

# Evaluation génomique en single-step de la vitesse de développement dans 5 races bovines allaitantes

LEPERS A. (1), MARTIN P. (2), TAUSSAT S. (3)

(1) IDELE, 149 Rue de Bercy, 75012 Paris, France

(2) INRAE GABI, Domaine de Vilvert, 78352 Jouy-en-Josas, France

(3) Eliance, 149 Rue de Bercy, 75012 Paris, France

## RESUME

En élevage bovin allaitant, sélectionner des animaux qui se développent et se reproduisent rapidement permettrait de maximiser la productivité des animaux en réduisant les périodes improductives tout en limitant l'impact environnemental. Pour ce faire, nous nous sommes intéressés à l'amélioration génétique de la précocité de développement en sélectionnant les animaux sur la vitesse de développement, qui mesure la proportion du poids adulte atteinte au fil du temps. A partir d'une étude préliminaire montrant des paramètres génétiques favorables tels qu'une héritabilité moyenne de 0,24, la mise en place d'une évaluation génomique univariée de la vitesse de développement a été réalisée à l'aide d'un modèle single-step avec le logiciel HSSGBLUP. Pour cette évaluation, le jeu de données final comprenait des performances sur plus de 460 000 femelles Charolaises, 270 000 Limousines, 93 000 Blondes d'Aquitaine, 38 000 Parthenaises et 7 000 Aubracs, avec respectivement 8 000, 2 000, 4 000, 1 000 et 600 animaux génotypés. L'élaboration de l'évaluation génétique révèle que le gain d'un écart-type d'index équivaut à un gain de vitesse de développement de 0.00015 ce qui correspond à un gain de 9.86% et à une réduction du temps nécessaire pour atteindre la moitié du poids adulte de 1,3 mois. À un âge fixe, par exemple à l'âge de 15 mois, les animaux ont atteint 3.2% de leur poids adulte en plus. L'application en routine de l'évaluation est prévue dans un avenir proche, ouvrant ainsi la possibilité de sélectionner les animaux les plus précoces dans les élevages bovins allaitants.

## A single-step genomic evaluation of maturing rate index in French beef breeds

LEPERS A. (1), MARTIN P. (2), TAUSSAT S. (3)

(1) IDELE, 149 Rue de Bercy, 75012 Paris, France

## SUMMARY

In beef cattle farming, selecting animals that develop and reproduce quickly would maximise animal productivity by reducing unproductive periods while limiting environmental impact. To achieve this, the study focused on genetically improving developmental precocity using the maturing rate index performance, which tracks the proportion of adult weight the individual has reached over time. Based on a preliminary study showing favourable genetic parameters such as an average heritability of 0.24, a univariate genomic evaluation of maturing rate index was carried out using a single-step model with HSSGBLUP software. For this evaluation, the final dataset included performances on more than 460,000 Charolais females, 270,000 Limousines, 93,000 Blondes d'Aquitaine, 38,000 Parthenaises and 7,000 Aubracs, with 8,000, 2,000, 4,000, 1,000 and 600 animals genotyped respectively. The genetic evaluation revealed that gaining one standard deviation of the precocity of development genomic index equated to a maturing rate index increase of 0.00015, which corresponds to a 9.86% gain and a reduction of the time necessary to reach half of adult weight of 1.3 months. At a fixed age, for example 15 months, the animals reached 3.2% more of their adult weight. Routine implementation of this evaluation is anticipated in the near future, offering the opportunity to select the most precocious animals in beef cattle farming.

