



HAL
open science

La vache globale. La génétique dans l'industrialisation du vivant

Lidia Chavinskaia

► **To cite this version:**

Lidia Chavinskaia. La vache globale. La génétique dans l'industrialisation du vivant. Éditions Quæ, 192 p., 2022, Programme scientifique Seine-Aval, 978-2-7592-3448-6. <hal-03813309>

HAL Id: hal-03813309

<https://hal.science/hal-03813309v1>

Submitted on 13 Oct 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

La vache globale

La génétique
dans l'industrialisation du vivant

Lidia Chavinskaia



La vache globale

La génétique dans l'industrialisation du vivant

Lidia Chavinskaia

Je dédie ce livre aux vaches, qui nous donnent souvent des sujets de réflexion, mais ne sont que rarement remerciées.

Avertissement

Cet ouvrage est une adaptation de la thèse de doctorat en sociologie de l'auteure pour un public plus interdisciplinaire. L'auteure invite donc le lecteur/la lectrice souhaitant plus d'explications sur la méthodologie et le travail conceptuel, ainsi que des références bibliographiques élargies, à consulter sa thèse, disponible sur les archives ouvertes HAL.

Le travail d'enquête sociologique (de 2011 à 2019) ayant impliqué un nombre considérable d'acteurs, certains d'entre eux ont souhaité garder l'anonymat. Seuls les noms et les identités des interlocuteurs qui l'ont autorisé apparaissent en clair dans le texte. Par ailleurs, aussi bien des événements survenus après l'enquête que des changements dans les rôles de certains acteurs n'ont pu être pris en compte par l'auteure.

Les extraits de livres parus seulement en langue anglaise ainsi que les citations d'interviews réalisées en anglais ont été traduits par elle-même.

Éditions Quæ

RD 10

78026 Versailles Cedex, France

www.quae.com

www.quae-open.com

© Éditions Quæ, 2022

ISBN (papier) : 978-2-7592-3448-6

ISBN (pdf) : 978-2-7592-3449-3

ISBN (ePub) : 978-2-7592-3450-9

Le Code de la propriété intellectuelle interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique, et est sanctionné pénalement. Toute reproduction, même partielle, du présent ouvrage est interdite sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC), 20 rue des Grands-Augustins, Paris 6^e.

Sommaire

Introduction	6
Étudier la globalisation de la vache : enjeux pour le vivant	8
Étudier la globalisation par la vache : enjeux pour la société	10
Acteurs, terrains et approches hétérogènes pour une enquête globale	14
Partie I – Ceci n’est pas une vache	16
1. Le capital. Vers une marchandisation du vivant	17
Capital-cheptel : une tautologie (presque) disparue	17
La race bovine : entre bien commun et standard industriel	20
Les vaches à lait : la sélection monocaractère pour une spécialisation industrielle	22
Vaches et taureaux dans le système industriel. Performances et progrès	25
L’insémination artificielle : une biotechnologie au service de la sélection intensive	27
Vive les vaches ! Le bonus technologique de la semence sexée	30
2. La génétique. Entre technoscience, économie et politique	32
Comment mesure-t-on la vache ? L’ouverture de la boîte noire de la métrologie bovine	33
Les conventions biosociales en amont des calculs des valeurs génétiques	36
La valeur génétique du taureau reproducteur : un long chemin de traduction	38
Les index : la valeur de l’animal en quelques chiffres	42
L’index génétique comme standard technique, économique et politique	44
La génomique au service de la sélection : construction d’une nouvelle révolution	47
Des promesses technoscientifiques pour la sélection génomique	50
Jeux et enjeux des données : de la crédibilité empirique à la crédibilité numérique	54
« Une drôle de révolution » : rupture ou fuite en avant technologique ?	57

3. Le milieu. Vers l'écosystème comme système économique	61
L'unité animal-milieu	61
La vache « hors sol »	64
Le milieu comme contrainte pour le marché	67
To E or not to E ? Une difficile prise en compte du milieu dans les calculs de la valeur génétique	70
L'interaction génotype-milieu : modéliser l'unité animal-milieu	72
L'interaction génotype-milieu comme concept négociable	74
Conclusion de la partie I	77
Partie II — Ceci est une vache globale	78
4. Interbull : penser la vache globale par la diversification des valeurs génétiques	79
La Holstein-Frisonne : une race doublement globalisée	80
Problématiser la holsteinisation	82
La holsteinisation comme problème de standard de race	83
La holsteinisation comme problème de comparabilité des index génétiques	85
L'institutionnalisation mondiale du problème de comparabilité des index génétiques ...	89
L'Europe comme « fenêtre d'opportunité politique » pour promouvoir la diversité des valeurs génétiques	91
5. Le « centre de calcul ». Opérer la commensuration au nom de la diversité	93
Les premières solutions : des formules de conversion	93
Saisir la diversité dans son ensemble : le modèle MACE comme outil de commensuration	95
Le MACE à la table des négociations	99
L'emplacement du centre de calcul : un choix « calculé »	103
Un forum hybride international et interprofessionnel	105
The (big) data hub	110
Le pouvoir d'inclusion et d'exclusion	114

