

Quels liens entre génétique et environnement ? Analyse environnementale des modes de sélection et reproduction dans l'espèce bovine

GAC A. (1), LE MEZEC P. (2), GUERRIER J. (3)

(1) Institut de l'Élevage, Service Environnement Bâtiment, Monvoisin, BP 85225, 35652 Le Rheu Cedex

(2) Institut de l'Élevage, Service Gestion et Sélection des Populations, 149, rue de Bercy, 75595 Paris Cedex 12

(3) Institut de l'Élevage, Service Gestion et Sélection des Populations, 9, allée Pierre de Fermat, 63170 Aubière

RESUME – Les apports de la sélection génétique pour réduire les impacts environnementaux de l'élevage ont été estimés par analyse de cycle de vie pour trois schémas de sélection et de reproduction en filière bovin lait (prim'holstein) et bovin viande (charolais) : insémination animale (IA) en sélection classique, IA en sélection génomique, monte naturelle. Avec moins de taureaux et des périodes plus courtes, les schémas génomiques produisent des doses avec un impact environnemental significativement plus faible que celles issues des schémas classiques (-25% à -71%). Une fois prises en compte au niveau des élevages, les doses d'IA mises en place et les saillies contribuent très peu à l'impact du lait ou de la viande (0,1% à 4,7%). En intégrant le progrès génétique permis par la sélection, en particulier en génomique, l'impact environnemental du lait et de la viande diminue jusqu'à -11% en 5 ans (à pratiques constantes).

What links between genetics and the environment? Environmental analysis of selection and reproduction modes in the cattle species

GAC A. (1), LE MEZEC P. (2), GUERRIER J. (3)

(1) Institut de l'Élevage, Service Environnement Bâtiment, Monvoisin, BP 85225, 35652 Le Rheu Cedex

SUMMARY – The genetic selection capacity to reduce environmental impacts of livestock was assessed by life cycle analysis of three selection and reproduction breeding schemes in dairy (prim'holstein) and beef (charolais) production: artificial insemination (AI) from classical selection, AI from genomic selection, natural service. With less bulls staying a shorter time in stations, genomic breeding schemes produced doses with a significantly lower environmental impact than classical schemes (-25% to -71%). When included at the farm level, doses from AI and services contribute very little to the impact of milk or beef meat (0.1% to 4.7%). Genetic progress allowed by selection, especially by genomic selection, reduces milk and meat impacts, with constant practices (by -11% in 5 years).

INTRODUCTION

Les préoccupations relatives à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, à la préservation de la qualité de l'eau ou encore aux consommations d'énergie nécessitent de plus en plus d'intégrer la dimension environnementale dans les systèmes de production animale. D'importants travaux ont été mis en œuvre afin d'apprécier le lien entre élevage et environnement et les filières mettent en place des stratégies de réduction de leurs impacts (Dollé et al. 2015).

Dans ce domaine, la génétique est souvent identifiée comme un levier favorable, mais peu d'investigations ont été conduites jusqu'à présent pour apprécier le lien entre génétique et environnement. Une étude a alors été conduite pour estimer l'apport de la sélection génétique dans la maîtrise des impacts environnementaux de l'élevage bovin.

Une analyse environnementale comparative de trois schémas de sélection et de reproduction rencontrés en filière bovin lait et bovin viande a été réalisée : insémination animale (IA) en sélection classique, IA en sélection génomique, monte naturelle (avec et sans évaluation des mâles). Cette étude précise les impacts environnementaux de ces trois schémas, exprimés par dose utilisée. Elle intègre également les effets au niveau des impacts du lait et de la viande produits dans les élevages, compte tenu du progrès génétique attendu dans les 5 ans pour chacun des schémas.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. DESCRIPTION DES MODES DE SELECTION ET REPRODUCTION

Pour réaliser leur analyse comparative, les trois schémas ont été décrits de manière indépendante, en recourant à la définition d'un processus-type, en le considérant de taille nationale et en croisière, comme si l'ensemble des actes de

reproduction se déroulait dans l'un ou l'autre des schémas. Ils sont décrits pour une race laitière (prim'holstein) et une race allaitante (charolaise). Ils comprennent les étapes de sélection des taureaux, de production de la semence et conditionnement en doses, puis de sa distribution et mise en place, ainsi que la phase d'élevage utilisant les semences.

Pour chaque schéma et pour chaque étape le constituant, des hypothèses sont fixées sur le poids des animaux à âge type (PAT), leur logement et alimentation, les consommations d'énergie, d'eau, les transports et sur les déchets produits.

