivernale.

#### 3.2. Les points critiques de l'atelier d'engraissement de porcs plein air du point de vue des filières

La région de Mirecourt, et plus globalement une large partie sud de la Lorraine, est dominée par des systèmes d'élevage bovin et de polyculture-élevage laitiers. La région est peu spécialisée en production porcine et les filières longues y sont peu développées et peu structurées pour ce type de production. Par

conséquent, il existe peu d'activités de naissance de porcelets, qui plus est certifiés en agriculture biologique, ce qui occasionne des difficultés. D'une part l'approvisionnement en porcelets a été fait en dehors de la région Lorraine pour 2 des 4 années d'études, et le choix génétique était imposé par l'élevage d'origine dont le schéma de sélection est parfois peu adapté à des systèmes pâturants. Ce fut notamment le cas de la bande 2019A où les croisements Adénia-Piétrain ont entraîné des carcasses particulièrement maigres (TMP > 68) entraînant des difficultés pour la transformation en boucherie artisanale. D'autre part, les poids des animaux peuvent être très hétérogènes à leur arrivée (*cf.* bande 2019A), concourant à l'hétérogénéité des performances zootechniques par des phénomènes de concurrence à l'auge.

Malgré une faible spécialisation porcine, la région bénéficie cependant de la proximité d'un abattoir coopératif multi-espèces (bovins-ovins-porcins-caprins) spécialisé dans les circuits courts. La présence de cet outil de première transformation à une quarantaine de km de Mirecourt a été un véritable levier favorable au développement de cette activité de diversification (Dourmad *et al.*, 2018).

La valorisation des carcasses dans une boucherie artisanale est un levier supplémentaire permettant de valoriser l'hétérogénéité, notamment de vitesse de croissance et de temps de présence observée au sein d'une même bande. En effet, cette hétérogénéité intra bande, qui conduit à une période de finition des porcs s'étalant de septembre à février, est une force dans ce type de système organisé en lien avec une boucherie traditionnelle, dont les capacités de commercialisation se limitent au plus à quelques porcs par semaine. Cette hétérogénéité serait difficilement compatible avec des systèmes organisés en filières longues, inscrits dans une logique de conduite par bande homogène. Cette inscription dans une filière courte de valorisation nécessite des choix spécifiques et un pilotage du système en réponse aux attentes de ces filières. Sur les 4 années étudiées, nous n'avons eu recours à aucun traitement antibiotique ou antiparasitaire, en réponse aux attentes des clients de la boucherie (Lebret and Faure, 2015). Du point de vue de la conduite, le système est piloté en interaction avec la boucherie : les calendriers de transformation nous amènent à adapter la conduite technique et à limiter délibérément les performances de croissances en période de baisse d'activité de la boucherie (par exemple la baisse de la ration en décembre 2020 illustrée précédemment visait à limiter la croissance des porcs en période de baisse d'activité de transformation durant la période des fêtes de fin d'année).

### 3.3. Un atelier d'engraissement difficilement comparable à des systèmes spécialisés

A notre connaissance, les choix techniques faits pour l'atelier porcin (valorisation des productions non commercialisables, plein air intégral en système engraissement biologique) sont très singuliers dans le paysage des systèmes porcins, rendant les résultats présentés dans cet article difficilement comparables avec les situations documentées dans la bibliographie, généralement conduits en bandes homogènes. On peut toutefois relever d'après Roinsard et Badouard, (2017) que les performances de croissance moyenne (450 g/j) sont en deçà de 32% comparativement à des systèmes d'engraissement biologiques en bâtiment avec courettes (663 g/j). De la même façon, la durée d'engraissement (230 j) observée dans le système présenté dans cet article est supérieure de 40% par rapport à des systèmes biologiques (163 j). Le profil 4 (517 g/j de GMQ, durée d'engraissement de 166 j) se rapproche le plus de ces performances moyennes décrits par Roinsard et Badouard, (2017). Ces moindres performances, ainsi que la variabilité présentée précédemment, doivent toutefois être mises au regard des choix de systèmes permettant de lever les deux principales difficultés des systèmes porcins biologiques que sont le coût de l'alimentation et des bâtiments d'élevage (Roinsard *et al.*, 2014).