6. La révolution génomique dans l'organisation mondiale de la sélection	117
L'avenir d'Interbull en question	118
Le GMACE : nouvel outil de commensuration des valeurs génomiques	121
Consortiums génomiques : stratégies de coopération	123
EuroGenomics et le projet d'évaluation européenne unique : comment ignorer l'effet d'interaction génotype-milieu ?	128
7. Les enjeux de la vache globale dans les pays en développement	133
Enjeux économiques : une diversité d'intérêts	134
Enjeux technologiques : la génomique comme technologie sociale	137
Enjeux politiques : le biopouvoir des vaches	139
Enjeux biologiques : la poursuite du combat des généticiens pour l'interaction génotype-milieu	141
8. Les connexions locales de la vache globale. Le cas de l'Afrique du Sud	143
Brève histoire de la sélection en Afrique du Sud racontée à travers la vache Holstein ...	144
L'organisation du marché de la semence en Afrique du Sud	148
Le « centre de calcul » : une pomme de discorde technique et politique	151
L'interaction génotype-milieu dans la construction de la sélection génomique locale...	154
L'œil de l'éleveur pour préciser les chiffres... et <i>vice versa</i>	157
Conclusion de la partie II	165
Conclusion générale	167
Glossaire	172
Bibliographie	176
Notes	182

Introduction

« Est-ce que ce sont les mêmes partout ? », m'a demandé ma fille en regardant les photos de vaches noir et blanc que je prends dans les pays de mes nombreux voyages. Ces vaches Pie-Noir, si photogéniques, qui appartiennent à la race communément appelée « Holstein », sont en effet présentes presque partout dans le monde (130 pays si l'on en croit la statistique officielle¹) à la fois physiquement et dans l'imaginaire populaire (vu leurs incarnations artistiques dans des boutiques de souvenirs touristiques). Mais la réponse à la question de ma fille n'est pas évidente. Se distinguant nettement entre races et très similaires à l'intérieur d'une même race, les vaches représentent différents standards vivants de l'industrie bovine ancienne de deux siècles – ou beaucoup plus (10 000 ans environ) si l'on considère les pratiques de domestication et de sélection en dehors de la dimension industrielle de notre époque dite « moderne ». Il s'agit en effet d'un travail de *sélection* ou d'*amélioration* génétique, long et minutieux, dans son état actuel fondé sur et encadré par la science appliquée et impliquée. J'essaie donc d'expliquer à ma fille quelques principes de sélection en partant de l'auroch, l'ancêtre de la vache moderne, dont nous avons vu l'image à Lascaux. Il a bien changé depuis, l'animal... Mais voilà que je bute sur la difficulté de trouver des explications simples sans déformer trop la réalité en réponse à ses questions suivantes, plus précises cette fois : pourquoi et comment ces mêmes vaches se retrouvent-elles partout, si, comme je le disais, différentes races ont été créées dans différents endroits ? Voyagent-elles, comme nous, en avion ? En train ? En voiture ? Certes, elles peuvent voyager en camion spécial, en bateau et même en avion. Mais cela n'est qu'une petite partie du grand voyage de la vache autour du monde. Je me rends d'ailleurs compte que ma fille, de 10 ans à ce moment-là, est très loin d'être la seule à ne pas connaître cette réalité. Nombreux sont celles et ceux de mes connaissances qui, ayant bien assimilé que je conduisais des recherches « sur les vaches », s'étonnent du fait que je voyage dans différents pays pour mon travail de terrain. “Корова - она и в Африке корова”², affirment mes amis russophones. “Everywhere the cow says moo”³, reprennent les anglophones. « Une vache est une vache, non ? », doutent les Français.

En dehors des problèmes éthiques de maltraitance animale qui surgissent ces dernières années, peu de gens se posent des questions sur ce qu'il y a derrière les produits d'origine animale qu'ils achètent et consomment. Peu de gens, en dehors des milieux professionnels liés à l'élevage, sont au courant de la face cachée de la présence des vaches dans notre vie : des moyens technologiques de reproduction et de sélection et de l'immense marché des ressources génétiques à partir desquelles les vaches sont reproduites. Il ne s'agit pas du clonage dont l'avènement est déjà bien préparé technologiquement, mais dont les barrières éthiques et économiques limitent le développement pour le moment. Les animaux vivants, les embryons, mais surtout les doses de sperme des taureaux reproducteurs mises sous petits tubes plastiques et congelées, communément appelées « paillettes », circulent partout dans le monde.