1.1.1. Bovin lait

En se basant sur l'activité insémination de 2014, la dimension retenue pour un schéma de sélection national en race prim'holstein est 3,5 millions IA totales ou doses mises en place (1,8 million d'IA premières) par an. Un schéma de sélection classique porte annuellement sur 600 taureaux de testage, parmi lesquels 60 auront ensuite une utilisation non limitée, sur 6 années en moyenne, estimée à 58 000 doses par taureau. Un schéma de sélection génomique imaginé en croisière concerne 180 nouveaux taureaux chaque année, utilisés en moyenne 3,5 ans, avec pour chacun un cumul carrière de 19 000 inséminations.

Les étapes du schéma de sélection génomique avec leur durée et le nombre de taureaux concernés sont présentées en figure 1. Le schéma classique peut être décrit de la même façon en étapes liées aux différentes phases, dont certaines lui sont propres : testage, attente en lay-off (Tableau 1). Pour la reproduction en élevage à partir d'un schéma génomique, une option « semence sexée » est ajoutée (45% des génisses et 10% des vaches inséminées en semence sexée). Les progrès génétiques obtenus avec la sélection issue de ces deux schémas-types, ainsi que par le mode de reproduction en monte naturelle (MN), sont estimés d'après les bilans génétiques annuels (Institut de l'Élevage, 2015 (a) et (b)) (Tableau 2).

Tableau 1 : Description des schémas de sélection avec nombre de mâles sélectionnés à chaque étape et durée totale entre la naissance des mâles et la mise sur le marché des doses

Étapes :	Prim'holstein		Charolais		
	Classique	Génomique	Classique	Génomique	MN avec SE*
Plans d'accouplements	6000	14000	1680	3360	4800
Naissance des veaux	3000	6700	700	1400	4000
Génotypages et index	-	6000	-	1200	-
Visites élevages	-	-	500	-	4000
Station d'élevage ou contrôle individuel	1800	600	130	130	650
Fonction sexuelle	700	600	45	40	-
Production doses testage	600	-	30	-	-
Vente ou retour élevage	-	-	-	-	400
Lay-off	600	-	19	-	-
Production de doses	60	300	10	25	-
Distribution, mise en place, commercialisation	60	180	10	20	-
Délai naissance - mise sur le marché	4,5 ans	15 mois	5 ans	20 mois	14 mois

* MN avec SE : Monte Naturelle avec Station d'Evaluation

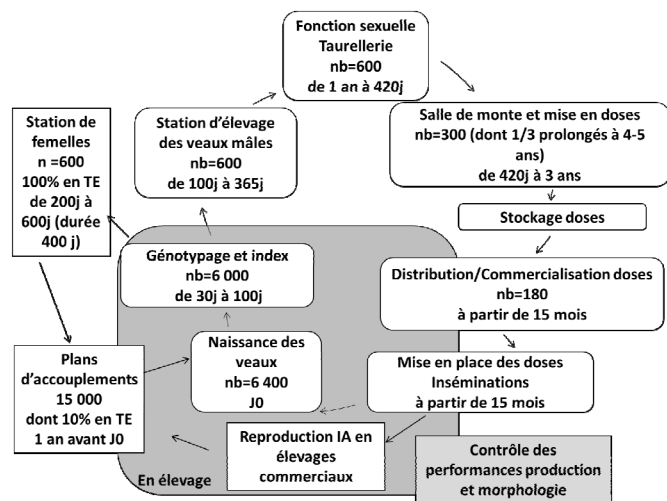


Figure 1 : Schéma de sélection génomique type prim'holstein

Les caractères pris en compte sont la production laitière, les comptages cellulaires, les mammites, la fertilité, la longévité, et sont exprimés en « équivalent kg de lait », d'après les travaux OSIRIS (Guerrier et al., 2013).

Tableau 2 : Hypothèses de progrès génétiques sur 5 ans selon le type de schéma de sélection (bovins lait)

Schéma classique	603 éq. kg lait
Schéma génomique	898 éq. kg lait
Schéma génomique+ semence sexée	915 éq. kg lait
Monte naturelle	578 éq. kg lait

1.1.2. Bovin viande

Un schéma classique en race charolaise est basé sur un contrôle de la descendance en station. Quand ce type de schéma existait encore, 10 taureaux étaient choisis à la fin du testage pour devenir des taureaux de service. Chaque taureau était utilisé environ 8 ans à raison de 20 000 doses mises en place.

