



Rôle de la génétique des ruminants dans la gestion de l'eau et du changement climatique

Version 1.2 du 30/09/2021, France Génétique Elevage – Laurent Journaux

Septembre 2021

Table des matières

Contexte.....	2
Quelle contribution de la génétique à la gestion de l'eau, à l'adaptation au changement climatique et à son atténuation ?.....	3
Des performances récoltées en milieu naturel sur tout le territoire.....	3
Des bases de sélection de grande taille.....	4
Une grande diversité raciale au service de l'adaptation aux changements.....	4
Des outils performants de sélection à la pointe du progrès scientifique.....	5
Une sélection en prise avec la réalité des conditions technico économiques de production.....	5
Une sélection qui a démontré son efficacité.....	6
Un progrès génétique qui se diffuse jusque dans les élevages de production.....	7
Des bases de données riches au service de la recherche.....	8
Une implication significative des territoires ultra marins et des collaborations internationales fortes.....	9
Faire encore plus demain grâce à l'exploitation des résultats des programmes de recherche en cours	9
Perspectives.....	10
Conclusion.....	10
Annexe : éléments techniques actuels et futurs de contribution de la génétique des ruminants à la gestion de l'eau et au changement climatique.....	11
Quels sont les principaux défis à relever concernant les capacités d'adaptation de l'animal pour répondre aux enjeux Eau et Changement Climatique ?.....	11
Quelles sont les pistes génétiques pour répondre à ces défis ?.....	12
Adaptation des objectifs de sélection.....	12
Développer la résilience globale par la diversité génétique à différentes échelles.....	15
En résumé.....	15
Principaux éléments de bibliographie.....	16

Contexte

La gestion de l'eau et du changement climatique ainsi que la contribution à l'atténuation de ce changement sont des enjeux majeurs à court terme pour l'agriculture, et l'élevage de ruminants en particulier.

Le ministère de l'agriculture a ouvert mi 2021 un Varenne agricole de l'eau et du changement climatique. Ce Varenne vise ainsi à identifier, avec l'ensemble des parties-prenantes (agriculteurs, ONG, élus...), des solutions concrètes et établir une feuille de route opérationnelle, pour nous permettre de nous doter des outils nécessaires à l'adaptation et à la protection de nos agriculteurs face aux aléas du changement climatique, en complément des premières mesures mises en œuvre dans le cadre du volet agricole du plan France Relance.

Pour conduire la réussite de ces ambitions, trois groupes de travail ont été constitués autour des thématiques suivantes :

- 1. Se doter d'outils d'anticipation et de protection de l'agriculture dans le cadre de la politique globale de gestion des aléas climatiques.**
- 2. Renforcer la résilience de l'agriculture dans une approche globale en agissant notamment sur les sols, les variétés, les pratiques culturales et d'élevage, les infrastructures agroécologiques et l'efficacité de l'eau d'irrigation.**
- 3. Accéder à une vision partagée et raisonnée de l'accès aux ressources en eau mobilisables pour l'agriculture sur le long terme.**

France Génétique Elevage a rédigé ce document pour porter à la connaissance du groupe de travail numéro 2 la contribution de l'amélioration génétique des ruminants pour relever ces défis.

Quelle contribution de la génétique à la gestion de l'eau, à l'adaptation au changement climatique et à son atténuation ?

L'amélioration génétique des ruminants est un levier important d'adaptation aux ressources en eau et au changement climatique.

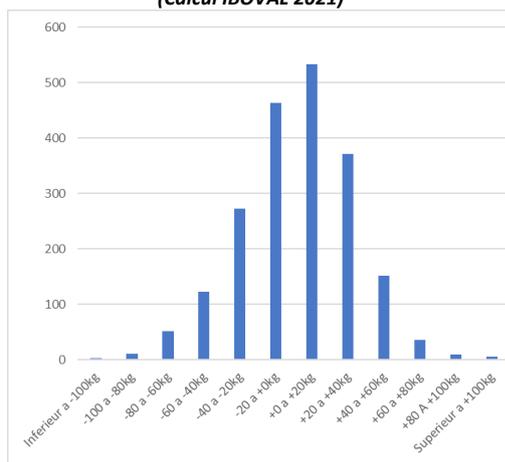
Des performances récoltées en milieu naturel sur tout le territoire

Tout d'abord il faut rappeler que **les performances qui servent à la sélection des reproducteurs en ruminants sont mesurées en milieu naturel, dans des conditions réelles de production** et dans des **environnements de production très diversifiés**, tant sur le plan climatique que sur le plan des ressources alimentaires disponibles. **La sélection des animaux intègre donc la diversité des milieux de production et leurs évolutions notamment du fait du changement climatique.**

Les deux graphiques ci-dessous illustrent cette situation en race bovine charolaise :

- le graphique de gauche souligne les différences entre systèmes de production : entre les 15% des troupeaux les plus « extensifs » et les 15% de troupeaux les plus « intensifs », il y a un écart moyen de poids au sevrage des veaux d'environ 80 kg.
- La carte de droite donne la répartition géographique des vaches en contrôle de performance montrant qu'elles sont réparties sur tout le territoire français.