Par ailleurs, du point de vue de l'efficacité énergétique, nous n'avons pas trouvé de références ni en systèmes plein air intégral ni en systèmes biologiques. Les seules références disponibles mobilisées pour discuter les résultats obtenus sont issues de systèmes d'engraissement conventionnel en bâtiment. Ainsi, nous faisons état d'une efficacité énergétique du système expérimenté (99 MJ/kg) environ 4 fois inférieure par rapport à des systèmes dits conventionnels (Quiniou et Noblet, 2011 ; Levasseur *et al.*, 1998). On note enfin que les carcasses issues des 4 années d'expérimentation sont plus maigres (TMP moyen = 66.4 %) que dans des systèmes d'élevage en bâtiment dont les valeurs TMP moyennes sont de l'ordre de 57-60 % (Daumas, 2008 ; Quiniou et Noblet, 2011 ; Roinsard et Badouard, 2017).

### 3.4. Une analyse des performances à articuler à différents niveaux d'organisation

Contrairement à des systèmes spécialisés où la recherche d'efficacité se fait au niveau du lot voire de l'animal (croissance, efficacité alimentaire...), le système expérimenté vise une recherche d'efficacité au niveau de l'ensemble du système. Or les résultats présentés dans cet article ne permettent pas de rendre compte des complémentarités systémiques avec les autres composantes du système diversifié (productions végétales, bovins...) dans la valorisation des ressources

et le bouclage des cycles des nutriments. Ce focus doit être complété par des analyses à l'échelle de l'ensemble du système pour caractériser d'une part les interactions entre les différentes composantes du système et d'autre part les propriétés émergentes permises par ces complémentarités.

Ce travail sera complété par des travaux en agronomie système centrés sur l'analyse (i) de l'autonomie et économies de gamme permises par une intensité des interactions entre productions animales et productions végétales, (ii) de l'efficacité d'usage des ressources du milieu pour produire des denrées à destination de l'alimentation humaine (Van Zanten *et al.*, 2019) notamment dans des conditions de milieu changeantes, (iii) de la résilience du système permise par les complémentarités d'usage des ressources (Stark *et al.*, 2016, 2019) et (iv) des performances économiques et notamment la capacité du système diversifié à rémunérer le travail agricole (Coquil *et al.*, 2018) qui viseront à contribuer à la production de connaissances sur les agro-systèmes en transition vers l'agroécologie.

#### 4. Conclusion

Dans cet article nous présentons la conduite d'une troupe de porcs élevée en plein air intégral dont l'objectif est de valoriser exclusivement des fourrages grossiers (luzerne-graminées au pâturage) et des productions non commercialisables pour l'alimentation humaine. Nous montrons que ces choix de conduite entraînent une hétérogénéité des performances biotechniques (croissance, temps de présence, caractéristiques bouchères des carcasses). De ce fait, ce type de système est difficilement comparable à des systèmes spécialisés et peu compatible avec des filières longues classiques. La présence d'outils de première transformation et la construction d'un partenariat avec une boucherie traditionnelle a permis l'émergence et la viabilité de cet atelier de diversification. Ce travail sera complété (i) par des approches « système » de manière à rendre compte du fonctionnement, des performances et des propriétés émergentes des systèmes diversifiés et (ii) par une analyse plus fine des pratiques de pâturage, au cœur de la conception de cet atelier de diversification.

**Remerciements :** Les auteurs remercient Séverine Ferdinand (et ses collaborateurs de la boucherie Ferdinand de Vittel – 88) pour sa contribution au travail de stage à l'origine de cet article, les techniciens de l'installation expérimentale pour la collecte des données, Catherine Jondreville (UR ASTER Mirecourt) et les relecteurs de la revue *Fourrages* pour leurs relectures et commentaires constructifs.