En bovin viande, le schéma génomique considéré double le nombre de taureaux commercialisés par rapport au schéma classique (soit 20 taureaux) et limite leur utilisation à 4 ans et 10 000 doses mises en place. Les taureaux commencent leur carrière bien plus tôt qu'en schéma classique (20 mois vs 5 ans). Les étapes du schéma de sélection génomique avec leur durée et le nombre de taureaux concernés sont présentées en Figure 2. Le schéma classique peut être décrit de la même façon mais avec des phases supplémentaires : testage et attente en lay-off (Tableau 1).

Pour le schéma monte naturelle, deux cas ont été distingués : choix des taureaux dans une Station d'Evaluation (SE) et taureaux recrutés chez des éleveurs tiers. Dans les deux cas, le taureau est utilisé durant 3 ans et produit 75 veaux.

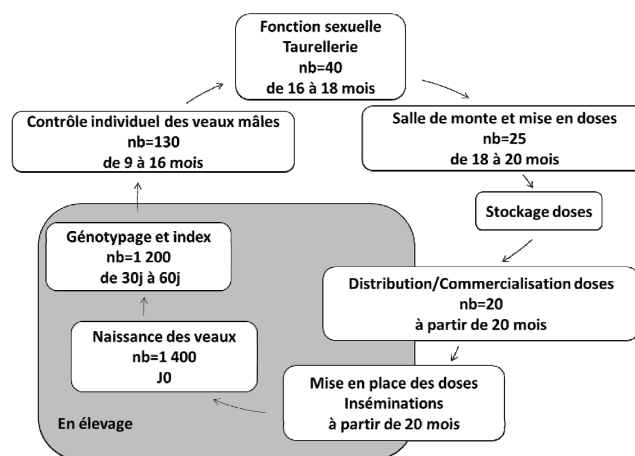


Figure 2 : Schéma de sélection génomique type charolais

Les progrès génétiques obtenus avec la sélection issue de chaque schéma-type ont été définis d'après les progrès génétiques observés en race charolaise pour les caractères croissance, aptitude au vêlage, facilité de naissance, allaitement et conformation (Tableau 3). Ainsi, on obtient un progrès génétique combiné des caractères d'importance pour la race charolaise équivalent à 2kg de PAT210j par an pour le schéma classique. Pour le schéma génomique, il a été estimé que les progrès sur les caractères croissance, allaitement et vêlage pouvaient être doublés en maintenant les autres caractères à leur rythme actuel. Pour les deux schémas monte naturelle, d'après les études sur les flux de reproducteurs (Miller, 2015), par rapport au schéma avec contrôle de descendance, le progrès est de moitié pour le schéma MN avec SE et du quart pour le schéma monte naturelle sans contrôle en station.

Tableau 3 : Hypothèses de progrès génétiques sur 5 ans selon le type de schéma de sélection (bovins allaitants)

Schéma classique	10 éq. kg PAT210j
Schéma génomique	16,8 éq. kg PAT210j
Monte naturelle avec évaluation	5 éq. kg PAT210j
Monte naturelle	2,5 éq. kg PAT210j

1.2. EVALUATION ENVIRONNEMENTALE PAR ACV

L'évaluation environnementale est réalisée par analyse de cycle de vie (ACV). Pour chacune des étapes des schémas décrits, un inventaire des flux entrants (animaux, consommations d'électricité, d'eau, d'azote liquide, etc.) et des flux sortants (émissions dans l'air, dans l'eau, dans les sols, déchets) est réalisé. Les données ont été collectées spécifiquement auprès d'entreprises de sélection, certaines sont issues d'une étude antérieure (USCdF, 2015), d'autres proviennent de références techniques (Institut de l'Élevage, 2010). Le logiciel CAP'2ER a été mobilisé pour toutes les

étapes avec une activité d'élevage, afin de calculer les émissions de polluants. Les données sur les impacts environnementaux des intrants (animaux, aliments, énergie...), sont issues de bases de données d'ACV française (ADEME, 2015) ou internationale (Ecoinvent V3.3). Le logiciel SIMAPRO (version 8.1.0.61) a été utilisé ensuite pour assembler les étapes de chaque schéma et pour faire le lien avec les bases de données d'ACV citées. L'ensemble des flux estimés sont ensuite convertis en impact environnemental potentiel, avec la méthode de caractérisation européenne ILCD 2015. Les catégories d'impact suivantes sont retenues : changement climatique (kg CO₂ eq), eutrophisation, décliné en eutrophisation terrestre (molc N eq), des eaux douces (kg P eq) et marine (kg N eq), acidification (molc H⁺ eq), épuisement des ressources minérales et fossiles (g Sb eq). Les résultats d'impacts sont exprimés à trois étapes, avec chacune leur unité d'expression : par dose utilisée, à la sortie de l'étape de production ; par dose à leur mise en place (ou par saillie réussie pour la monte naturelle) ; par kg de lait ou kg viande, à la sortie des élevages utilisateurs des semences.