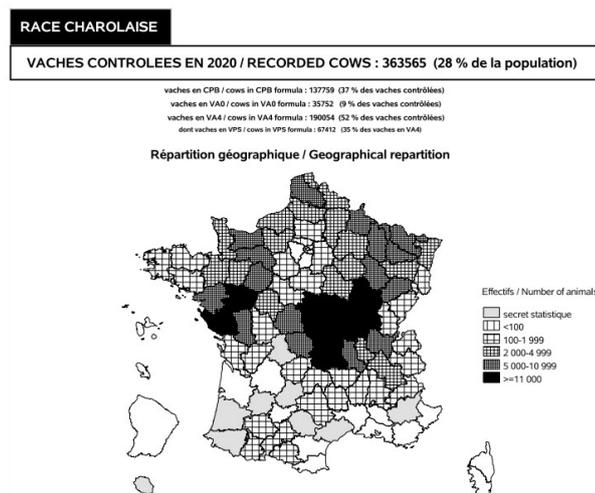
Distribution des effets troupeaux sur le poids à 210 jours en Charolais
(Calcul IBOVAL 2021)



Effectif : 2026 troupeaux

<http://idele.fr/domaines-techniques/ameliorer-le-troupeau/index-resultats/publication/idelesolr/recommends/statistiques-nationales-raciales-bgta-2021.html>

Répartition géographique du contrôle des performances en race bovine charolaise



http://idele.fr/no_cache/recherche/publication/idelesolr/recommends/resultats-du-contrôle-de-performances-des-bovins-allaitants-france-campagne-2020.html

Des bases de sélection de grande taille

Et les bases de sélection, c'est-à-dire les animaux qui contribuent directement à l'amélioration génétique d'une race, sont de grande taille, en nombre et en pourcentage de la population dans toutes les espèces :

Chiffres clés du dispositif génétique français 2020

Le cheptel

Espèces	Nombre total	% de femelles filiales	En contrôle de performances	Femelles inséminées
Vaches laitières	3 654 000	87 %	2 353 384	2 277 792 (V) 847 898 (G)
Vaches allaitantes	3 826 000	39 %	1 015 864	398 212 (V) 209 825 (G)
Brebis laitières*	1 661 000	54 %	902 411	511 364
Brebis allaitantes	3 668 000	8 %	310 022	123 300
Chèvres	885 000	20 %	412 000	73 747

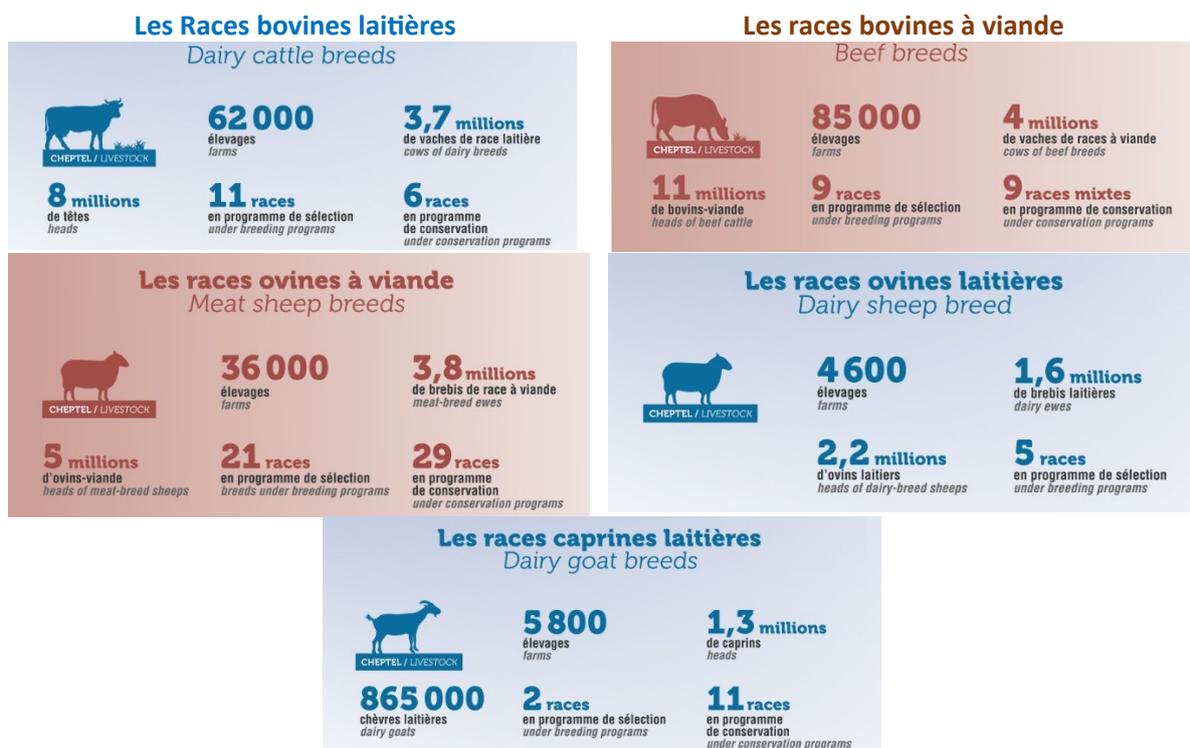
* Données 2020

Sources : Institut de l'Élevage, Alice, FCEL, ANIO, CNBL, BDNI, SSP, CAPGENES

V : Vaches - G : Génisses

Une grande diversité raciale au service de l'adaptation aux changements

D'autre part, les organisations professionnelles et les pouvoirs publics français ont été, et sont toujours, attentifs à maintenir une **grande diversité de races en sélection et en conservation** pour exploiter au mieux les aptitudes de chacune d'elles et leur **adaptation spécifique aux milieux** (parcours, montagne, ingestion de fourrages grossiers, adaptation à la chaleur...).