L'ampleur du marché des ressources génétiques bovines est grande, bien que peu visible. Entre 250 et 300 millions de doses de semence bovine sont produites annuellement dans le monde, dont la quasi-totalité est cryoconservée et utilisée pour l'insémination artificielle. Environ un dixième de ces doses (entre 20 et 30 millions) est destiné à l'exportation (le reste assure la reproduction des troupeaux au niveau national) et environ deux tiers concernent la race Holstein⁴. Il y a aussi des embryons qui, à partir des ovules extraits du corps d'une vache, inséminés *in vitro*, congelés, transportés et transplantés dans le corps d'une autre, assurent une partie de la circulation mondiale des gènes. Mais ce n'en est qu'une petite partie. Dans des pays au système de sélection dit « moderne », on estime que le taux de l'insémination artificielle est bien plus élevé par rapport à l'ensemble des formes de reproduction autorisées, parmi lesquelles la monte naturelle et la transplantation d'embryons. Les pays en développement, quant à eux, s'engagent dans la course à la modernisation de leurs productions bovines avec des objectifs d'augmentation rapide du taux d'insémination, comme c'est notamment le cas de l'Inde où des chaînes de télévision et des sites Internet diffusent largement ces informations au grand public. On s'intéressera donc ici plus particulièrement à ce marché mondial de la semence bovine grâce auquel ces fameuses vaches Pie-Noir se retrouvent partout.

Peu de gens sont également conscients de la haute technicité des pratiques qui rendent ce marché possible : pratiques technologiques d'évaluation et de reproduction qui restent dans l'ombre des techniques de l'ingénierie génétique les plus controversées et interdites pour le moment dans les productions animales, comme le clonage ou l'édition du génome⁵. Donna Haraway, biologiste, historienne et philosophe des sciences, nous parle, de manière certes ironique mais très symbolique, des « cyborgs » que sont devenus à ses yeux les espèces vivantes constituant notre société moderne (Haraway, 2007 ; 2019). « Ils combinent, dit-elle, sous des formes surprenantes, humain et non-humain, organique et technologique, carbone et silicium, autonomie et structure, histoire et mythe,

riches et pauvres, État et sujet, diversité et déclin, modernité et post-modernité, nature et culture. » (Haraway, 2019, p. 26). Dans la même lignée, le sociologue André Micoud (2003) analyse la trajectoire que la vache, cet animal « aux yeux si doux », parcourt en quelques décennies entre ses statuts d'« animal domestique », d'« animal de rente » et enfin d'« animal technicisé », intégrée dans le milieu artificialisé dont elle est devenue l'élément irréductible et presque invisible. Depuis quelques années, la sélection bovine a fait des « progrès » technologiques avec la génomique, c'est-à-dire l'utilisation de l'information issue directement du génome de l'animal pour prédire son potentiel génétique à la production. Cette technologie d'amélioration génétique a mis d'autant plus en exergue les enjeux de biopouvoir foucauldien⁶ exercé dans la société et a accentué les tensions politico-économiques au niveau mondial. Voici, me suis-je dit, une piste intéressante pour réfléchir aux tenants et aboutissants de notre société globalisée : la vache, un organisme vivant au croisement de nombreux éléments : nature, culture, technoscience, marché, État.

J'ai donc répondu à la question de ma fille en lui parlant des paillettes congelées qui sont faciles à transporter et à utiliser pour faire naître les vaches partout dans le monde. Mais en répondant de cette manière, j'omets bien d'autres questions plus problématiques liées à la circulation et à l'utilisation des ressources génétiques. Que fait cette globalisation marchande et technoscientifique aux organismes vivants tels que les vaches, ces « animaux-cyborgs » « aux yeux si doux » ? Avons-nous réussi à « fabriquer » des animaux standards, universels pour nourrir des milliards d'êtres humains de la même manière aux quatre coins de la planète ? Comment en est-on arrivé là, à quel prix et pourquoi se pose-t-on ces questions aujourd'hui ? Mettre le vivant à l'épreuve de la globalisation et la globalisation à l'épreuve du vivant est bien l'objectif de ce livre.

Étudier la globalisation de la vache : enjeux pour le vivant

Parmi un millier de races bovines répertoriées dans le monde, celle qui attire l'attention des spécialistes est la fameuse race Holstein, issue d'une sélection intensive industrielle et largement dominante sur le marché mondial. Quelques « alertes » apparaissent dans les médias grand public, comme l'article de la revue américaine *Undark*, mis en ligne en 2019 et repris la même année par la revue française *Courrier international*, sur le taux de consanguinité extrêmement élevé dans la population des Holstein aux États-Unis. À partir du titre éloquent de son article « From two bulls, 9 million dairy cows », la journaliste Maureen O'Hagan propose à l'attention des lecteurs le problème de perte de la diversité génétique au sein de cette race soumise depuis le milieu du siècle précédent à une sélection intensive aux États-Unis. Un an plus tôt, un autre article avait été

écrit par le journaliste David Cox dans *The Guardian* britannique sur « le danger des vaches consanguines » (lire : Holstein) pour les races locales en Afrique. Ici est souligné le problème d'expansion de la race en dehors des États-Unis. Des croisements massifs de la Holstein avec les races locales afin d'augmenter leurs productions laitières mènent à leur vulnérabilité accrue face aux conditions climatiques et sanitaires, problématiques dans les pays du continent africain. De plus, ce processus menace les traditions culturelles des peuples éleveurs locaux et les rend ainsi dépendants économiquement de l'industrie globale régie par la course à la croissance économique.