## INTRODUCTION

En France, les races allaitantes sont connues pour être plus tardives d'un point de vue précocité sexuelle et précocité de développement comparativement aux races étrangères (Angus, Hereford) et aux races laitières (Grimard *et al.*, 2018). Cette caractéristique s'observe notamment par l'âge à la puberté qui, pour les races laitières, est atteint généralement entre 9 et 12 mois, lorsqu'elles ont atteint 40 à 45% de leur poids adulte (Le Cozler *et al.* 2009). Pour les races allaitantes, la puberté apparaît plus tardivement, entre 14 et 17 mois (Dozias *et al.*, 2006 & D'Hour *et al.*, 1996). A cet âge, les femelles ont atteint entre 50 et 55% de leur poids adulte (Troccon et Petit 1989). Cette tardivité engendre une période d'engraissement plus longue ainsi qu'une mise à la reproduction retardée s'observant par un âge au premier vêlage élevé avec une moyenne de 35 mois pour l'ensemble des races allaitantes françaises (Guerrier et Leudet 2014). Réduire la durée de la période d'engraissement sans compromettre le résultat final, ainsi que diminuer la période improductive entre la naissance et la mise à la reproduction permettrait de maximiser le nombre de descendants et la

production de viande qui sont des facteurs économiques importants en élevage bovin allaitant. Réduire ces périodes improductives permettrait aussi de réduire l'impact environnemental pour une production équivalente. Pour atteindre ces objectifs, une des solutions serait d'améliorer la précocité de développement des animaux. En accélérant leur développement, les animaux atteindraient plus rapidement leur poids adulte par rapport à la moyenne, augmentant ainsi leur productivité.

Actuellement, dans le cadre de l'indexation IBOVAL, le poids des génisses est enregistré en ferme à différents stades physiologiques allant de la naissance au post-sevrage (Griffon *et al.*, 2017). Combinées au poids de carcasse qui est collecté en fin de vie par NORMABEV, ces différentes données de poids permettent d'estimer le développement des individus sur l'ensemble de leur vie à l'aide de l'équation de Brody (Brody S., 1945). Pour les races Charolaise, Limousine, Blonde Aquitaine, Parthenaise et Aubrac, une étude préliminaire sur un jeu de données test a révélé que la vitesse de développement était modérément héritable (Lepers *et al.*, 2022), oscillant d'une race à l'autre entre 0,22 et 0,25, avec une moyenne de 0,24. De plus, une variabilité génétique a

aussi été observée avec un coefficient de variation génétique moyen de 9% pour l'ensemble des races. Ces résultats ont ainsi montré qu'une sélection génétique sur la vitesse de développement était possible pour les races allaitantes. A contrario des poids avant sevrage et post-sevrage, la vitesse de développement n'est pas encore évaluée. Cette étude vise ainsi à développer une évaluation génomique de la vitesse de développement. La mise en place d'une évaluation génomique permettrait de sélectionner les animaux dès leur plus jeune âge, ce qui est particulièrement avantageux pour les caractères comme la vitesse de développement, où les phénotypes ne peuvent être estimés qu'en fin de vie de l'animal. L'élaboration d'une évaluation génomique est donc cruciale pour ce caractère.

## 1. MATERIEL ET METHODES

### 1.1. ESTIMATION DE LA VITESSE DE DEVELOPPEMENT

L'étude porte sur l'ensemble des femelles commerciales allaitantes nées depuis 1989 dans 5 races bovines : Charolaise, Limousine, Blonde d'Aquitaine, Parthenaise et Aubrac. Pour ces femelles, toutes les données de pesée enregistrées au cours de leur vie ont été utilisées. Il existe trois types de pesées : les poids de naissance obtenus à partir des déclarations des éleveurs, les poids obtenus lors des contrôles de performances (généralement effectués entre le sevrage et 24 mois) et les poids de carcasse mesurés à froid 24 heures après l'abattage et collectés par Normabev. Ce poids de carcasse a été ajusté à l'aide d'un rendement de carcasse estimé en fonction de la race pour obtenir le poids vif équivalent à l'abattage (Tableau 1).