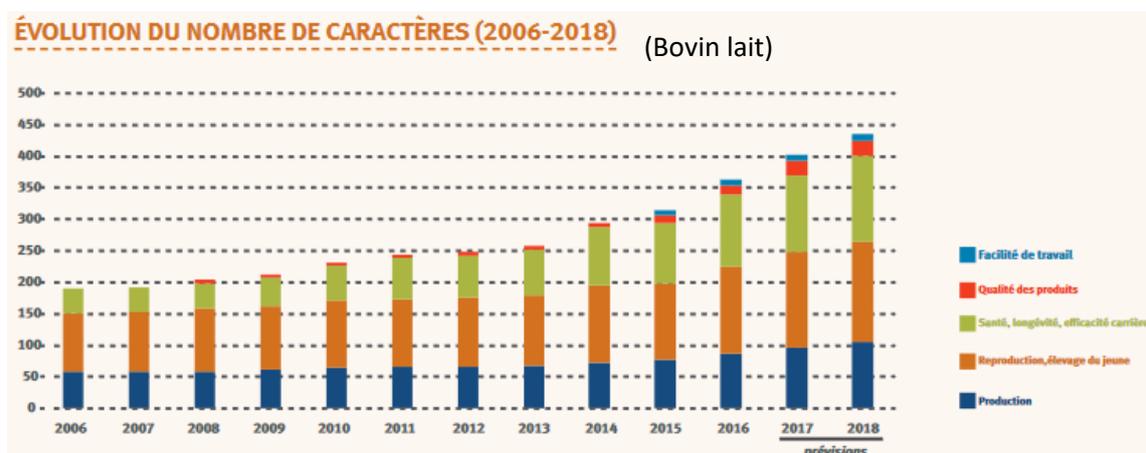
Des outils performants de sélection à la pointe du progrès scientifique

L'organisation française de la sélection a aussi permis de **doter toutes les filières des outils les plus performants pour adapter la génétique des animaux à leurs conditions de production**. C'est en particulier le cas de la **sélection génomique** (choix des animaux à partir de la lecture de leur ADN), disponible pour les 3 espèces bovines ovines et caprines, ce qui fait de la France un cas unique au monde¹.

HISTOIRE DE LA SÉLECTION GÉNOMIQUE								
	AVANT 2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
BOVIN LAIT	Sélection assistée par marqueur	Puce 54k		Évaluations génomiques pour les 3 races nationales	Création d'EuroGenomics	Puce EuroG10k. Génotypage des femelles		Évaluation des jeunes taureaux Hostein des partenaires EuroGenomics dans le système français
BOVIN VIANDE	Programme Qualigène	Puce 54k			Outil de présélection génomique : Charolais, Limousin, BI Aquitaine	Puce EuroG10k	Programme de recherche GEMBAL	
OVIN	Résistance à la tremblante				Travaux sur la sélection génomique			
CAPRIN	Variants de la caséine Alpha S1					Génotypages des boucs d'IA. Puce 50k	1ère détection de DTL	Premières études de la faisabilité d'une évaluation génomique
	2014	2015	2016	2017	2018			
BL	Évaluation génomique internationale en race Brune. Officialisation internationale produite par Interbull en Holstein	Évaluation génomique nationale en race Brune. Optimisation des évaluations			Évaluations génomiques pour les races laitières régionales. Les éleveurs font génotyper 120 000 femelles			
BV					Première publication officielle d'index génomiques pour les races charolais limousin et blonde d'Aquitaine			Déploiement de la sélection génomique pour les races rustiques et régionales
OV		Déploiement de la sélection génomique en race Lacaune		Amplification de la sélection par gène en ovin allaitant		Déploiement de la sélection génomique en races pyrénéennes		
CAP	Comparaison de méthodes					Déploiement de la sélection génomique		

Une sélection en prise avec la réalité des conditions technico économiques de production

La **choix des reproducteurs**, se fait en milieu naturel et en condition réelle de production sur la base d'**index de synthèse économiques de marge brute de fonctionnement des ateliers**, avec la perspective d'intégrer demain des facteurs d'impact sociétal et environnemental. Cela garantit la meilleure **adaptation de la génétique aux systèmes de production et aux contraintes environnementales de ressources en eau ou de changement climatique**. Ce d'autant plus que ces index de synthèse intègrent une **large palette de caractères fonctionnels et d'adaptation** (santé, fertilité, longévité, morphologie fonctionnelle), comme l'illustre les deux graphiques ci-dessous en bovins lait et ovins lait.



¹ <http://fr.france-genetique-elevage.org/La-selection-genomique-accessible.html>

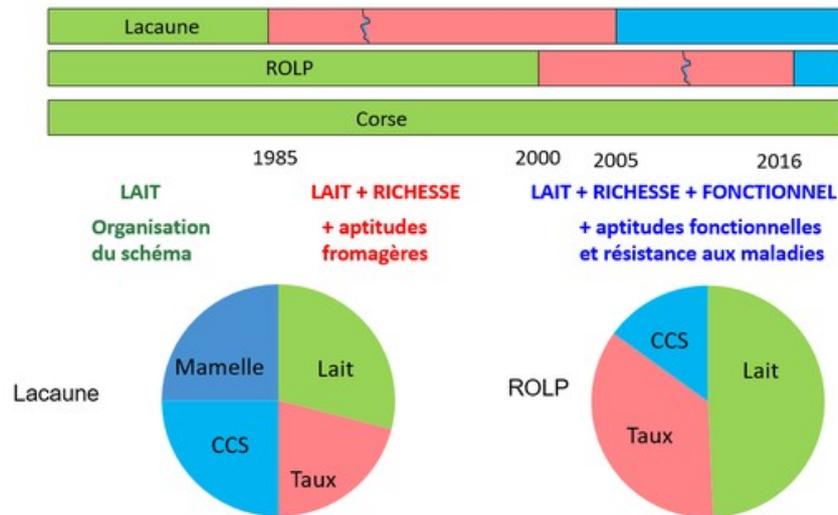


Figure 1 : progressivité des critères de sélection dans chaque bassin de production