Mais c'est surtout dans le monde scientifique et professionnel de l'élevage et de la sélection bovine que le débat est de plus en plus vif sur les enjeux de la sélection face au marché globalisé des ressources génétiques, et sur l'avenir de la race Holstein. En effet, outre le fait qu'en s'imposant sur le marché mondial elle réduit la diversité des races, les études dans le domaine de la génétique montrent que la race elle-même peut se trouver en péril avec un niveau critique de consanguinité (Van Doormaal *et al.*, 2005 ; Mattalia *et al.*, 2006 ; Van Der Beek et Geertsema, 2017). On y évoque souvent le besoin de relocalisation : la durabilité de l'élevage en dépendrait. Les races locales, le retour vers le terroir sont promus face à la propagation mondiale de certaines races industrialisées dans des élevages « hors sol ». Pour autant, selon une étude menée en France, les consommateurs privilégiant de plus en plus les produits laitiers et carnés locaux, ne sont pas sensibilisés à la question de l'origine génétique des animaux (Verrier *et al.*, 2018). Les gènes des « meilleurs » vaches et taureaux continuent donc leur expansion mondiale.

Les généticiens spécialistes des bovins ont appréhendé ces effets de la globalisation sur l'activité de sélection dès les années 1970, lorsque la « holsteinisation » massive – ou, autrement dit, l'absorption génétique des populations bovines par croisements méthodiques avec les animaux Holstein venus d'Amérique – a débuté en Europe. Ils ont entamé à cette période une réflexion sur les méthodes de régulation des circulations internationales des ressources génétiques par une différenciation de leur valeur – non pas en termes de prix, mais en termes d'estimation du potentiel génétique – en fonction de leur localisation d'usage. Ce travail, qui a fait l'objet de l'enquête présentée dans ce livre, se poursuit tout en se transformant dans le temps, avec de nouveaux moyens technologiques, des changements organisationnels et des évolutions politico-économiques du marché mondialisé.

La diversité génétique reste en effet un enjeu crucial pour toute activité de sélection, même si cette dernière est guidée par l'humain au travers des outils techniques et scientifiques fortement rationalisés et standardisés. Ou devrais-je dire : *surtout* si cette dernière est guidée par l'humain au travers des outils techniques et scientifiques fortement rationalisés et standardisés. Certes, l'idée que

la rationalisation scientifique et son application industrielle, qui vont de pair, créent des dégâts considérables dans le monde du vivant n'est pas nouvelle. Mais cette idée reflétant le processus linéaire de cause à effet est questionnable. En témoigne l'histoire de la sélection génétique végétale, décrite notamment par Christophe Bonneuil et Frédéric Thomas (2009), deux historiens des sciences. Leur enquête, menée en France sur la période de la seconde moitié du xx^e siècle, met en lumière cette histoire de jeux d'acteurs, bien connus ou oubliés, pris dans des enjeux technoscientifiques et politico-économiques, histoire qui dépasse bien les frontières de la France et qui ne peut pas être réduite « à celle de la prise de contrôle progressive du vivant végétal par les grands groupes agrochimiques et semenciers, notamment américains ».

Aujourd'hui, le monde de la sélection des ruminants qui, régi par l'idée de la gestion collective des ressources génétiques comme bien commun (Labatut, 2009 ; Labatut et Tesnière, 2018), se pensait à l'opposé du modèle végétal du « monde selon Monsanto », fait face aux mêmes enjeux de privatisation des ressources et à l'apparition de nouveaux acteurs en son sein : de grands groupes industriels privés, principalement américains. Il devient alors pertinent et opportun de se pencher sur la sociohistoire de la sélection bovine, histoire en train de se faire, pour, à l'exemple de Bonneuil et Thomas (2012, p. 14), « mettre en lumière à chaque moment les différentes voies qui s'offraient, les choix politiques opérés et la manière dont ces orientations se sont construites à travers le jeu des acteurs et de leurs intérêts. Redonner la parole aux vaincus, aux options délaissées [...], c'est éviter de reproduire le grand récit des vainqueurs, c'est rouvrir la pluralité des possibles ». La globalisation de la sélection bovine mêle forcément des intérêts d'acteurs différents, souvent divergents et conflictuels. Je montre par mon enquête que la vache globale se construit dans ces tensions et conflits, mais aussi dans des alliances et des collaborations entre de nombreux acteurs – scientifiques, industriels, éleveurs, français, américains, européens, indiens, sud-africains, etc. – parmi lesquels la vache, l'animal non humain, joue un rôle de premier plan.

