

Paramètres génétiques de l'efficacité protéique dans une population porcine suisse

Claudia Kasper, Isabel Ruiz-Ascacibar, Peter Stoll et Giuseppe Bee

Agroscope, 1725 Posieux, Suisse

Renseignements: Claudia Kasper, e-mail: claudia.kasper@agroscope.admin.ch



Un groupe de porcs équipés de transpondeurs RFID (*Radio-Frequency Identification*) pour permettre une identification individuelle aux distributeurs automatiques de concentrés. (Photo: Olivier Bloch, Agroscope)

Introduction

La production de viande participe davantage aux risques écologiques que tout autre type d'aliment, notamment par l'émission de gaz à effet de serre et de composés azotés (Notarnicola et al. 2017). L'empreinte écologique de la production porcine est inférieure à celle de la production bovine (Poore et Nemecek 2018). Toutefois, de grandes quantités de composés azotés parviennent dans le lisier sous la forme de produits de dégradation des protéines alimentaires, l'azote constituant en moyenne 16 % de la structure des protéines. En Suisse, les dispositions légales garantissent qu'aucun excès d'azote ou de phosphore ne pénètre dans le sol (ordonnance sur les paiements directs à l'agriculture 2013). Afin de respecter les prestations écologiques requises, il convient de fermer les cycles des éléments nutritifs et donc d'adapter le nombre d'animaux au site. Or, cela est difficile pour les

éleveurs situés dans des zones à forte densité de porcs et à faible disponibilité en terres arables, par exemple en Suisse orientale ou centrale.

Les émissions d'azote sous la forme d'ammoniac ainsi que les importations d'aliments pour animaux ont un impact négatif sur le bilan écologique de la viande de porc. Actuellement, la production suisse d'aliments pour animaux ne couvre pas les besoins en acides aminés (AA) végétaux de la production porcine. C'est pourquoi, la majorité des protéines affouragées en Suisse, principalement du soja sans OGM, est importée du Brésil ou de pays européens (Baur 2011). Ce problème s'accroîtra avec l'augmentation prévue de la population mondiale et la tendance à la hausse de la consommation de viande (OECD-FAO 2017). Il faut également s'attendre à une plus rude concurrence entre les terres agricoles

destinées à la production de denrées alimentaires pour la consommation humaine et celles destinées à la production d'aliments pour animaux de même qu'à une nouvelle extension de terres arables au détriment des habitats précieux du point de vue écologique dans les pays producteurs (Fearnside 2001).

Compte tenu des problèmes liés aux importations de soja, leur réduction est souhaitable. En Suisse, la réduction de la teneur en matière azotée de la ration est soutenue depuis 2018 par des contributions à l'utilisation efficiente des ressources (OFAG 2018). Une autre approche consisterait à inclure l'efficacité protéique dans le programme de sélection. À cet effet, il est nécessaire d'évaluer des paramètres génétiques tels que l'héritabilité, les corrélations génétiques avec d'autres caractères et les interactions génotype-environnement (G×E). Pour de telles estimations, il faut disposer d'informations sur la teneur exacte en protéines de la ration, sur l'ingestion alimentaire individuelle et sur la teneur en protéines du corps vif vide¹ (Cv) ou de la carcasse² (Ca) de centaines d'animaux. Au cours des dernières décennies, la sélection a été axée avec succès sur l'efficacité alimentaire (kg d'aliments par kg de croissance); cependant, pour réduire l'impact environnemental de l'élevage porcin, l'accent devrait désormais être mis sur l'efficacité des nutriments (azote et phosphore) (de Verdal *et al.* 2011). De récents essais d'Agroscope ont porté sur l'évolution de la composition corporelle depuis la naissance des porcs jusqu'à un poids à l'abattage de 140 kg. Les animaux de la race grand porc blanc suisse ont été nourris soit avec un régime de contrôle (CO; groupe témoin) – optimisé selon les recommandations alimentaires suisses en vigueur – soit avec un régime à teneur réduite en acides aminés (RP; groupe expérimental 20 % d'AA en moins que le RC). Nous avons constaté qu'environ 30 % des porcs du groupe expérimental présentaient un taux de croissance similaire à celui des porcs du groupe témoin (Ruiz-Ascacibar *et al.* 2017) et donc une efficacité protéique nettement supérieure à la moyenne du groupe témoin.