2. RESULTATS

2.1. EVALUATION ENVIRONNEMENTALE DE LA PRODUCTION DE DOSES D'IA

2.1.1 Impacts environnementaux des doses utilisées, à l'issue de leur production

Dans le schéma prim'holstein, pour l'ensemble des impacts considérés, l'empreinte environnementale de la dose issue du schéma génomique est significativement plus faible que dans le schéma classique, de -50 à -71% en fonction des impacts (Tableau 4). L'effet du nombre de taureaux présents sur une longue période dans un schéma classique (600 taureaux en attente d'index pendant 4 ans) pèse lourd face à la présélection sur index génomique des veaux utiles, dont la plupart seront opérationnels dès 15 mois et vite remplacés.

De même, en charolais, les doses issues du schéma génomique ont des empreintes 25 à 60% plus faibles que les doses issues du schéma classique. En effet, la durée de présence en station des taureaux raccourcie à 1 an, et les index génomiques disponibles avant l'entrée en station permettent un meilleur rendement du schéma génomique, alors qu'il fallait dans un schéma classique attendre plusieurs années le verdict du contrôle sur descendance. Les schémas génomiques permettent donc de produire autant de doses avec moins d'animaux participant au schéma et sur une période plus courte, ce qui se traduit par des impacts environnementaux moindres.

2.1.2. Contribution des étapes des schémas et des sources aux impacts

L'impact environnemental des jeunes mâles entrant dans les schémas a une influence forte dans les résultats des impacts par dose. En prim'holstein il pèse pour 5 à 20% en fonction des impacts dans le schéma classique, comme en génomique. En race allaitante, cet intrant contribue pour 32% à 70% des impacts en schéma classique, et pour 17% à 60% en schéma génomique. Ceci est principalement lié au fait que l'impact d'un veau allaitant est presque 5 fois supérieur à celui d'un veau laitier. En effet, les impacts totaux générés

par un élevage laitier sont *in fine* alloués entre la production de lait et celle de viande (veaux vendus, vaches de réforme), ce qui n'est pas le cas en allaitant, où tout est alloué à la production de viande.

Dans les schémas classiques, la contribution de l'étape de station est de 31 à 42% (en fonction des impacts) en prim'holstein et dépasse généralement 50% en charolais. Cette forte contribution est en lien avec le nombre de mâles entrant dans le schéma de sélection et leur impact. C'est ensuite la phase de lay-off qui a la contribution la plus importante : en race laitière, de 22 à 47% en fonction des catégories d'impacts, en raison du nombre d'animaux concernés (600) et de sa durée (2,5 ans) ; en race allaitante de 17 à 62% (pour 19 mâles concernés, sur plus de 3 ans).

Dans le schéma génomique en race laitière, le nombre d'étapes étant moins important, c'est la phase de production de doses qui paraît la plus contributive aux différents impacts, hormis pour l'épuisement des ressources, où c'est la phase station d'élevage qui prime en raison des déplacements (visites pour plans d'accouplements et génotypages, ramassage des veaux). En charolais, c'est l'étape de contrôle individuel qui devient proportionnellement plus importante pour atteindre 77 à 92% des contributions (influence de l'impact du veau en entrée dans le schéma).

La plupart des résultats d'impacts environnementaux sont influencés par le poids environnemental des jeunes mâles entrants dans les schémas, et par la durée des étapes impliquant une activité d'élevage des reproducteurs (émissions liées à la fermentation entérique et aux déjections, achats d'aliments et d'énergie).

La catégorie d'impact épuisement des ressources est, quant à elle, directement en lien avec l'importance des transports et l'utilisation de carburants fossiles (visites pour choix des animaux, contrôle sur descendance, ramassage des animaux, diffusion et mise en place). Ce sont les étapes auxquelles sont associées ces activités qui contribuent le plus à cet impact (classique : lay-off en charolais, production de doses en prim'holstein ; génomique : station d'élevage).