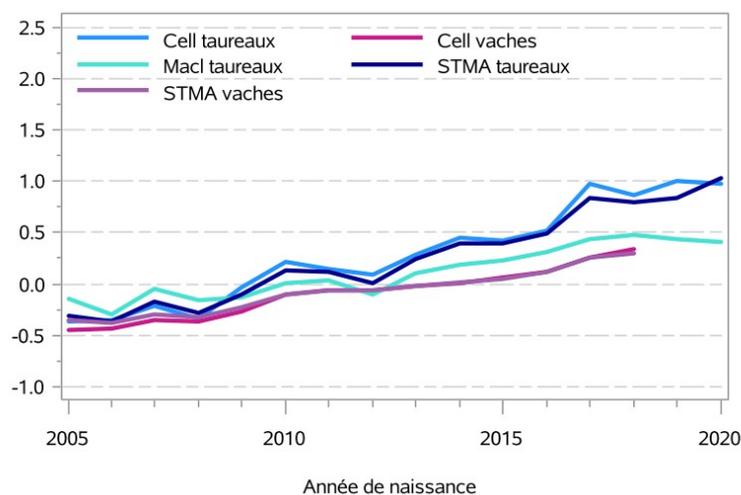
Ce processus de diversification des objectifs de sélection, impulsé depuis le début des années 2000 se poursuivra dans les dix prochaines années.

Une sélection qui a démontré son efficacité

Ces **constructions performantes de programmes de sélection** des organismes de sélection mis en œuvre sur le terrain dans des schémas de sélection efficace, tant voie mâle par l'Insémination Animale que par la monte naturelle, et la diffusion de femelles amélioratrices se traduit par des **progrès génétiques significatifs sur les index fonctionnels**.

Evolution des index de santé de la mamelle STMA (résistances aux infections mammaires) en race Normande

Santé de la mamelle (en points d'index)

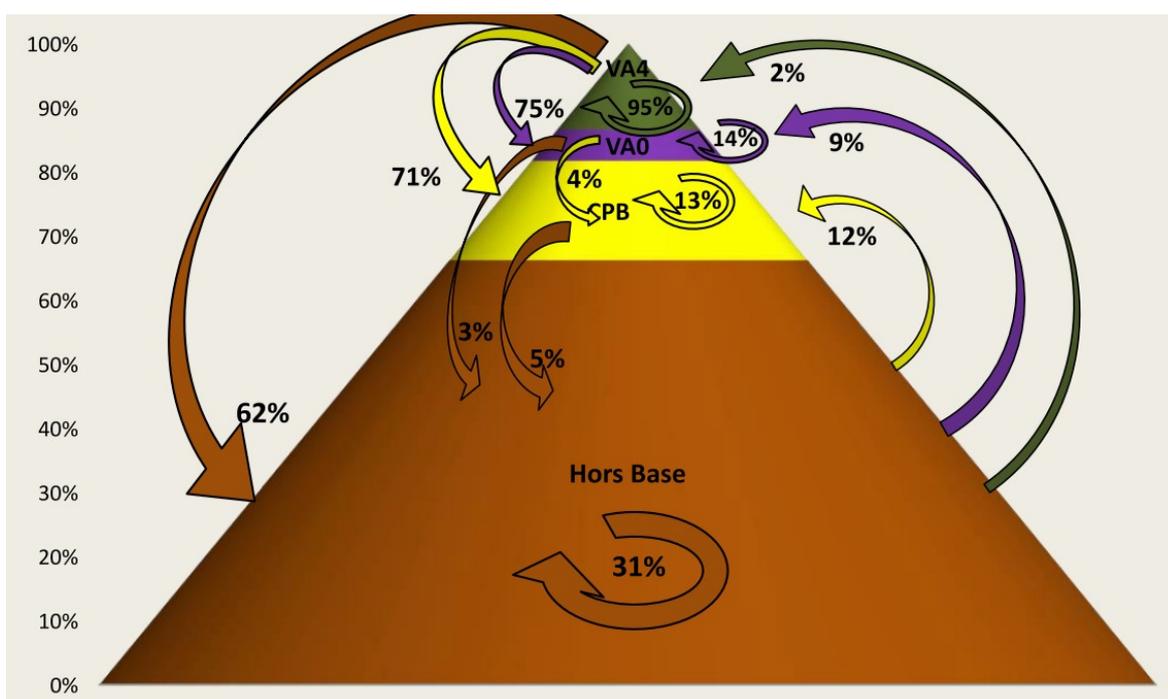


Source : Institut de l'Elevage - Bilan d'indexation des races bovines laitières - Résultats 2020 - CR n° 0021203002

Un progrès génétique qui se diffuse jusque dans les élevages de production

De plus ces évolutions du niveau génétique des animaux sélectionnés **se répercutent sur tous les élevages, grâce à une diffusion efficace du progrès génétique** comme l'illustre le graphique suivant en bovin viande.

**Synthèse des sources d'approvisionnement en reproducteurs
des élevages bovins viande,
toutes races confondues, veaux nés en 2018
(3,6 millions de naissances, 106 000 élevages)**



VA4, VA0 : élevages en contrôle des performances

CPB : élevages en certification de la parenté

Hors base : élevages hors des dispositifs de contrôle des performances et de la certification de la parenté.