Étudier la globalisation par la vache : enjeux pour la société

Bien que les liens socioculturels, économiques et politiques entre les acteurs au niveau mondial existent depuis des siècles, le phénomène de globalisation se rattache souvent à une période bien précise. Ses problèmes et enjeux sont apparus dans les discours politiques et la réalité institutionnelle surtout avec la prise de conscience des changements climatiques et de l'érosion accélérée de la biodiversité à partir de la fin du xx^e siècle. Des organisations internationales ont

ainsi commencé à promouvoir des objectifs et des standards globaux pour pallier les problèmes environnementaux, économiques et sociaux. L'intensification des échanges économiques entre les pays, qui date d'après la Seconde Guerre mondiale, s'est encore amplifiée avec la création de l'Organisation mondiale du commerce (OMC) en 1995. Ce lien au marché est important à souligner ici, car cette domination économique, capitaliste, des connexions globales touche également le vivant qui est, au travers de la vache, l'objet de mon enquête. Le phénomène de globalisation occupe nos esprits de manière bien intense. Le nombre de publications scientifiques et d'articles de presse sur ce sujet se chiffre en centaines de milliers. Ces réflexions et tentatives d'élucider le phénomène traitent d'économie, de nouvelles technologies d'information et de communication, de mouvements sociaux, d'enjeux transfrontaliers comme le climat et la pollution et des politiques transnationales qui tentent de les réguler, d'homogénéisation culturelle d'un côté et de désolidarisation de l'autre. Le rapport du local au global et *vice versa* concentre une grande partie des débats autour de la mondialisation. Plusieurs tentatives de réconcilier ces deux points de vue sur le monde global ont eu lieu pour mettre en lumière une coprésence de l'universel et du particulier. Le concept de « glocalisation » (ou de « global-localisation » selon différentes adaptations françaises de l'anglais *glocalization*) du sociologue Roland Robertson (1995) a rapidement investi les stratégies marketing des multinationales, qui étendent leurs modèles économiques dans différents pays tout en adaptant leurs services et produits localement. La tension entre les points de vue local et global, considérés comme extrémités du même phénomène, se ressent de plus en plus dans la société au point qu'on lui attribue le rôle explicatif des conflits et des crises actuelles, comme le fait notamment Bruno Latour dans son livre récent *Où atterrir ?* (2017, p. 23) :

« Passer d'un point de vue local à un point de vue global ou mondial, cela devrait signifier qu'on multiplie les points de vue, qu'on enregistre un plus grand nombre de variétés, que l'on prend en compte un plus grand nombre d'êtres, de cultures, de phénomènes, d'organismes et de gens. Or, il semble bien que l'on entende aujourd'hui par mondialiser l'exact contraire d'un tel accroissement. On veut dire par là qu'une seule vision, [...] proposée par quelques personnes, représentant un tout petit nombre d'intérêts, limitée à quelques instruments de mesure, à quelques standards et formulaires, s'est imposée à tous et répandue partout. Pas étonnant qu'on ne sache pas s'il faut se donner à la mondialisation ou s'il faut au contraire lutter contre elle. »

L'analyse de cette tension amène Latour à considérer un besoin d'« atterrissage » ou de « reterritorialisation ». Ce besoin d'ancrage territorial, bien que ressenti, est difficile à définir dans la société dont l'espace a déjà été reconfiguré par des connexions globales. L'anthropologue Anna Tsing (2011) analyse ainsi ces connexions en faisant appel à la notion de « friction » empruntée à la physique,

qui signifie la résistance utile et même nécessaire à tout mouvement. L'enquête qu'elle a menée auprès des populations des forêts indonésiennes ravagées par l'industrie mondiale de l'huile de palme l'a amenée à considérer les tensions et les conflits engendrés par des processus globalisants comme des frictions qui permettent d'avancer et de vivre ensemble. « L'atterrissage » dont Latour parle comme d'un besoin vital apparaît alors chez Tsing comme une évidence, un processus inhérent à tout projet qui, peu importe son envergure et ses ambitions, est toujours situé et incarné dans des liens bien concrets entre les acteurs, leurs convictions et actions, des outils et des infrastructures matérielles.

Le vivant fait également son apparition dans ces débats sur la globalisation. Parmi les plantes, le coton cultivé pour l'industrie textile y occupe une place de prédilection en tant que matière première et en même temps produit du capitalisme globalisant – voir par exemple un ouvrage économique de Koray Çalışkan (2010), un livre historique de Sven Beckert (2014) ou encore une enquête d'Erik Orsenna (2006). Dans la série des *Petits précis de mondialisation*, ce dernier raconte le monde au travers de ses enquêtes autour des matières premières (coton, eau), produits (papier) et animaux vivants (moustique, chauve-souris, cochon). Son dernier « reportage » (comme l'auteur l'appelle) sur le cochon, édité en 2020, est une tentative d'une part d'entrer dans le « vif » du sujet du vivant, et d'autre part de rapprocher cette histoire d'animal global non humain de celle de l'humain : le cochon est notre cousin, du moins il le devient lorsqu'il s'agit de la recherche et des pratiques médicales bénéfiques à l'humain.