**Tableau 1** Rendement carcasse utilisé en fonction de la race

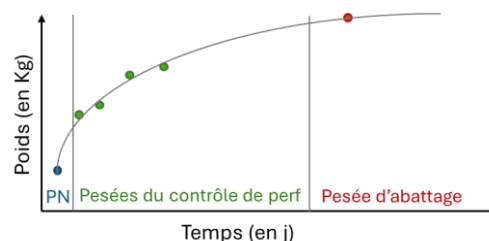
Race	Vache
Aubrac	0,585
Blonde d'Aquitaine	0,585
Charolaise	0,55
Limousine	0,565
Parthenaise	0,55

Pour éliminer les pesées aberrantes, seuls les poids compris entre -3,3 et +3,3 écarts-types ont été retenus. Pour une estimation précise de la précocité, seuls les animaux possédant au moins quatre poids et dont la dernière pesée a été réalisée à au moins 1460 jours de vie ont été retenus. Sur la base de ces poids, les phénotypes de poids adulte asymptotique et de vitesse de développement ont été estimés à l'aide de l'équation de Brody (Brody S., 1945). L'équation est la suivante :

$$\text{Poids}(t) = A(1 - b)e^{-\alpha t}$$

Avec A qui représente le poids adulte asymptotique, c'est-à-dire le poids maximal qui n'évoluera plus en fonction du temps; b représente la proportion du poids adulte asymptotique à gagner après la naissance (n'a pas d'interprétation biologique pertinente) ; k représente la vitesse de développement et enfin t représente l'âge de l'animal en jours. Le schéma représentant le calcul de la courbe de développement est représenté par la figure 1. Après le calcul de l'équation de Brody, les animaux dont l'erreur standard du poids adulte asymptotique était supérieure à 80 kg ont été exclus.

La distribution finale de la vitesse de développement ne suivant pas une loi normale, il a été fait le choix d'utiliser le log10 de la vitesse de développement pour l'évaluation génomique. Pour développer une évaluation génomique sans biais, seuls les animaux phénotypés faisant parties d'un groupe de contemporains composé au minimum de trois individus ont été retenus. De même seuls les animaux issus d'élevage utilisant au moins 3 pères différents ont été retenus pour assurer une connexion génétique.



**Figure 1** : Schéma du principe d'estimation des courbes de développement d'un animal

### 1.2. EVALUATION GENOMIQUE

À partir des phénotypes recueillis, une évaluation génomique univariée a été réalisée à l'aide d'un modèle single-step avec le logiciel HSSGBLUP (Tribout *et al.*, 2020). Le modèle génétique associé à cette évaluation comprend 7 effets fixes. Les 3 premiers effets fixes sont en lien avec la naissance de l'animal : un groupe de contemporains comprenant l'élevage de naissance et la campagne de naissance, la saison de naissance ainsi que la parité de la mère de la femelle. Les 4 autres effets fixes sont quant à eux en lien avec l'abattage : un groupe de contemporains comprenant l'élevage d'abattage et la campagne d'abattage, la saison d'abattage, la parité de la femelle et la durée entre le dernier vêlage et l'abattage afin d'approximer le temps d'engraissement. Enfin, le modèle génétique contient l'âge à l'abattage en covariable. Les paramètres génétiques utilisés ont été estimés dans une étude précédente (Lepers *et al.*, 2022).

### 1.3. ETUDE D'IMPACT DE L'EVALUATION SUR LES PERFORMANCES

Afin de connaître l'impact de l'évaluation génomique sur les performances de développement des animaux, une étude comparative a été réalisée entre les animaux ayant un index moyen (écart-type de 0) et ceux ayant un index supérieur de +1 écart-type. Cette étude s'est initialement concentrée sur les performances de vitesse de développement et sur le poids adulte asymptotique. Cependant la notion de vitesse de développement n'étant pas intuitive à comprendre, l'impact du gain d'un écart-type d'index a aussi été observé sur des performances plus tangibles pour les éleveurs comme le pourcentage de poids adulte atteint à 15 mois et l'âge auquel l'animal atteint 50% de son poids adulte.

## 2. RESULTATS

### 2.1. ANALYSE PHENOTYPIQUE

L'analyse phénotypique a été réalisée sur plus de 460 000 femelles Charolaises, 270 000 Limousines, 93 000 Blondes d'Aquitaine, 38 000 Parthenaises et 7 000 Aubracs, comprenant respectivement 8 000, 2 000, 4 000, 1 000 et 600 animaux génotypés (Tableau 2).