Cette analyse pilote avait pour objectif de déterminer si et dans quelle mesure la variation observée au niveau de l'efficacité de l'azote (N) était due à des facteurs génétiques et si les génotypes différaient dans leur capacité à faire face à une alimentation à teneur réduite en acides aminés (G×E). De plus, nous avons analysé quelle proportion de la variation totale de l'efficacité de l'azote peut être expliquée par l'environnement commun (effets maternels et portée). Nous avons également étudié

Résumé

L'élevage porcin participe à la pollution de l'environnement par l'émission de composés azotés. En outre, l'engraissement des porcs en Suisse nécessite l'importation de grandes quantités de supports protéiques tels que le soja, car les besoins en protéines ne sont pas couverts par des sources de protéines végétales produites localement. Il est donc souhaitable d'améliorer l'efficacité protéique des porcs, c'est-à-dire obtenir, par la sélection, la même teneur en protéines dans la carcasse tout en diminuant l'ingestion de matière azotée. Pour l'évaluation préliminaire du potentiel de sélection, des paramètres génétiques de l'efficacité protéique et azotée ont été estimés chez le grand porc blanc suisse. Les résultats de recherche issus d'essais antérieurs effectués avec des aliments réduits en protéines ont servi de base. L'héritabilité de l'efficacité protéique a été estimée à 32 % dans le corps vif vide, soit à 16 % dans la carcasse. Des corrélations phénotypiques positives avec l'efficacité du phosphore ont été observées. Cela suggère qu'une sélection axée sur l'efficacité de l'azote pourrait également augmenter celle du phosphore. Toutefois, il faut s'attendre à un léger retard dans la croissance des porcs présentant une haute efficacité protéique. D'autres études sont nécessaires pour améliorer la pertinence des estimations et obtenir des informations sur les gènes à la base de l'efficacité protéique.

les conflits possibles entre les objectifs d'efficacité de l'azote avec d'autres caractères importants des points de vue écologique et économique comme la croissance, la composition corporelle et l'efficacité du phosphore (P).

Matériel et méthodes

Pour cette étude, les données des essais mentionnés ci-dessus ont été utilisées (tabl. 1). Les porcs d'un poids vif (PV) de 20 kg ont été nourris *ad libitum* avec l'une des deux variantes: régime de contrôle (CO) ou régime à teneur réduite en protéines/en AA (RP) (cf. Ruiz-Ascacibar *et al.* 2018). À l'aide des distributeurs automatiques de concentrés dotés d'un dispositif d'identification individuelle (Schauer Maschinenfabriken GmbH & Co KG, Prambachkirchen, Autriche, fig. 1), l'ingestion exacte de

¹ Ensemble du corps, y compris le tractus gastro-intestinal vidé et nettoyé.

² Corps avec le cerveau, mais sans les entrailles ni la langue.



Figure 1 | L'un des distributeurs automatiques de concentrés dotés d'un dispositif d'identification individuelle des porcs utilisés dans les essais. (Photo: Olivier Bloch, Agroscope)



Figure 2 | Porc en train d'utiliser un distributeur automatique de concentrés. Le distributeur enregistre le nombre de visites, la quantité d'aliments ingérée et la durée du séjour de chaque animal. (Photo: Olivier Bloch, Agroscope)

chaque animal a été enregistrée (fig. 2). La teneur en N des aliments distribués a été déterminée régulièrement au moyen d'analyses chimiques. Les animaux ont été abattus à des poids cibles de 40, 60, 80, 100, 120 ou 140 kg. La teneur en N, en P, en eau, en cendres brutes et en graisse du Cv et de la Ca a été déterminée par analyses chimiques après l'abattage (Ruiz-Ascacibar et al. 2017). Pour l'estimation de la teneur en N et en P du Cv et de la Ca de chaque sexe au début de l'essai, on a déterminé la teneur moyenne en N et en P de 36 animaux (12 femelles, 12 porcs castrés et 12 jeunes verrats) à 20 kg de PV. Les variables cibles, l'efficacité de l'azote du Cv ($NEffCv$) et l'efficacité de l'azote de la Ca ($NEffCa$), c'est-à-dire la teneur en N du Cv et de la Ca par rapport à l'ingestion de N sur toute la période d'essai, ont été calculées comme suit:

$$NEffCv = \frac{NCv - N20kgCv}{Ingestion N} \quad \text{aussi bien que} \quad NEffCa = \frac{NCa - N20kgCa}{Ingestion N}$$

NCv et Nca sont la teneur absolue en N du Cv et de la Ca, $N20kgCv$ et $N20kgCa$ sont les teneurs estimées en N du Cv et de la Ca au début de l'essai et $Ingestion N$ est la quantité de N que chaque animal a ingérée par le biais de l'alimentation pendant toute la durée de l'essai. L'efficacité P a été calculée de manière analogue.