L'utilisation d'azote liquide, spécifique à l'activité de sélection génétique, se traduit en particulier dans l'impact sur l'eutrophisation des eaux douces, pour 2 à 20% du résultat en fonction des schémas.

2.2. COMPARAISON DES DIFFERENTS SCHEMAS JUSQU'A LA PRODUCTION DE LAIT ET DE VIANDE

Le tableau 5 fournit les résultats d'impact comparés des différents schémas étudiés, aux étapes de production, puis de mise en place des doses ou saillie réussie et enfin à l'étape de production de lait et de viande en élevage. Deux impacts ont été sélectionnés pour analyser les résultats : le changement climatique et l'épuisement des ressources minérales et fossiles.

Les écarts entre les schémas classiques et génomiques observés à l'étape de la production de doses se retrouvent ici à l'étape de leur mise en place, en particulier pour l'impact sur le changement climatique, mais ils se resserrent pour l'impact sur l'épuisement des ressources. En effet, en schéma classique comme en génomique, en lait comme en viande, les déplacements associés à cette étape contribuent entre 90 et 95% à cet impact.

Tableau 4 : Impacts environnementaux des doses utilisées, à la sortie de l'étape de production, pour les schémas classiques et génomiques, en prim'holstein et charolais

Impact	Prim'holstein			Charolais		
	Classique	Génomique	Écart	Classique	Génomique	Écart
Changement climatique (kg CO ₂ eq)	4,42	2,20	-50%	11,71	7,60	-35%
Eutrophisation terrestre (molc N eq)	0,21	0,09	-56%	0,61	0,46	-25%
Eutrophisation eaux douces (kg P eq)	0,00068	0,00020	-71%	0,00114	0,00085	-25%
Eutrophisation marine (kg N eq)	0,017	0,006	-65%	0,026	0,018	-30%
Acidification (molc H ⁺ eq)	0,048	0,021	-57%	0,138	0,104	-25%
Epuisement des ressources (g Sb eq)	0,034	0,010	-70%	0,059	0,024	-60%

Tableau 5 : Impact sur le changement climatique (en kg CO₂ eq) et sur l'épuisement de ressources (en g Sb eq) des différentes étapes des schémas étudiés, par dose produite, par dose mise en place et par kg de lait ou kg de viande en années N et N+5.

	Classique		Génomique		Monte naturelle		Monte naturelle (SE)	
	kg CO ₂ eq	g Sb eq	kg CO ₂ eq	g Sb eq	kg CO ₂ eq	g Sb eq	kg CO ₂ eq	g Sb eq
Prim'holstein :								
Dose à la production	4,42	0,034	2,20	0,010	-	-	-	-
Dose mise en place / Saillie	7,63	0,654	5,44	0,634	28,11	0,157	-	-
kg de lait année N	0,89	0,0043	0,89	0,0043	0,89	0,0042	-	-
kg de lait année N+5	0,82	0,0040	0,79*	0,0039	0,83	0,0039	-	-
Charolais :								
Dose à la production	11,71	0,059	7,60	0,0238	-	-	-	-
Dose mise en place / Saillie	14,92	0,679	10,85	0,644	192,13	0,767	185,02	0,607
kg de viande année N	11,98	0,0349	11,98	0,0348	12,21	0,0344	12,21	0,0341
kg de viande année N+5	11,81	0,0344	11,68	0,0340	12,17	0,0340	12,12	0,0339

* Ecart non significatif entre les schémas génomiques avec et sans semence sexée (respectivement 0,795 et 0,794 kg CO₂ eq / kg lait)

En effet, le nombre de saillies réussies par taureau et par an est faible comparativement aux doses d'IA mises en place par taureau et par an ; cela génère plus d'impacts environnementaux par unité. A l'inverse, l'impact sur les ressources fossiles est beaucoup plus faible, comparativement aux schémas avec IA. Les déplacements, très importants dans les schémas lait avec IA, sont inexistantes en monte naturelle.

En charolais, le constat est le même pour l'impact sur le changement climatique. Par contre, les écarts pour l'impact sur l'épuisement des ressources, en lien avec les kilomètres parcourus, sont moins significatifs.

Une fois intégrées dans le périmètre des élevages laitiers et allaitants, les doses d'IA mises en place et les saillies contribuent pour 0,1% à 4% de l'impact du lait sur l'ensemble de son cycle de vie et pour 0,1% à 4,7% de l'impact de la viande (changement climatique et épuisement des ressources respectivement) (Tableau 5). Leur prise en compte n'introduit pas de distinction dans l'impact environnemental du lait, et un écart de moins de 2% entre l'impact environnemental de la viande issue d'un schéma avec IA ou avec monte naturelle.