**Tableau 2** Nombre d'animaux et héritabilité utilisés dans l'évaluation génomique

Race	Nombre d'animaux dans le pedigree	Nombre d'animaux phénotypés	Nombre d'animaux génotypés	Nombre d'animaux dans la population de référence	Héritabilité
Aubrac	23 155	7 269	656	414	0,23
Blonde d'Aquitaine	171 204	93 718	4 737	3 856	0,22
Charolais	811 536	460 627	8 186	7 360	0,25
Limousine	449 507	270 417	2 433	2 179	0,24
Parthenaise	61 851	38 929	1 137	1 060	0,23

Les cinq races étudiées présentent des moyennes de vitesse de développement différentes (tableau 3). L'Aubrac est la plus précoce d'entre-elles avec une vitesse de développement moyenne de  $1,80 \times 10^{-3}$ . Viennent ensuite, par ordre décroissant, la Limousine, la Charolaise et la Blonde d'Aquitaine avec respectivement  $1,67 \times 10^{-3}$ ,  $1,57 \times 10^{-3}$  et  $1,43 \times 10^{-3}$ . La Parthenaise présente la vitesse de développement la plus faible avec  $1,34 \times 10^{-3}$ . Pour l'ensemble des races, les écarts-types phénotypiques varient entre  $0,27 \times 10^{-3}$  (Blonde d'Aquitaine) et  $0,47 \times 10^{-3}$  (Aubrac).

**Tableau 3** Moyenne et écart-type de la vitesse de développement pour les femelles en entrée de l'évaluation pilote

Race	Perf moyenne	Ect
Aubrac	$1.80 \times 10^{-3}$	$0.47 \times 10^{-3}$
Blonde d'Aquitaine	$1.43 \times 10^{-3}$	$0.31 \times 10^{-3}$
Charolaise	$1.57 \times 10^{-3}$	$0.33 \times 10^{-3}$
Limousine	$1.67 \times 10^{-3}$	$0.35 \times 10^{-3}$
Parthenaise	$1.34 \times 10^{-3}$	$0.27 \times 10^{-3}$

## 2.2. PRECISION DE L'INDEX VITESSE DE DEVELOPPEMENT

L'ensemble des effectifs et des héritabilités utilisés dans les évaluations est résumé dans le tableau 2. Pour la majorité des races, les CD moyens des animaux de la population de référence sont proches de 32 avec des écart-type moyens de 13,6 (tableau 4). Seule l'Aubrac a des CD plus faibles avec une moyenne de 18.

**Tableau 4** CD des animaux de la population de référence

Race	CD moyen	Ect	Min	Max
Aubrac	18	13,3	0	92
Blonde d'Aquitaine	31	13,5	0	99
Charolaise	32	14,8	0	100
Limousine	33	13,5	0	100
Parthenaise	34	12,9	0	99

Pour les animaux candidats (uniquement génotypés), les CD résumés dans le tableau 5 sont légèrement inférieurs à ceux de la population de référence. Les CD sont d'en moyenne 25 pour la majorité des races. A l'exception de l'Aubrac et de la Charolaise qui ont des CD moyen respectif de 3 et 40.

**Tableau 5** CD des animaux candidats

Race	CD moyen	Ect	Min	Max
Aubrac	3	2,4	2	25
Blonde d'Aquitaine	25	6,1	13	49
Charolaise	40	5,5	24	56
Limousine	26	5,6	16	49
Parthenaise	25	6,2	16	46

## 2.3. APPORT D'UNE SELECTION SUR LA VITESSE DE DEVELOPPEMENT

Une amélioration d'un écart-type d'index permettrait un gain de vitesse de développement moyen sur l'ensemble des races de  $0,155 \times 10^{-3}$  (tableau 6). Lorsque ce gain est exprimé en pourcentage, cela correspond à un gain moyen de 9,86%.