Dans une première phase, nous avons identifié des covariables importantes de l'efficacité de N dans une procédure de sélection de modèles afin de pouvoir corriger dans une deuxième phase les modèles de génétique quantitative par rapport à leur influence. Les modèles linéaires à effets mixtes pour $NEffCv$ et $NEffCa$ contenaient une série de variables indépendantes en guise d'effets fixes et le numéro de la BDTA¹ du ver rat reproducteur (*ID du ver rat reproducteur*, remplacement du génotype) ainsi que la *portée* (qui reflète l'environnement commun) en guise d'effets aléatoires. Les covariables des modèles généraux complets étaient

¹BDTA: Base de données sur le trafic des animaux.

Tableau 1 | Aperçu des ensembles de données utilisés dans cette étude, y compris les périodes d'essai, les races utilisées (GPB = grand porc blanc), la taille des échantillons (N) et le nombre de verrats reproducteurs et de truies reproductrices.

Essai partiel	Données	Races	N	Verrat repro.	Truies repro.
Exp 1 ^a	Juil. 2012 – avril 2013	Premo® × GPB	72	2	17
Exp 2 ^a	Août 2013 – mai 2014	GPB × GPB	72	5	14
Exp 3 ^b	Août 2014 – juin 2015	GPB × GPB	88	5	16
Exp 4 ^c	Janv. 2016 – oct. 2016	GPB × GPB	62	6	16
		Total	294	17 ^d	56 ^d

^aFemelles, jeunes verrats et porcs castrés; ^buniquement femelles et porcs castrés; ^cuniquement jeunes verrats;

^den raison de l'utilisation des mêmes individus parents dans différents essais, seuls 17 verrats reproducteurs ont été utilisés au lieu de 18, et 56 truies reproductrices au lieu de 63.

le sexe, l'âge et le PV exact à l'abattage, l'essai partiel et la variante alimentaire. Nous nous attendions à une collinéarité de la variante et de l'âge ainsi que de l'âge et du PV et avons remplacé «PV» par les résidus du modèle linéaire PV ~ âge et «âge» par les résidus du modèle linéaire âge ~ variante.

Nous avons sélectionné toutes les variables qui se trouvaient dans plus de la moitié des modèles à l'intérieur d'un $\Delta AICc^2 \leq 2$, comme covariables potentiellement importantes pour les modèles de génétique quantitative. Nous avons estimé les composantes de variance suivantes de *NEffCv* et de *NEffCa* à l'aide d'un modèle

animal bayésien à effets mixtes (*animal model*; Hender-son 1984): la variance phénotypique (V_P), qui se compose de la variance génétique additive (V_A), de la variance environnementale commune (V_{CE}) et de la variance résiduelle (V_E). Le modèle animal comprenait le numéro BDTA de chaque individu comme lien avec le pedigree pour estimer la V_A ainsi que la portée pour estimer la V_{CE} comme effets aléatoires et les variables identifiées à l'étape ci-dessus comme effets fixes. Nous avons utilisé une distribution de probabilité *a priori*³ conjuguée non informative. Les valeurs modales des distributions *a posteriori* ont été utilisées comme estimation pon-

² AICc: Critère d'information d'Akaike corrigé par rapport à un petit nombre d'échantillons qui permet de sélectionner des modèles atteignant une qualité d'ajustement satisfaisante, mais qui ne contiennent pas un nombre excessif de paramètres. L'AIC est basé sur la probabilité du modèle et pénalise le nombre de paramètres. Le modèle avec le plus petit AIC est sélectionné comme le meilleur modèle. ΔAIC est la différence entre l'AIC du meilleur modèle et du modèle qui suit. La pertinence des modèles dont $\Delta AIC \leq 2$ est statistiquement impossible à distinguer. Ces modèles sont donc considérés comme équivalents.

³ La distribution de probabilité *a priori* dans les statistiques bayésiennes est choisie sur la base des connaissances préalables. S'il n'y a pas des connaissances préalables appréciables, on choisit une distribution de probabilité *a priori* dite non informative, où toutes les valeurs sont également probables. Nous avons choisi une distribution de Wishart inverse avec une valeur attendue pour la variance $V = 1$ et un «degré de croyance» $\nu = 0,002$. Ceci conduit à une densité de probabilité qui a un pic à zéro, mais la même densité pour pratiquement toutes les autres valeurs.