Article accepté pour publication le 15 mars 2022

#### REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Billen G., Lassaletta L., and Garnier J., (2014). « A biogeochemical view of the global agro-food system: Nitrogen flows associated with protein production, consumption and trade. » *Global Food Security*, 3(3–4), 209–219.
- Bonaudo T., Bendahan A. B., Sabatier R., Ryschawy J., Bellon S., Leger F., Magda D., et Tichit M., (2014). « Agroecological principles for the redesign of integrated crop–livestock systems. » *European Journal of Agronomy*, 57, 43–51.
- Coquil X., Anglade J., Barataud F., Brunet L., Durpoix A., et 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*, (72), 61–75.
- Coquil X., Fiorelli J. L., Blouet A., et Mignolet C., (2014). « Experiencing organic mixed crop dairy systems : a step-by-step design centred on a long-term experiment. » *Organic farming, prototype for sustainable agricultures*, Stéphane Bellon, Servane Penvern, Editions Springer. 489 p., Germany, 201–217.
- Coquil X., Franck C., Veysset P., Pailleux J. Y., Fiorelli J.-L., Hostiou N., Godfroy M., Fombaron S., et Anglade J., (2018). « Richesse créée, rémunération et transformations du travail en systèmes laitiers économes et autonomes en agriculture biologique. » *Fourrages*, 235, 175–180.
- Daumas G., (2008). « Taux de muscle des pièces et appréciation de la composition corporelle des carcasses ». *Journées Recherche Porcine*, 40, 61–68.
- Dourmad J.-Y., Salaün Y., Lebreton B., et Riquet J., (2018). « Diversité des productions porcines en France. » *Innovations Agronomiques*, INRAE, 68, 151–170.
- Dumont B., González-García E., Thomas M., Fortun-Lamothe L., Ducrot C., Dourmad J. Y., et Tichit M., (2014). « Forty research issues for the redesign of animal production systems in the 21st century. » *Animal*, 8(8), 1382–1393.
- Gliessman S. R., (2004). « Agroecology and Agroecosystems. » *Agronomy Monographs*, R. Diane and C. Francis, eds., American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, 19–29.
- Heuzé V., Tran G., Renaudeau D., Lessire M., et Lebas F., (2015a). « Wheat grain. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO ». <https://www.feedipedia.org/node/223>
- Heuzé V., Tran G., Nozière P., Lessire M., et Lebas F., (2015b). « Rye grain and by-products. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO ». <https://www.feedipedia.org/node/225>
- Heuzé V., Tran G., Boval M., Noblet J., Renaudeau D., Lessire M., and Lebas F., (2016a). « Alfalfa (*Medicago sativa*). Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO ». <https://www.feedipedia.org/node/275>
- Heuzé V., Tran G., Nozière P., Noblet J., Renaudeau D., Lessire M., and Lebas F., (2016b). « Barley grain. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO ». <https://www.feedipedia.org/node/227>
- Heuzé V., Tran G., Nozière P., Renaudeau D., Lessire M., and Lebas F., (2016c). « Oats. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO ». <https://www.feedipedia.org/node/231>
- Heuzé V., Tran G., Giger-Reverdin S., Noblet J., Renaudeau D., Lessire M., and Lebas F., (2017). « Pea seeds. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO ». <https://www.feedipedia.org/node/264>
- Heuzé V., Thiollot H., Tran G., Boudon A., et Lebas F., (2018). « Potato (*Solanum tuberosum*) tubers. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO ». <https://www.feedipedia.org/node/547>
- Heuzé V., Tran G., Delagarde R., Lessire M., et Lebas F., (2021a). « Faba bean (*Vicia faba*). Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO ». <https://www.feedipedia.org/node/4926>
- Heuzé V., Tran G., Sauvant D., Bastianelli D., and Lebas F., (2021b). « Lentil (*Lens culinaris*). Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO ». <https://www.feedipedia.org/node/284>
- Jepsen M. R., Kuemmerle T., Müller D., Erb K., Verburg P. H., Haberl H., Vesterager J. P., Andrič M., Antrop M., Austrheim G., Björn I., Bondeau A., Bürgi M., Bryson J., Caspar G., Cassar L. F., Conrad E., Chromý P., Daugirdas V., Van Eetvelde V., Elena-Rosselló R., Gimmi U., Izakovicova Z., Jančák V., Jansson U., Kládnic D., Kozak J., Konkoly-Gyuró E., Krausmann F., Mander Ú., McDonagh J., Pärn J., Niedertscheider M., Nikodemus O., Ostapowicz K., Pérez-Soba M., Pinto-Correia T., Ribokas G., Rounsevell M., Schistou D., Schmit C.,