Qu'apporte alors la vache à ces récits et analyses ? Que nous apprendra-t-elle sur notre vie et sur la *vie* en général ? De quoi témoigne-t-elle ? Avant tout, ma volonté ici est de considérer la vache non seulement en tant que matière première ou produit de l'industrie agroalimentaire mondialisée, mais aussi en tant qu'organisme vivant placé à l'intersection d'éléments techniques, scientifiques, économiques, politiques, culturels formant notre monde social. Nous pourrions, grâce à cet animal, naviguer à la manière de l'ethnographe au gré des frictions et suivre la construction de la société globale dans sa dynamique de mouvement et d'interactions entre les acteurs humains et non humains, inertes et vivants – tel un *agencement sociobiotechnique* (Selmi et Joly, 2014), pour reprendre le concept issu du domaine des *science and technology studies* (STS).

Comme le postule le biologiste Thomas Heams dans son livre *Infravies* (2019, p. 163), « la vérité du vivant tient dans son rapport à la relation et pas dans son périmètre ». Nous verrons ainsi que ce rapport et cette relation sont non moins sociaux que biologiques. À ce titre, la vache va nous emmener dans le monde de la génétique. Ce monde, habité et porté exclusivement par les organismes vivants, fait partie de notre société depuis maintenant plus d'un siècle. Depuis une soixantaine d'années, il participe aux échanges économiques. Et la

vache, l'espèce compagne de l'humain depuis des millénaires, en était un des principaux vecteurs. Accompagnée des spécialistes de la génétique quantitative appliquée aux bovins, j'ai donc construit un récit autour de cette vache potentiellement sans frontières et pensée comme telle sur le marché des ressources génétiques, mais qui pose néanmoins des limites à sa propre globalisation marchande.

La notion de « commodités/marchandises fictives » (*fictitious commodities*) – que l'économiste Karl Polanyi a introduite en 1944 pour parler de certaines catégories économiques, comme la terre, le travail et la monnaie, qui ne peuvent pas (et ne doivent pas) être considérées comme de vraies marchandises – s'applique désormais aux animaux d'élevage. D'après les sociologues Stuart et Gunderson (2018), les animaux industriels impliqués dans la production agroalimentaire ainsi que leurs ressources génétiques (gamètes, embryons) n'ont pas été conçus pour être achetés et vendus sur le marché avec un objectif de profit. Situés dans la typologie de Polanyi quelque part entre le travail et la nature, ces animaux représentent bien des marchandises fictives. Cette idée me paraît stimulante pour ouvrir une discussion sur la participation des éléments de *vie* dans les processus constitutifs de ce qu'on appelle la « globalisation ». Selon les travaux récents de certains biologistes (Heams, 2019 ; Kupiec, 2019), définir la *vie* est de plus en plus tributaire d'une prise de conscience que nos connaissances sont très limitées et que nos modèles rationnels pour appréhender cette notion ne sont peut-être pas les bons. Je me demande à mon tour si la vie qui « échappe » à la rationalisation (Heams, 2019), la vie « anarchique » (Kupiec, 2019), peut être prise en compte par les constructions rationalistes, déterministes et objectivistes de la technoscience. Pourquoi la transformation des organismes vivants en commodités inertes reste-t-elle inachevée ? Comment une partie irréductible du vivant, non « commodifiable », est-elle affectée par, et affecte-t-elle à son tour, les activités technoscientifiques et économiques qui impliquent les organismes biologiques ? Les organismes vivants qui résistent à leur transformation en commodité, ou même, selon l'expression de Latour (2000), répliquent ou contre-attaquent (*strike back*), apparaissent comme acteurs à part entière dans les processus de globalisation et nous font repenser, corriger, changer nos actions. Or la compréhension de cette récalcitrance de la part des organismes vivants engage de toute évidence non seulement des catégories sociales mobilisées par les sciences humaines et sociales, mais aussi celles qui relèvent de la nature biologique de ces organismes, que seules les sciences naturelles peuvent rendre visibles et intelligibles. En faisant l'hypothèse que la circulation des gènes à des fins de reproduction n'est pas qu'une affaire de marché ou de technoscience, je propose une approche interdisciplinaire au croisement du double regard des sciences sociales et de la génétique animale, pour saisir les enjeux de la globalisation des organismes vivants impliqués dans des productions agro-industrielles.