Le progrès génétique permis par la sélection, fait diminuer l'impact environnemental du lait et de la viande, et ce quel que soit le schéma, avec un effet toutefois bien moindre en monte naturelle. L'utilisation de semence sexée en lait n'introduit pas de différence significative par rapport au schéma génomique type. Les gains de production dans le temps constituent un effet de levier important, permettant une baisse jusqu'à 11% de l'empreinte carbone du lait en 5 ans, à pratiques constantes (Tableau 5).

3. DISCUSSION

Les résultats environnementaux obtenus découlent de descriptions de schémas-types distincts, qui pour certains ne sont pas encore observés sur le terrain en rythme de croisière. De ce fait, leur construction a nécessité de poser nombre d'hypothèses, qui pourraient être révisées ou consolidées ultérieurement, dans l'optique de dresser un bilan qui corresponde à la réalité des usages ou pour réaliser une étude de sensibilité des résultats aux hypothèses. Par exemple, les kilomètres associés à la mise en place des doses ont fait l'objet d'une estimation, appliquée uniformément en schémas laitiers et allaitants. De même, en schéma génomique avec semences sexées les spécificités liées à la production de doses (laboratoire) et l'effet sur le nombre de veaux mâles vendus pourraient être mieux prises en compte.

En ce qui concerne le progrès génétique permis, il a été décidé de l'évaluer à un horizon de 5 ans. Il apparaîtrait toutefois plus judicieux de réaliser une estimation de ce progrès à 8 ans, quand les effets de la sélection dans les élevages sont plus visibles.

CONCLUSION

L'activité de sélection génétique est peu contributrice aux impacts du lait et de la viande bovine sur leur cycle de vie. Toutefois, le progrès génétique permis par la sélection fait à terme diminuer l'impact environnemental du lait et de la viande. Un net avantage des schémas génomiques apparaît, qu'il s'agisse de l'empreinte environnementale des doses, ou de l'effet d'accélérateur de réduction des impacts permis par le progrès génétique : +1% par an, en comparaison avec la monte naturelle en race laitière.

Plusieurs postes clés ont une influence importante dans les résultats : les transports, la durée des étapes du schéma, le nombre d'animaux impliqués. Tout ceci doit permettre d'identifier les points d'amélioration possibles à chaque maillon des schémas. Ainsi, la méthodologie produite et les références formalisées pourront être utiles à toute entreprise de sélection, afin de lui permettre d'analyser sa propre situation, de se projeter ou encore de communiquer.

Par ailleurs, avec les résultats fournis, la génétique peut désormais être intégrée dans les études d'évaluation environnementale des systèmes bovins. D'une part, les doses ou les IA (ou saillies) pourront être comptabilisées comme un intrant des systèmes d'élevage pour contribuer à leur empreinte environnementale. Les résultats d'impacts obtenus pourraient être proposés pour une intégration à la base de données AGRIBALYSE. Une intégration à l'outil CAP'2ER est également envisageable.

D'autre part, l'utilisation des informations sur les progrès génétiques attendus en élevage laitier comme en élevage allaitant, pourra être mobilisée dans des investigations sur les leviers possibles d'amélioration des impacts environnementaux de l'élevage.

Les auteurs tiennent à remercier ALLICE, commanditaire de l'étude, ainsi que les entreprises de sélection, Evolution et Umotest, qui ont permis l'accès à leurs données.

- ADEME, 2015.** AGRIBALYSE® version 1.2, mars 2015.
Dollé, J-B., Moreau, S., Brocas, C., Gac, A., Raynal, J., Duclos, A., 2015. Elevage de ruminants et changement climatique, Institut de l'Elevage, Paris. p 24.
Guerrier J., Experton C., Patin S., Phocas S., 2013. Renc. Rech. Ruminants, 20, p142.
Institut de l'Elevage, 2010. Consommation d'énergie en élevages herbivores et leviers d'action. 91 p.
Institut de l'Elevage, 2015 (a). Bilan de l'indexation des races bovines laitières. CR 0015202017, 147p.
Institut de l'Elevage, 2015 (b). Bilan génétique des IA en races bovines laitières. CR 0015202015, 55p.
Miller S., 2015. Flux des reproducteurs 2014 dans les races bovines allaitantes. CR 0015203048, 39 p.
USCdF, 2015, Empreinte carbone d'une paille et d'un acte de mise en place. ALLICE. 27 p.