Pour une catégorie donnée, les flèches de la même couleur indiquent les sources d'approvisionnement et la part représentée du total (par exemple 62% des naissances dans les élevages hors base de sélection -flèche marron- ont un père né dans la base de sélection, élevages en VA4 -vert-).

L'échelle à gauche donne la proportion de chaque catégorie d'élevage dans la population.

Source Idele : <https://idele.fr/detail-article/indicateurs-des-flux-de-reproducteurs-bv-campagne-de-naissance-2018>

Des bases de données riches au service de la recherche

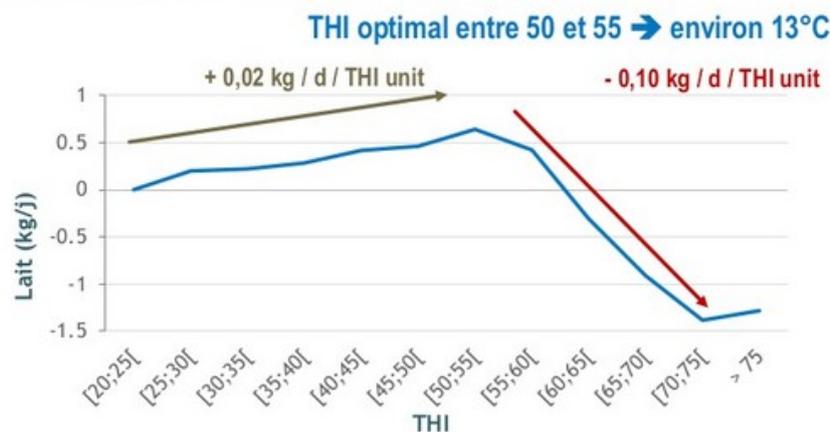
Par ailleurs, les **bases de données de grande taille constituées depuis les années 60**, grâce à un dispositif collectif de gestion des informations, peuvent être **interfacées avec les données climatiques** (ces analyses croisées ont déjà été expérimentées et se développent fortement dans des programmes de R&D). Ces études permettent de **mettre en œuvre des travaux fins pour mieux comprendre et interpréter les relations entre climat et production des animaux** et leurs évolutions dans le temps.



Premiers résultats



Effet du THI sur la quantité de lait produite à l'échelle de la population Montbéliarde



Thèse d'Aurélie Vinet

Une implication significative des territoires ultra marins et des collaborations internationales fortes

L'**existence dans les territoires ultra marins** comme les Antilles ou la Nouvelle Calédonie de productions animales de ruminants suivies dans le cadre de l'amélioration génétique ou de la conservation, avec un appui des instituts de recherche INRAE et CIRAD, offre des **opportunités d'anticipation du réchauffement climatique par des études sur la résistance ou la sensibilité aux stress thermique ou au parasitisme** (tiques², parasites gastro intestinaux)... On peut citer en particulier les travaux sur la mesure de la résistance aux tiques engagés avec la race limousine en Nouvelle Calédonie³.

Les **collaborations internationales** établies par la France au niveau européen et mondial, tant pour la recherche que pour les calculs de routine de valeurs génétiques (Interbull⁴) donne aujourd'hui **accès à des données et information collectées dans des conditions climatiques qui préfigurent celles qui devraient exister en France dans les prochaines décennies**, ce qui nous donne des leviers d'anticipation d'évolution des populations bovines laitières (Holstein, Montbéliarde, Brune) et allaitantes (Charolais et Limousin) aux conditions climatiques.

Faire encore plus demain grâce à l'exploitation des résultats des programmes de recherche en cours

Les atouts majeurs décrits précédemment, sont cependant encore insuffisants **face à la vitesse des changements engagés** au regard des progrès génétiques réalisables. L'annexe de ce document donne des détails sur les programmes de recherche en cours ou sur le point d'être engagé pour poursuivre le travail de sélection. **L'investissement dans la recherche pour développer de nouveaux caractères de sélection** prenant mieux en compte l'adaptation à de nouvelles conditions de production est très diversifiée. Il recouvre tout à la fois :

- Une recherche de l'amélioration de **l'efficacité alimentaire**, y compris en valorisant des fourrages grossiers, dans l'objectif d'obtenir à la fois de meilleure exploitation des ressources et de diminution de rejets de gaz à effets de serre.
- Le renforcement de la **résistance au stress thermique ou à des maladies émergentes**,
- L'augmentation de la **robustesse**⁵, et de la **résilience**⁶ des animaux.
- Une **révision globale des stratégies d'exploitation des races et de la variabilité génétique** disponible pour obtenir une **meilleure adaptation des animaux et systèmes**.
- **L'augmentation de la diversité génétique** intra troupeau et le recours à des politiques de croisement adaptées.

² <https://pdfs.semanticscholar.org/56fd/725a9a34d3708a32b167fedcc3b76f09a9b1.pdf>

³ <https://la1ere.francetvinfo.fr/nouvellecaledonie/elevage-la-race-limousine-caledonienne-reconnue-1016464.html>

⁴ https://interbull.org/ib/nat_publication_links

⁵ Capacité de l'animal à exprimer son potentiel de production dans une large gamme d'environnements sans compromettre sa santé physique et son bien-être

⁶ Capacité d'un système vivant à retrouver les structures et les fonctions de son état de référence après une perturbation

Perspectives

Même si les **progrès génétiques** sont plus rapides grâce à la sélection génomique, ils restent lents au regard d'autres leviers comme les adaptations de systèmes de production. Mais ils sont **cumulatifs**, c'est là toute leur force : les gains **se transmettent de génération en génération**. Cette efficacité est cependant conditionnée par le maintien de programme de sélection fondé un nombre suffisant d'individus pour lesquels les performances sont collectées, gérées et analysées.