Acteurs, terrains et approches hétérogènes pour une enquête globale

En tant que sociologue, je devrais focaliser *a priori* mon enquête sur les acteurs humains pour comprendre leur *modus operandi* collectif, leurs façons de penser et d'agir ensemble, et les transformations de la société que cela génère. Mais en tant que sociologue des sciences et des techniques, je ne dois pas me limiter à la considération des acteurs humains *stricto sensu*. Ce champ d'études, en un demi-siècle d'existence, a ouvert les boîtes noires des objets techniques et des connaissances scientifiques par des investigations sur les modes de leur production et de leur impact sur la société. En tant que sociologue des sciences et des techniques qui enquête sur les activités technoscientifiques de la sélection bovine, je ne dois surtout pas négliger un autre acteur non humain de cette activité – le bovin lui-même. La dimension de la vie (*bios*), dynamique, anarchique et imprédictible, surgit au sein des agencements sociotechniques et nous rappelle une fois de plus que le vivant a sa propre façon d'agir que nous ne pouvons pas ignorer.

Mais comment ouvrir la boîte noire d'un organisme vivant perçu uniquement comme un élément dans un système de production complexe ? Sans parler le bovin, j'utilise évidemment des « traductions » faites par les acteurs humains. Dans un premier temps, j'ai fait des recherches historiques sur le développement de l'élevage bovin, activité humaine ancienne de plusieurs milliers d'années qui, depuis la domestication, a toujours été accompagnée par des pratiques de sélection de plus en plus complexes et précises, avec l'implication de connaissances scientifiques et d'outils technologiques. Je dédie la première partie de ce livre à cette constitution de l'agencement sociobiotechnique bovin, au tissage des liens entre ses éléments, ses acteurs, aux tensions qui apparaissent au fur et à mesure de la « modernisation » de l'élevage. Agencement qui, *in fine*, représente la vache, dont l'existence dans notre société dépasse son corps physique et va même au-delà du système d'élevage dont elle fait partie.

L'objectif de la première partie de mon récit est donc de faire apparaître la vache dans son enchevêtrement au sein de notre société, au centre de liens forts avec de nombreuses sphères de notre vie. Cette excursion diachronique permettra au lecteur de comprendre le processus de la globalisation progressive, qui ne se limite pas à la période contemporaine, ni à la dimension purement géographique de la « respatialisation », ni à la dimension économique de la libre circulation des marchandises. Elle permet de comprendre comment et pourquoi nous en sommes arrivés à questionner la globalisation du vivant industriel. Les scientifiques généticiens, acteurs qui sont apparus dans la vie de la vache très récemment et qui traduisent sa nature biologique en leur langage de chiffres à l'aide des calculs statistiques, m'ont apporté leurs connaissances et

leurs visions de la globalisation bovine, éléments que je présente à l'attention du lecteur en les intégrant dans ce récit. Les formules, les concepts, les données et les témoignages d'acteurs issus de la recherche en génétique quantitative, discipline scientifique mise au service de la modernisation des productions agroalimentaires dans la seconde moitié du xx^e siècle, permettent de dépasser l'idée de la quantification purement utilitariste et productiviste du vivant.

La partie suivante met justement ces outils de quantification à l'épreuve de la globalisation. La vache, en tant qu'organisme vivant ayant sa propre dynamique d'existence, impose non seulement une reconfiguration des systèmes calculatoires, mais aussi des modalités de régulation des circulations marchandes des ressources génétiques bovines. La construction et la structuration d'un tel espace global, initié dans les années 1970 par quelques généticiens, se sont incarnées dans Interbull (International Bull Evaluation Service), une organisation internationale aux dimensions épistémique, calculatoire et politique. Ici, les acteurs économiques – organismes de sélection, entreprises de production de semence, coopératives d'insémination artificielle – interviennent également pour apporter leur vision de la vache en tant que marchandise.

Nous suivrons l'installation et l'évolution de cet agencement sociobiotechnique autour de la vache globale dans cet espace transnational où se rencontrent les acteurs du monde entier. J'utilise tout particulièrement mon expérience professionnelle au sein de la direction des relations internationales de l'Institut national de la recherche agronomique (Inra, désormais Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement, INRAE) entre 2010 et 2015 pour parler des enjeux des pays dits « en développement », qui revendiquent leur place au sein de cet agencement conçu initialement par des pays industrialisés. En lien avec le projet GenoSouth mené par le généticien Vincent Ducrocq, j'ai en effet eu l'occasion de découvrir ces enjeux dans des pays tels que l'Inde, le Brésil, l'Afrique du Sud et le Kazakhstan. Notamment, l'enquête de terrain menée en profondeur en Afrique du Sud auprès des acteurs locaux conforte la vision de la sélection bovine dans ses connexions globales (Tsing, 2011). Les éleveurs sud-africains, par leurs pratiques de sélection bien ancrées dans leurs besoins locaux, effacent la rupture entre le global et le local et amènent le lecteur à considérer la vache globale dans son ancrage local. Ensemble, ces acteurs (scientifiques généticiens, entreprises de sélection, éleveurs), au travers d'une soixantaine d'entretiens semi-directifs et de plusieurs occasions d'observer leurs activités, m'ont aidée à faire émerger celle qu'il faut entendre sur le sujet de la globalisation des organismes vivants industrialisés : la vache, que j'ai le plaisir de présenter au lecteur.