Tableau 2 | Modèles les mieux classés lors de la procédure de sélection des modèles selon le critère d'information corrigé Akaike (AICc) pour les échantillons de petite taille. Le tableau présente les estimations des ordonnées à l'origine, des coefficients des différentes variables (augmentation sur l'axe Y par unité sur l'axe X pour les variables continues et, pour les variables sur l'échelle nominale, + pour une augmentation) de même que de la pertinence du modèle pour des modèles à l'intérieur d'un $AICc \leq 2$. NA: variable non incluse dans le modèle, Exp: essai partiel, PV: poids vif, Var: variante, dl: degrés de liberté, logLik: probabilité logarithmique, poids: poids Akaike, R^2_M : mesure marginale de détermination (R^2 des effets fixes), R^2_C : mesure conditionnelle de détermination (R^2 du modèle entier incluant les effets fixes et aléatoires).

Constantes	Exp	PV	Âge	Sexe	Var	PV × âge	PV × sexe	PV × var	Âge × sexe	Âge × var	Sexe × var	PV × âge × sexe	dl	logLik	AICc	delta	poids	R^2_M	R^2_C
NEffCv																			
0,436	+	-0,002	-0,001	+	+	-3×10^{-5}	+	+	+	+	+	+	23	567,257	-1084,425	0,000	0,293	0,45	0,55
0,435	+	-0,002	-0,001	+	+	-1×10^{-5}	+	+	+	+	+	NA	21	564,288	-1083,178	1,247	0,157	0,44	0,54
0,436	+	-0,002	-0,001	+	+	-3×10^{-5}	+	+	+	+	+	NA	21	564,244	-1083,092	1,333	0,150	0,44	0,54
NEffCa																			
0,320	+	3×10^{-4}	0,001	+	+	-7×10^{-5}	+	+	+	NA	+	+	22	518,180	-988,625	0,000	0,446	0,54	0,57
0,324	+	1×10^{-4}	0,001	+	+	-7×10^{-5}	+	+	+	NA	NA	+	20	515,116	-987,156	1,469	0,214	0,53	0,56
0,320	+	3×10^{-4}	0,001	+	+	-7×10^{-5}	+	+	+	+	+	+	23	518,428	-986,767	1,858	0,176	0,54	0,57

Tableau 3 | Corrélations de *NEffCv* avec des caractères ayant un intérêt économique ou environnemental potentiel et avec les caractères de la composition corporelle.

Catégorie de caractère	Caractère	Méthode de corrélation	Coefficient ± 95 % CI
Économique	Retard (nombre de jours de retard jusqu'à l'abattage)	Corrélation de Spearman (intervalle de confiance de 95 % basé sur un <i>bootstrapping</i> de 2500 x)	$\rho = -0,16 [-0,26, -0,07]$
Écologique	Efficacité de phosphore	Corrélation linéaire (intervalle de confiance de 95 % basé sur la transformation Z selon Fisher)	$r = 0,65 [0,48, 0,77]$
Composition corporelle	Teneur en eau		$r = -0,07 [-0,32, 0,18]$
	Teneur en cendres		$r = -0,16 [-0,39, 0,09]$
	Teneur en graisse	$r = -0,14 [-0,38, 0,11]$	

tuelle des paramètres génétiques et les intervalles HPD de 95 %⁴ ont été utilisés comme intervalles de confiance. Nous avons calculé des modèles à effets mixtes avec des ordonnées et des pentes aléatoires (*Random intercepts and slopes models*) pour G × E avec la portée comme approximation du génotype. Une influence éventuellement significative de l'inclusion de pentes aléatoires (interaction portée × variante comme effet aléatoire) sur la pertinence du modèle a été déterminée au moyen d'un *Likelihood-Ratio-Test* (LRT). Afin d'évaluer les corrélations phénotypiques possibles de *NEffCv* avec l'efficacité de P du corps vide ainsi qu'avec la teneur en eau, en cendres et en graisse du Cv, nous avons utilisé une corrélation

linéaire pour les animaux (N=73) pour lesquels cette information était disponible. La corrélation de Spearman a été utilisée pour corréler *NEffCv* avec le nombre de jours de retard jusqu'à l'abattage dû au fait qu'un animal n'avait pas atteint le poids cible («retard» par rapport à l'âge moyen dans chaque catégorie). L'information sur l'âge au moment de l'abattage était disponible pour l'ensemble des données.