L'impact le plus important est observé sur la parthenaise avec un gain possible de 11,19% de vitesse de développement.

Au niveau du pourcentage de poids adulte atteint à 15 mois, les animaux ayant un index supérieur d'un écart-type voient leur performance supérieure d'en moyenne 3,2%. De la même manière lorsque la performance est exprimée en âge auquel l'animal atteint 50% de son poids adulte, ce gain d'un écart-type d'index montre que les animaux atteignent la moitié de leur poids adulte en moyenne 1,3 mois plus tôt que ceux ayant un index dans la moyenne.

Le poids adulte asymptotique est un des paramètres de l'équation de Brody avec lequel la vitesse de développement à une corrélation de -0,64 en moyenne. Le gain d'un écart-type d'index de la vitesse de développement a ainsi un impact négatif sur la performance du poids adulte d'en moyenne -40,6 kg. Lorsque cette baisse est exprimée en pourcentage, cela correspond à une baisse moyenne de -4,75%. Bien qu'une baisse soit observée sur la performance du poids adulte, en pourcentage cette baisse est 2 fois moins importante que le gain en pourcentage obtenu sur la vitesse de développement.

## 3. DISCUSSION

Le phénotypage de la vitesse de développement est très tardif car il nécessite que l'animal soit abattu après 4 ans d'âge pour pouvoir être estimé. Ainsi l'apport d'une évaluation génomique est d'autant plus important pour pouvoir sélectionner les animaux sur la vitesse de développement au jeune âge. Toutefois, les CD des candidats restent assez faibles, il est donc important de prendre en compte la précision de l'index lors de la sélection. Cette vigilance doit être d'autant plus forte pour la race Aubrac puisque celle-ci affiche des CD plus faibles que les autres races allant jusqu'à un CD moyen de 3 pour les animaux candidats. Seuls les animaux candidats de la race Charolaise possèdent des CD en moyenne élevés car la taille de la population de référence est supérieure. Génotyper les femelles avec performances serait une bonne stratégie pour augmenter la taille des populations de référence dans les autres races et donc la précision des estimations. Les pères génotypés des femelles non génotypées peuvent également contribuer à la population de référence mais cela interviendra très tardivement, le temps qu'ils soient mis en production et que leurs descendantes aient fait leur carrière et soient abattues.

Au jeune âge, la sélection d'animaux génétiquement plus précoces au niveau du développement corporel permettrait de gagner plus de 3% sur le pourcentage de poids adulte atteint à l'âge de 15 mois. Ce gain de précocité de développement peut aussi s'exprimer en temps avec une économie possible de plus d'un mois de vie pour que la femelle atteigne la moitié de son poids adulte. Ces femelles plus précoces pourraient donc atteindre plus rapidement les 50-55% de poids adulte qui sont observés pour atteindre l'âge à la puberté (Trocon et Petit 1989). Pour les génisses de renouvellement, une meilleure précocité de développement permettrait une mise à la reproduction plus jeune ce qui va engendrer une diminution de l'âge au premier vêlage et ainsi réduire la période improductive associée.

**Tableau 6** Correspondance du gain d'un écart-type d'index au niveau des performances associées à la courbe de Brody

Race	Vitesse de développement		Age auquel l'animal atteint 50% de son poids adulte	% de poids adulte atteint à 15 mois	Poids adulte	
	Gain de perf	Gain en %	Gain de perf	Gain de perf	Gain de perf	Gain en %
Aubrac	0,19 x 10 <sup>-3</sup>	10,43%	-1 mois	3.4 %	-35 Kg	-4,83%
Blonde d'Aquitaine	0,13 x 10 <sup>-3</sup>	9,15%	-1.4 mois	3.0 %	-50.7 Kg	-5,30%
Charolaise	0,15 x 10 <sup>-3</sup>	9,55%	-1.3 mois	3.2 %	-40.7 Kg	-4,63%
Limousine	0,15 x 10 <sup>-3</sup>	8,98%	-1.2 mois	3.0 %	-36.9 Kg	-4,55%
Parthenaise	0,15 x 10 <sup>-3</sup>	11,19%	-1.7 mois	3.5 %	-39.5 Kg	-4,45%