- Terkenli T. S., Tretvik A. M., Trzepak P., Vadineanu A., Walz A., Zhllima E., et Reenberg A., (2015). « Transitions in European land-management regimes between 1800 and 2010. » *Land Use Policy*, 49, 53–64.
- Kassambara A., (2020). « Pipe-Friendly Framework for Basic Statistical Tests. Rstatix R package. Version 0.6.0 ». <https://rpkgs.datanovia.com/rstatix/>
- Kremen C., Iles A., et Bacon C., (2012). « Diversified Farming Systems: An Agroecological, Systems-based Alternative to Modern Industrial Agriculture. » *Ecology and Society*, 17(4), art44.
- Lê S., Josse J., and Husson F., (2008). « FactoMineR: An R Package for Multivariate Analysis. » *Journal of Statistical Software*, 25(1), 1–18.
- Lebret B., and Faure J., (2015). « La viande et les produits du porc : comment satisfaire des attentes qualitatives variées? ». *INRA Productions Animales*, INRA, 28(2), 111–114.
- Levasseur P., Courboulay V., Meunier-Salaün M.-C., Dourmad J.-Y., et Noblet J., (1998). « Influence de la source d'énergie et de la concentration énergétique de l'aliment sur le comportement alimentaire, les performances zootechniques et les qualités de carcasse du porc charcutier ». *30èmes Journées de la Recherche Porcine*, 245-252.
- Magne M.-A., Nozières-Petit M.-O., Cournut S., Ollion É., Puillet L., Renaudeau D., et Fortun-Lamothe L., (2019). « Gérer la diversité animale dans les systèmes d'élevage : laquelle, comment et pour quels bénéfices ? ». *INRA Productions Animales*, 263–280.
- Martin G., Barth K., Benoit M., Brock C., Destruel M., Dumont B., Grillot M., Hübner S., Magne M.-A., Moerman M., Mosnier C., Parsons D., Ronchi B., Schanz L., Steinmetz L., Werne S., Winckler C., et Primi R., (2020). « Potential of multi-species livestock farming to improve the sustainability of livestock farms: A review. » *Agricultural Systems*, 181, 102821.
- Mottet A., de Haan C., Falcucci A., Tempio G., Opio C., et Gerber P., (2017). « Livestock: On our plates or eating at our table? A new analysis of the feed/food debate. » *Global Food Security*, 14, 1–8.
- Noblet J., Dourmad J.-Y., and Van Milgen J., (2016). « Etat des lieux et perspectives sur la nutrition du porc. » *48èmes Journées de la Recherche Porcine*, Institut du Porc (IFIP), PARIS, 13.
- Prache S., Sante-Lhoutellier V., Adamiec C., Astruc T., Baéza E., Bouillot P.-E., Bugeon J., Cardinal M., Cassar-Malek I., et Clinquart A., (2020). « La qualité des aliments d'origine animale selon les conditions de production et de transformation ». *Rapport de l'Expertise scientifique collective*, INRAE, Paris, 1023.
- Puech T., and Durpoix A., (2020). « Conduite de porcs plein air en agriculture biologique : retour d'expérience du système diversifié INRAE de Mirecourt ». *53èmes Journées de la Recherche Porcine*, IFIP, Feb. 2021, Paris, France. 2 p.
- Py V., Durpoix A., and Puech T., (2021). « Données des performances d'élevage des porcs à l'engraissement plein air de 2017 à 2020 de l'Installation Expérimentale ASTER Mirecourt ». <https://doi.org/10.15454/D2TOAV>, Portail Data INRAE, V1.
- Quiniou N., and Noblet J., (2011). « Teneur en énergie nette et consommation spontanée d'aliment du porc charcutier élevé en loge individuelle ». *43èmes Journées Recherche Porcine*, Feb. 2011, Paris, France.
- Roguet C., Gaigné C., Chatelier V., Cariou S., Carlier M., Chenut R., Daniel K., and Perrot C., (2015). « Spécialisation territoriale et concentration des productions animales européennes : état des lieux et facteurs explicatifs. » *INRA Productions Animales*, 28(1), 5–22.
- Roinsard A., Bordes A., Calvar C., Maupertuis F., Alibert L., Ferchaud S., Uzereau A., and Carrière J., (2014). « Alimentation des porcins en agriculture biologique ». 40p.
- Roinsard A., et Badouard B., (2017). « Premières références techniques sur les élevages bio ». *Tech Porc*, 35. P16-19.
- Stark F., Archimède H., Gonzalez-Garcia E., Pocard-Chapuis R., Fanchone A., and Moulin C. H., (2019). « Evaluation des performances agroécologiques des systèmes de polyculture élevage en milieu tropical humide : application de l'analyse de réseaux écologiques. » *Innovations Agronomiques*, 72, 1–14.
- Stark F., Fanchone A., Semjen I., Moulin C.-H., et Archimède H., (2016). « Crop-livestock integration, from single practice to global functioning in the tropics: Case studies in Guadeloupe. » *European Journal of Agronomy*, 80, 9–20.
- Trommschlagier J.-M., et Gaujour E., (2010). « ASTER-ix : Application pour la Saisie et le Traitement des Événements Recensés sur l'Installation expérimentale. Version IDDN.FR.001.130016.000R.P.2010.000.10300 »
- Trommschlagier J.-M., Gaujour E., Fontana E., Harmand M., Foissy D., Huguet J., et Bazard C., (2010). « Gérer et organiser les données agricoles et de recherche d'un site expérimental ». *Cahier des Techniques de l'INRA*, 69:5–27
- Van Zanten H. H. E., Van Ittersum M. K., et De Boer I. J. M., (2019). « The role of farm animals in a circular food system. » *Global Food Security*, 21, 18–22.
- Ward J. H., (1963). « Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. » *Journal of the American Statistical Association*, 58(301), 236–244.