Résultats et discussion

Analyses exploratoires de l'efficacité de l'azote

La procédure de sélection des modèles a identifié l'essai partiel, la variante, le sexe de même que les résidus de PV et l'âge comme variables importantes (tabl. 2). Comme prévu, les effets du PV et de l'âge sur *NEffCv* et

⁴Dans les statistiques bayésiennes, l'intervalle HPD (*highest posterior density interval*) correspond à la plage de la distribution *a posteriori* pour l'intervalle de confiance donné. Cela signifie que la vraie valeur se situe dans cette plage avec la probabilité donnée.

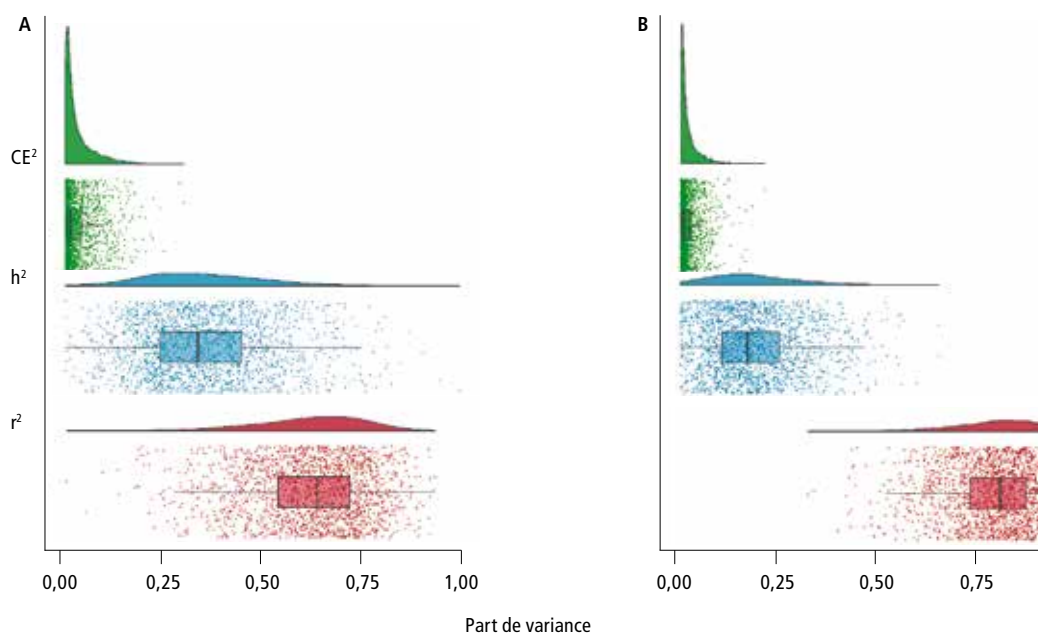


Figure 3 | Héritabilité (h^2 , bleu), effet environnemental commun (CE^2 , vert) et variance résiduelle (r^2 , rouge) de *NEffCv* (A) et de *NEffCa* (B). Les distributions *a posteriori* des composantes de variance respectives sont représentées sous forme de variables aléatoires à densité (parties supérieures) et les points représentant les différentes estimations des modèles sont illustrés à l'aide de boxplots (parties basses; avec médiane, intervalle interquartile et 5^e – 95^e percentiles).

$NEffCa$ dépendent aussi bien du sexe que de la variante: les jeunes verrats les plus lourds et les plus âgés présentaient une plus grande efficacité que les femelles et les porcs castrés, tandis que les animaux plus jeunes et plus légers ne différaient pas selon le sexe. Les animaux du CO affichaient un $NEffCv$ et un $NEffCa$ plus faibles en fonction de l'âge et du PV croissants, tandis qu'ils sont demeurés relativement inchangés dans le RP pendant toute la période expérimentale. L'effet de la variante sur $NEffCv$ et $NEffCa$ a été influencé par le sexe: les jeunes verrats dans le RP étaient moins efficaces que les femelles et les porcs castrés dans le RP. L'influence de l'âge sur $NEffCv$ et $NEffCa$ d'un porc au moment d'atteindre le poids cible variait selon le sexe. Les jeunes verrats dont la croissance a été retardée présentaient un faible $NEffCv$ et $NEffCa$. Cet effet semblait moins prononcé chez les porcs femelles et les porcs castrés. Ces résultats concordent avec ceux d'études antérieures et indiquent un besoin en AA digestibles dans la phase finale d'engraissement plus faible que recommandé actuellement, en particulier pour les porcs femelles et les porcs castrés (Ruiz-Ascacibar *et al.* 2017).