Dans la durée, la **meilleure exploitation des outils existants, l'intégration rapide et efficace des résultats des recherches en cours**, au service de programmes de sélection optimisés, permettront une **meilleure adaptation des populations animales sélectionnées** à leur environnement et la diminution de leur impact sur le changement climatique.

L'ordre de grandeur des **progrès réalisable** est une variation des performances des animaux de l'ordre **10 à 20%** des performances moyennes actuelles sur un pas de temps d'une **quinzaine d'année**, comme cela a déjà été observé par le passé pour la diminution des émissions de gaz à effet de serre en élevage bovin laitier⁷. Par le passé ce progrès était du essentiellement à une augmentation de la productivité, il le sera dans le futur majoritairement par une **meilleure prise en compte des critères fonctionnels et d'adaptation**.

Conclusion

Les **filères génétiques ruminants sont déjà fortement mobilisées** avec les outils existants pour contribuer à la gestion des changements climatiques et de l'exploitation des ressources en eau, au service des filières de production de lait et de viande. Cette **mobilisation va encore s'amplifier** en exploitant les résultats des programmes de recherche en cours.

⁷ <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/gesebov-emissions-ges-ferme-bovine-2016-rapport.pdf>

Annexe : éléments techniques actuels et futurs de contribution de la génétique des ruminants à la gestion de l'eau et au changement climatique

Objet : Contribution de l'Institut de l'Elevage pour l'interprofession FGE dans le cadre des consultations du « Varenne Agricole Eau Changement Climatique ».

Cette annexe orientée outils et programme de recherche a été rédigée par Idele avec l'appui des deux UMT génétiques eBIS pour les bovins et GPR pour les ovins et caprins.

Cette note s'appuie essentiellement sur un travail approfondi conduit il y a quelques années en particulier par l'INRAE pour identifier les leviers d'adaptation notamment génétiques aux changements climatiques (et associés). Ces réflexions ont été produites dans le cadre du Club Climat (dont le dossier n°3 était dédié à la question génétique), de ReColAd network et du métaprogramme ACCAF.

Quels sont les principaux défis à relever concernant les capacités d'adaptation de l'animal pour répondre aux enjeux Eau et Changement Climatique ?

- **Les ressources alimentaires** : Les scénarios relatifs aux ressources fourragères (CLIMALAIT, CLIMATVIANDE...) prédisent
 - une augmentation de la variabilité inter-annuelle (disponibilité et qualité) ;
 - une disponibilité globalement équivalente mais répartie différemment au cours de l'année avec une pousse herbagère plus précoce et abondante au printemps puis une repousse active à l'automne mais une période estivale en fort déficit ;
 - Parallèlement il est à anticiper une hausse des prix des matières premières (céréales, soja...) causée par la hausse de la demande alimentaire mondiale, ce qui par répercussion impacte les coûts de production en élevage (prix des compléments et concentrés) et accroît le besoin d'autonomie protéique en particulier.
 - Il faut également considérer la tension sur la disponibilité des ressources en eau, qui impacte naturellement les cultures, mais également peut être une contrainte y compris pour l'eau d'abreuvement des animaux alors même qu'en période de fortes chaleurs cette ressource est plus sollicitée encore pour les besoins de régulation thermique accrue.

Il est hautement probable que ces évolutions conduisent à des changements importants de systèmes alimentaires (place du maïs en général, de l'herbe en été...)
- **Les conditions sanitaires** :
 - Augmentation du risque d'extension vers le nord de la diffusion de plusieurs pathologies à vecteur (leishmaniose viscérale, fièvre catarrhale ovine, fièvre du Nil...);
 - Parasitisme (strongles, tiques, myiases) ;
 - Les conditions climatiques avec une augmentation du risque caniculaire estival ont été mises en relation avec une augmentation de la prévalence de maladies

métaboliques, d'infections mammaires, d'états de faiblesse pouvant accroître la sensibilité générale aux maladies ;

- **Le stress thermique** : Bien que les seuils diffèrent d'une espèce à l'autre, il apparaît que l'élévation moyenne des températures (estivales) et les périodes caniculaires vont augmenter les périodes d'inconfort thermique et de stress thermique. Cela induit pour les races de ruminants d'élevage présents en France peu adaptées à ce type de conditions nouvelles, des pertes d'appétit, une réduction de la production, une altération de la reproduction et une dégradation du bien-être animal (On peut raisonnablement dire qu'aucune race bovine française n'est adaptée au chaud : elles sont déjà toutes en stress l'été dans les conditions actuelles...).

Notons que l'accroissement du risque incendie en période chaude lié à l'intensification des épisodes de sécheresse, conduira la société à développer l'emploi de solutions de prévention parmi lesquelles le recours aux ruminants pour le débroussaillage préventif. Ce service de l'élevage doit alors s'envisager en développant la capacité des animaux à valoriser des ressources ligneuses tout en restant en bonne santé et en capacité de production.

Quelles sont les pistes génétiques pour répondre à ces défis ?

L'orientation de la sélection dépendra fortement des systèmes de production futurs qui seront choisis : ira-t-on vers une artificialisation accrue du système (par exemple en bovin laitier) pour garder un système productif (type espagnol par exemple) ? ou vers un système plus extensif, auquel cas il faut privilégier beaucoup plus l'adaptation et (inévitablement) faire des compromis sur la productivité.