Ce gain de développement pourrait aussi être intéressant pour les systèmes valorisant des génisses au jeune âge en gagnant du temps sur l'engraissement ou en valorisant au même âge des animaux plus développés

En revanche, il est à noter qu'un gain génétique sur la précocité de développement a un impact négatif sur le poids adulte des animaux avec des baisses pouvant atteindre -50Kg en race Parthenaise. Cette baisse s'explique par une corrélation génétique fortement négative entre les 2 caractères avec une valeur de -0,64 de moyenne sur l'ensemble des races (Lepers *et al*, 2022). Cet impact est toutefois moitié moindre en pourcentage que le gain obtenu sur la précocité de développement.

## CONCLUSION

La précocité de développement est un caractère intéressant à sélectionner pour l'élevage bovin allaitant, car elle peut influencer la productivité et la rentabilité de l'exploitation tout en limitant l'impact environnemental. Cette étude révèle un gain possible de précocité, avec un poids à 15 mois supérieur, tout en ralentissant l'accroissement du poids adulte des animaux observé ces dernières années. Ce phénotype, qui dépend en partie des pesées du contrôle de performances et du poids à l'abattage, arrive après la fin de la carrière des animaux. Cela renforce le besoin d'obtenir un critère d'aide à la décision précoce par la mise en place d'une évaluation génomique. Cependant, la bonne précision de cet index dépend du nombre d'animaux dans la population de référence et un génotypage régulier de femelles est nécessaire. L'application en routine de l'évaluation est prévue dans un avenir proche, ouvrant ainsi la possibilité de sélectionner les animaux les plus précoces dans les élevages bovins allaitants.

*Ces travaux ont été permis par la réalisation du projet PRECOBEEF2, dont les auteurs remercient le financeur APIS-GENE.*

**Brody S., 1945.** Bioenergetics and Growth. Reinhold Publishing Corporation, New York.

**D'Hour P., Petit M., Garel J.P., 1996.** Effet de la conduite alimentaire sur le développement et l'âge à la puberté de génisses Limousines et Salers. Renc. Rech. Rum., 3, 233-236.

**Dozias D., Agabriel J., Pecatte J.R., Petit M., 2006.** Influence du profil de croissance des génisses des troupeaux allaitants sur leurs per-formances ultérieures. Bull. GTV, Dijon, France145-154.

**Griffon L., Boulesteix P., Delpeuch A., Govignon-Gion A., Guerrier J., Leudet O., Miller S., Saintillan R., Venot E., Tribout T., 2017.** La sélection génétique des races bovines allaitantes en France : un dispositif et des outils innovants au service des filières viande. In : Élevage bovin allaitant. Agabriel J., Renand G., Baumont R. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim., 30, 107-124.

**Grimard B., Agabriel J., Chambon G., Chanvallon A., Constant F., Chastant S., 2017.** Particularités de la

reproduction des vaches allaitantes de races françaises. In : Élevage bovin allaitant. Agabriel J., Renand G., Baumont R. (Eds). Dossier, INRA Prod. Anim., 30, 125-138.

**Guerrier J., Leudet O., 2014.** Résultats du contrôle des performances bovins allaitants. France, campagne 2013. Institut de l'Élevage, Paris, France, 107p.

**Lepers A., Aguerre S., Promp J., Taussat S., Vinet A., Martin P., Philibert A., Laramée A., Griffon L., 2022.** Renc. Rech. Ruminants, 2022, 26, 203.

**Tribout T., Ducrocq V. and Boichard D., 2020.** HSSGBLUP: a Single-Step SNP BLUP genomic evaluation software adapted to large livestock populations. Proc. of the 6th ICQG, Brisbane, Australia.

**Troccon J.L., Petit M., 1989.** Croissance des génisses de renouvellement et performances ultérieures. INRA Prod. Anim., 2, 55-64.