Paramètres génétiques de l'efficacité de l'azote

Les modèles animaux ont montré des héritabilités faibles à modérées et les intervalles HPD de 95 % ont été nettement séparés de zéro, indiquant un résultat statistiquement significatif (fig. 3). L'héritabilité de $NEffCv$ était supérieure à celle de $NEffCa$ ($h^2_{NEffCv} = 0,32 [0,15; 0,59]$ et $h^2_{NEffCa} = 0,16 [0,08; 0,41]$). Cette différence marquée indique que l'environnement, en particulier l'âge, le PV et la variante, a une forte influence sur l'endroit où les pro-

téines alimentaires sont fixées. Outre une plus grande plasticité de ce caractère, cette différence pourrait également être due à un manque de puissance statistique. En plus de la variation génétique, l'environnement commun a aussi contribué à la variation phénotypique de $NEffCv$ ($CE^2 = 0,13 [0,08; 0,27]$) et de $NEffCa$ ($CE^2 = 0,16 [0,09; 0,25]$), ce qui suggère que l'efficacité de l'azote des individus ayant le même environnement était semblable à celle des animaux élevés dans des box séparés. Ces effets comprennent les effets maternels (p. ex. l'influence de la physiologie maternelle sur le métabolisme des descendants) et peut-être une composition similaire du microbiome intestinal, mais ils ont joué un rôle mineur comparativement à l'héritabilité (fig. 3). À noter que le nombre de verrats reproducteurs et de truies reproductrices dans cet ensemble de données était faible, ce qui se reflète dans des intervalles HPD relativement larges. Les estimations doivent donc être interprétées avec prudence, car le petit nombre de génotypes différents peut éventuellement influencer les valeurs estimées. D'autres essais avec un plus grand nombre d'individus et une plus grande variabilité génétique sont donc nécessaires pour obtenir des estimations plus fiables.

Nous avons trouvé pour $NEffCv$, mais pas pour $NEffCa$, une indication pour une interaction G × E (LRT, $\chi^2_{corps\ vide} = 17,18; df = 3, p < 0,001, \chi^2_{carcasse} = 1,10; df = 3, p = 0,778$). Concernant le $NEffCv$, les génotypes réagissent différemment selon la variante d'aliment, mais ce n'est pas le cas avec $NEffCa$ (fig. 4). Cependant, il est possible qu'une interaction G × E dans $NEffCa$ ne soit pas reconnaissable en raison d'un manque de puissance statistique.

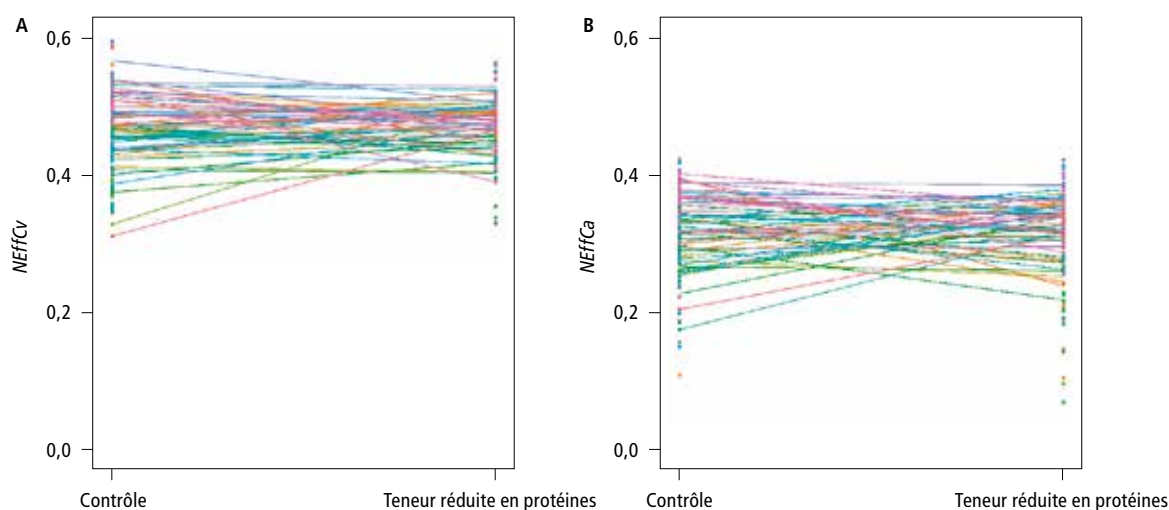


Figure 4 | Interactions génotype-environnement pour $NEffCv$ (A) et $NEffCa$ (B) dans les différentes variantes d'essai. Les changements de l'efficacité moyenne de N pour chaque portée (au lieu du génotype) sont indiqués par une ligne de couleur.