Dans tous les cas, la génétique offre plusieurs leviers d'adaptation :

Adaptation des objectifs de sélection

Objectif – pistes	Projets en cours ou démarrant	Recommandations futures
<p>Mieux exploiter les ressources alimentaires disponibles et être résilient face à leur variabilité : L'efficacité alimentaire en particulier au pâturage, et sur fourrages grossiers, compromis entre fonctions (production, reproduction, santé) avec une vigilance toute particulière sur les interactions avec les rejets de méthane entérique et les corrélations avec les caractères fonctionnels et de production.</p>	<p>Beefalim, Deffilait,...</p> <p>Liens avec Methabreed (corrélations génétiques) Smarter, IRMA et GIROL</p>	<p>Poursuivre les travaux pour aboutir à des évaluations génétiques adaptées à différents systèmes fourragers et pastoraux.</p> <p>Mettre en production une première équation génomique sur l'efficacité alimentaire en Charolais ?</p> <p>Maintien/développement de populations de référence avec régime amidon et/ou cellulose ? Développement des prédicteurs de l'efficacité et déploiement !</p>

<p>L'agroforesterie et plus généralement le recours à des ressources fourragères ligneuses en périodes de sécheresse ou de tension alimentaire sont également une piste d'adaptation à envisager. Par ailleurs, les ruminants pourraient être davantage encore mobilisés pour l'entretien des espaces naturels et boisés (débroussaillage préventif) pour prévenir les incendies</p>		<p>Développement de références sur la variabilité génétique de la valorisation des ressources ligneuses (haies, garrigues, forêts...)</p>
<p>Augmenter la robustesse : (1) développer le phénotypage et l'analyse du déterminisme génétique des caractères d'adaptation, (2) analyses des interactions entre génétique et milieu de production et des normes de réaction à partir de phénotypes de production soumis à des environnements difficiles, variables... :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Elargissement de la palette des caractères fonctionnels dont des capacités de marche/exploration des milieux, adaptations métaboliques, physiologiques et comportementales ▪ Capacités de rebond et de résilience <p>Développer une connaissance et des indicateurs génétiques intégrant les interactions entre génotypes et milieux d'élevage variés</p>	<p>MALO, SelViG, PrecoBeef...</p> <p>Smarter, GenTORE</p>	<p>Enjeu majeur nécessitant un investissement fort dans l'enregistrement des conditions d'élevage en complément du contrôle des performances zootechniques animales classiques, afin d'analyser les variations de production (ou autre caractères fonctionnels)</p> <p>Développer le phénotypage de précision dans toutes les espèces ou des méthodes approchées, particulièrement en petits ruminants où les données individuelles régulières ou journalières sont très rares. Capacité à la marche/valorisation et entretien préventif des milieux</p>
<p>Développer la thermo-tolérance</p>	<p>CaiCalor et Rumigen</p>	<p>Extension de l'approche pour caractériser l'ensemble des races et espèces. (contexte d'élevage « en lien avec le milieu ») Mesures fines (dans le temps et l'espace) des conditions météo à l'extérieur et en bâtiments.</p>

<p>Augmenter la tolérance aux maladies et gestion intégrée de la santé animale.</p>	<p>Sur la variabilité des populations métropolitaines : GenoSanté, MO3San, Paratuberculose, Paralut, Anthérin, Tepacap...</p> <p>Sur les aptitudes naturelles de races/espèces du Sud : Travaux sur les races Brahmans et sur l'élevage dans les DOM-TOM (INRAE, M. Naves : résistance à l'infestation par les tiques)</p>	<p>Des stratégies de sélection et de croisement d'introgession de facteurs de résistance à certaines maladies à partir de races tropicales ou races locales pourraient être nécessaires en cas d'émergence rapide de maladies nouvelles pour les races européennes.</p> <p>Développer des collaborations inter-régionales/internationales pour développer des connaissances à partir de milieux préfigurant les conditions à venir</p>
<p>Efficiene d'utilisation de l'eau par les ruminants et/ou résilience face à des difficultés d'accès temporaires (sur ce sujet de l'économie d'eau d'abreuvement, vue le rôle central de l'eau dans l'organisme, il faut être particulièrement vigilant aux interactions avec les autres aptitudes des animaux : santé, bien-être, production, ou encore capacité de tolérance à la chaleur, et par ailleurs bien mesuré l'intérêt relativement aux autres axes d'économie d'eau)</p>		<p>Une variabilité de l'efficiene d'utilisation de l'eau par les ruminants a été mise en évidence, et en espèce laitière l'export d'eau par la lactation représente un enjeu surement optimisable par une sélection davantage orientée vers les matières et l'efficiene de transformation en produits laitiers. Néanmoins les marges de progrès sont faibles au regard des autres postes de consommation d'eau d'une exploitation agricole (eaux blanches en bovin, irrigation des cultures...)</p> <p>Mais les économies potentielles d'eau sont à évaluer.</p> <p>On a aussi mis en évidence un lien entre ingestion et consommation d'eau. si on limite l'eau, on limitera l'ingestion de MS: lien avec travaux sur efficiene alimentaire...</p>
<p>Evaluation multicritère de la durabilité de la sélection génomique</p>		<p>Prise en compte des éléments économiques, environnementaux et sociétaux dans l'évaluation</p>

Développer la résilience globale par la diversité génétique à différentes échelles

Objectif - pistes	Projets en cours ou démarrant	Recommandations futures
Par l'élevage combiné de plusieurs espèces et races		Evaluer le gain de résilience effectif associé à différentes stratégies
Par l'exploitation du croisement entre races notamment entre « locales et rustiques » voire races/sous-espèces (zébu) vivant dans des environnements difficiles et races « productives »	GenTore EvaGenoc Expérience de croisement entre races bovines allaitantes et races de zébus	Poursuivre et amplifier la production de référence et aboutir à des indicateurs génétiques
Par l'exploitation de la diversité intra-race en développant la multi-compétence (diversité des caractères pris en compte dans l'objectif de sélection ainsi que dans le conseil aux éleveurs sur les accouplements et la sélection intra-cheptel) et donc la diversité des profils génétiques. Introduction d'autres critères de construction des pondérations des index de synthèses. Pour les animaux qui seront dehors, il faudra sans doute une politique volontariste sur la résistance aux maladies nouvelles, sur la tolérance à la chaleur, pour un format plus petit.	Enrichissement progressif des objectifs de sélection.	Projet de thèse UMT GPR sur le poids environnemental des caractères. Vers un OSIRIS 2 intégrant la triple performance : économique, environnementale, sociétale (acceptabilité : dont santé, diminution incidence anomalies génétiques) et un intégrant la durabilité (en plus variabilité génétique) Enjeu d'accès à une diversité de caractère pour les petites populations (barrières économiques et techniques).
Adéquation entre génétique et systèmes agricoles. Exploiter la diversité		Comment prendre en compte la diversité dans la conduite des élevages ?

En résumé

La plus-part des pistes génétiques pour répondre au changement climatique sont communes avec une orientation génétique favorable à la transition agroécologique, ce qui explique notamment que nombre de travaux soient déjà engagés sous l'impulsion du Projet Agro-Ecologique pour la France (lancé en 2012) et aux orientations stratégiques du précédent PNDAR mais également en réponse aux attentes croissantes des éleveurs et de leurs organisations et organismes de sélection.

Les 4 grandes orientations pour une génétique adaptée au changement climatique sont :

- La généralisation de la caractérisation génomique et phénotypique des différentes populations et races (et pas uniquement les grandes races) ;
- Le développement de nouveaux phénotypes pour des caractères d'adaptation, de robustesse, d'efficacité, de thermo-tolérance, et de santé animale ;
- Le développement accéléré du « phénotype » des conditions d'élevage afin de pouvoir identifier les interactions génotype x milieu et en déduire les combinaisons (inter- et intra-race) à favoriser ;
- Le développement de références sur l'exploitation de l'hétérogénéité et de la diversité génétique intra-élevage (combinaison d'espèces, de races, de profils génétiques) pour gagner en résilience.

Principaux éléments de bibliographie

Ahlberg C.M., Allwardt K., Broocks A., Bruno K., Taylor A., McPhillips L., Krehbiel C.R., Calvo-Lorenzo M., Richards C.J., Place S.E., Desilva U., Vanoverbeke D.L., Mateescu R.G., Kuehn L.A., Weaber R., Bormann J., Rolf M.M., 2019. Characterization of water intake and water efficiency in beef cattle. *Journal of Animal Science*, Vol. 97, Issue 12, Dec. 2019, p4770–4782, <https://doi.org/10.1093/jas/skz354>

Bernabucci U., 2015. Phenotyping strategies to measure animal adaptability to harsh climate. ReColAd 2015 workshop, Paris 11-12 février 2015.

Carbaño M.J., 2015. Knowledge and gaps in G*E interactions: will the current selection breeds still be the “best ones” in the future? ReColAd 2015 workshop, Paris 11-12 février 2015.

Phocas F., 2015. Choosing genetic strategies to improve animal productivity and adaptability under harsh environments: experiences from classical selection, cross-breeding and genomic selections. ReColAd 2015 workshop, Paris 11-12 février 2015.

Phocas F., Belloc C., Bidanel J., Delaby L., Dourmad J.Y., Dumont B., Ezanno P., Fortun-Lamothe L., Foucras G., Frappat B., González-García E., Hazard D., Larzul C., Lubac S., Mignon-Grasteau S., Moreno C., Tixier-Boichard M. and Brochard M., 2015. Outils et leviers pour favoriser le développement d’une génétique animale adaptée aux enjeux de l’agroécologie. 19/10/2015. <http://agriculture.gouv.fr/outils-et-leviers-pour-favoriser-le-developpement-dune-genetique-animale-adaptee-aux-enjeux-de-lagro>

Renaudeau D., Collin A., Laloë D., Mandonnet N., Naves M., Thevenon S., Zerjal T., 2014. L’adaptation des systèmes d’élevage au changement climatique : place de la génétique. Inrae – APCA – Caisse des Dépôts et Consignations. Club Climat Agriculture, Dossier n°3, 26/06/2014 p63-72.

Workshop 2015 ReColAd – Constituer et consolider des réseaux de collaboration sur l’adaptation des animaux d’élevage aux conséquences du changement climatique. Paris 11-12 février 2015. <https://www6.inrae.fr/recolad/Animations/Workshop-2015> [consulté en juillet 2021]

Workshop 2015 ReColAd – Rendu de l’atelier 1 : Genetic strategies to improve adaptation. <https://www6.inrae.fr/recolad/Animations/Workshop-2015/Les-ateliers/Atelier-1-Genetic-strategies-to-improve-adaptation> [consulté en juillet 2021]

Workshop 2015 ReColAd – Rendu de l’atelier 2 : Phenotyping strategies to quantify animal adaptability. <https://www6.inrae.fr/recolad/Animations/Workshop-2015/Les-ateliers/Atelier-2-Phenotyping-strategies-to-quantify-animal-adaptability> [consulté en juillet 2021]