Corrélations phénotypiques

Nous avons constaté une faible corrélation négative de *NEffCv* et du nombre de jours de retard jusqu'à l'abattage (tabl. 2). En supposant un schéma similaire des corrélations phénotypiques et génétiques, cela peut signifier une prolongation de la période d'engraissement par la sélection de l'efficacité de l'azote. *NEffCv* a une corrélation positive avec l'efficacité de P, la sélection de l'efficacité de N pouvant également conduire à une augmentation de l'efficacité de P (tabl. 3). Ce serait un effet souhaitable en termes de réduction de l'impact environnemental de l'élevage porcin. La composition corporelle n'a pas corrélation avec *NEffCv* (tabl. 3); par conséquent, les effets négatifs d'une telle sélection sont peu probables.

Conclusions

Les résultats provisoires indiquent que la sélection peut améliorer l'efficacité de l'azote. L'héritabilité de *NEffCv* était de 32 % et celle de *NEffCa* de 16 %. Tous deux sont similaires aux héritabilités connues des autres caractères économiquement importants (Lo *et al.* 1992; Suzuki *et al.* 2005). *NEffCa* reflète la proportion de morceaux nobles et devrait de préférence être utilisé pour la sélection. À noter que les facteurs génétiques expliquent

au mieux 32 % de la variation de l'efficacité de l'azote et que près de 70 % de cette variation est donc influencée par les effets environnementaux. Les pratiques de gestion, par exemple l'alimentation en phases, peuvent réduire encore davantage la consommation d'AA. Nous n'avons pas été en mesure d'identifier des conflits d'objectifs marqués entre l'efficacité de N et d'autres caractères économiquement importants, à l'exception d'une éventuelle légère prolongation de la période d'engraissement. Les conflits d'objectifs possibles avec la fertilité, l'agressivité et la qualité de la viande devraient faire l'objet d'études futures. La réduction de la teneur en AA dans l'alimentation des porcs pourrait faciliter la production porcine conventionnelle et bio en Suisse. Les cultures fourragères indigènes pourraient couvrir une plus grande proportion des besoins en AA. Les porcs dont les besoins en AA sont moins élevés pourraient atténuer l'impact global négatif de la production de viande porcine sur l'environnement, la Suisse servant de modèle à suivre (Baur 2011). À l'avenir, en plus d'une meilleure estimation des paramètres génétiques, des informations sur le lien entre l'efficacité protéique et les loci génétiques (SNP) seront nécessaires pour accélérer les progrès génétiques grâce à la sélection génomique. ■

Bibliographie

- Ordonnance sur les paiements directs à l'agriculture (910.13), 2013. Accès: <https://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19983379/index.html>[15.01.2019].
- Baur P., 2011: Sojaimporte Schweiz: Möglichkeiten und Grenzen der Reduktion/Vermeidung von Sojaimporten in die Schweiz. Eine Untersuchung im Auftrag von Greenpeace. Accès: https://www.greenpeace.ch/wp-content/uploads/2017/01/Greenpeace_Sojabericht.pdf [18.03.2019].
- OFAG, 2018: Contribution à l'utilisation efficiente des ressources pour les porcs – concrétisation de la mise en œuvre concrète. Accès: https://www.blw.admin.ch/dam/blw/de/dokumente/Instrumente/Direktzahlungen/Ressourceneffizienzbeitraege/REB_Schweine.pdf.download.pdf/REB_Schweine.pdf[15.01.2019].
- de Verdal H., Narcy A., Bastianelli D., Chapuis H., Mème N., Urvois S., Le Bihan-Duval E. & Mignon-Grasteau S., 2011. Améliorer l'efficacité de l'utilisation des aliments pour volailles par la sélection. 2. Paramètres génétiques des caractères d'excrétion et corrélations avec l'anatomie du tractus gastro-intestinal et l'efficacité digestive. *BMC Genet.* **12**, 71. Accès: <https://doi.org/10.1186/1471-2156-12-71>.
- Fearnside P. M., 2001. La culture du soja comme menace pour l'environnement au Brésil. *Environnement. Conserv.* **28**, 23–38.
- Henderson C. R., 1984. Applications des modèles linéaires à l'élevage. Université de Guelph, Guelph, CA.
- Lo L., McLaren D., McKeith F., Fernando R. & Novakofski J., 1992. Analyses génétiques de la croissance, des ultrasons en temps réel, des carcasses et des caractéristiques de qualité du porc chez les porcs Duroc et Landrace: II. Héritabilités et corrélations. *J. Anim. Sci.* **70**, 2387–2396.
- Notarnicola B., Tassielli G., Renzulli P. A., Castellani V. & Sala S., 2017. Impacts environnementaux de la consommation alimentaire en Europe. *J. Propre. Prod.* **140**, 753–765.
- OECD-FAO Agricultural Outlook 2017–2026 – Special Focus: Southeast Asia Paris: OECD Publishing; 2017. http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2017-en
- Poore J. & Nemecek T., 2018. Réduire les impacts environnementaux des aliments par l'intermédiaire des producteurs et des consommateurs. *Science* **360**, 987–992. Accès: <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>.
- Ruiz-Ascacibar I., Stoll P., Kreuzer M. & Bee G., 2018. La PP alimentaire et la restriction en acides aminés ont un impact différent sur la dynamique des dépôts de protéines, d'acides aminés et de graisse chez les porcs mâles, castrés et femelles entiers. *animal* **13**, 74–82. Accès: <https://doi.org/10.1017/S1751731118000770>.
- Ruiz-Ascacibar I., Stoll P., Kreuzer M., Boillat V., Spring P. & Bee G., 2017. Impact of amino acid and CP restriction from 20 to 140 kg BW on performance and dynamics in empty body protein and lipid deposition of entire male, castrated and female pigs. *animal* **11**, 394–404. Accès: <https://doi.org/10.1017/S1751731116001634>.
- Suzuki K., Irie M., Kadowaki H., Shibata T., Kumagai M., Nishida A., 2005. Genetic parameter estimates of meat quality traits in Duroc pigs selected for average daily gain, longissimus muscle area, backfat thickness, and intramuscular fat content. *J. Anim. Sci.* **83**, 2058–2065.

Riassunto**Parametri genetici dell'efficienza proteica di una popolazione suina svizzera**

L'allevamento suino contribuisce all'inquinamento ambientale a causa dell'emissione di composti azotati. Inoltre, l'ingrasso dei suini svizzeri comporta l'importazione di soia, poiché il loro fabbisogno proteico non può essere soddisfatto con proteine vegetali nazionali. Attraverso la riproduzione selettiva, è quindi auspicabile un miglioramento dell'efficienza proteica al fine di ottenere un tenore proteico uguale nella carcassa anche con un minore apporto di proteine grezze. Per la valutazione preliminare del potenziale di allevamento con una maggiore efficienza proteica e di azoto, sono stati stimati i parametri genetici di questa caratteristica nei suini della razza svizzera Edelschwein sulla base di risultati di test con mangimi a ridotto contenuto proteico. L'ereditabilità dell'efficienza proteica è stata stimata al 32 % nell'animale intero e al 16 % nella carcassa. Le correlazioni fenotipiche positive con l'efficienza del fosforo suggeriscono che l'allevamento con lo scopo di ottenere l'efficienza dell'azoto potrebbe anche aumentare quella fosforica. Tuttavia, ci si deve aspettare un leggero ritardo nella crescita dei suini efficienti sul profilo proteico. Occorrono ulteriori studi per migliorare la qualità delle stime e per ottenere informazioni sui geni responsabili dell'efficienza proteica.

Summary**Genetic parameters of protein efficiency in a Swiss Large White pig population**

Pork production contributes to environmental pollution through the emission of nitrogen compounds. In addition, pig fattening in Switzerland requires imports of soybean, since the protein requirement of feed cannot be met by domestic plant-protein sources alone. It is therefore desirable to improve protein efficiency, i.e. to achieve a similar protein uptake in the carcass with a lower intake of dietary crude protein, through selective breeding. For a preliminary evaluation of the potential of breeding for higher protein (i.e. nitrogen) efficiency, we used results of previous experiments with protein-reduced feed to estimate genetic parameters of this trait in Swiss Large White pigs. Heritability of protein efficiency in the empty body was estimated at 32 % and in the carcass at 16 %. Positive phenotypic correlations with phosphorus efficiency suggest that breeding for nitrogen efficiency could also increase this trait; however, a slight delay in the growth of protein-efficient pigs might be expected. Further studies are needed to improve the quality of estimates and to obtain information on the underlying genes of protein-efficient pigs.

Key words: pig breeding, nutrient efficiency, sustainability, selective breeding, heritability.