Partie I

Ceci n'est pas une vache

Où le lecteur (re)fait connaissance avec la vache ; parcourt avec elle quelques millénaires d'évolution commune ; s'étonne de la multiplicité de ses valeurs et des liens qu'ils ont tissés ensemble ; regrette un réductionnisme certain apporté par l'industrialisation à cette relation riche ; et commence à s'interroger sur la possibilité de saisir tout cet agencement sociobiotechnique hétérogène par des outils scientifiques modernes.

Notions clés : agencement sociobiotechnique (également nommé à l'occasion « agencement bovin ») ; quantification ; convention d'équivalence ; valuation/évaluation, amélioration/sélection génétique ; évaluation génétique/génomique ; génotype ; phénotype ; interaction génotype-milieu.



© Amagathe Hallopeau

Ceci n'est pas une vache.

Chapitre 1

Le capital. Vers une marchandisation du vivant

Le mode d'existence de la vache en tant que capital évolue avec le glissement de sens du mot « capital » lui-même, ce dont témoignent de nombreuses traces linguistiques. La monétisation du capital et la quantification de la production bovine vont de pair dans le processus de mise en économie de la vache. L'application de la culture productiviste à l'agriculture, et notamment à l'élevage, valorise la croissance économique qui devient un impératif mesurable, et ses indicateurs chiffrés rétroagissent sur l'animal qui devient de fait l'objet de la politique du progrès. L'amélioration des animaux se constitue déjà au XIX^e siècle en marché à part entière, avec l'activité des premiers sélectionneurs anglais et la diffusion progressive de cette activité dans d'autres pays. Elle prend la forme du marché du « progrès » qu'on qualifiera plus tard de « progrès génétique ». Avec la recherche de plus en plus appliquée et impliquée, la connaissance sur les mécanismes d'hérédité progresse et accompagne le développement industriel des productions animales : toujours plus de standardisation, de spécialisation au service de la performance économique.

Capital-cheptel : une tautologie (presque) disparue

L'étymologie des différents termes de l'élevage dans de nombreuses langues témoigne du lien fort entre les animaux et la richesse. La notion de « capital mobilier », de « fortune qui marche », est apparue très tôt dans la société pastorale indo-européenne en laissant des traces linguistiques pour ainsi dire particulièrement parlantes relevées par le linguiste Émile Benveniste (1987). *Cattle* en anglais et « cheptel » en français ont la même origine que le mot « capital ». Au Moyen Âge, les mots modernes « cheptel » et « capital » sont

encore réunis dans le mot de l'ancien français *chatel* ou *chetel*, signifiant « bien, patrimoine ». Dans les langues slaves, le mot *skot* (« bétail ») a également pour signification originelle « argent, fortune ». Le terme anglais *livestock* est aussi très illustratif : apparu au XVI^e siècle, il prend une signification littérale cumulée de ses deux composantes *live* et *stock*, signifiant ainsi « réserve, dépôt, épargne du vivant pour usage et profit ».

Le lien intrinsèque entre le bétail et le capital est dû à la capacité des animaux à rendre différents services à l'homme : comme objets et instruments de rituels religieux, comme force de travail (traction, transport, labour, etc.), comme source de matière première pour la fabrication de différents objets (vêtements, chaussures, mobilier, récipients, etc.) et bien sûr comme source de denrées alimentaires (lait, viande et leurs dérivés). Mais encore plus importante est l'aptitude des animaux à se reproduire. Le capital peut croître, proliférer, et son propriétaire peut ainsi s'enrichir. Cette vision du cheptel en tant que capital est toujours d'actualité au sein des sociétés où la culture de l'élevage n'a pas pris la forme industrielle.

Certaines formes d'une telle capitalisation, revisitées par le paradigme des sociétés post-industrielles dont l'économie est dématérialisée par les technologies de l'information (voir par exemple Cohen, 2006), reviennent aujourd'hui dans le monde des bovins. Notamment, l'idée d'une capitalisation distanciée, qui date du Moyen Âge, lorsque le capital et le bétail ne faisaient qu'un, soutient qu'il n'est pas toujours obligatoire d'être agriculteur, éleveur ou sélectionneur de bovins pour tirer profit du capital-cheptel. On peut investir dans un troupeau que des professionnels gèrent, et en recevoir des dividendes. Similaire à l'investissement en immobilier, l'investissement en cheptel se place certes à la marge du monde de la finance parmi des investissements qui se disent « originaux ». On peut donc acheter des vaches qui sont ensuite gérées par une société qui en fait son métier. Par exemple, l'Association française d'investissement en cheptel les loue à des agriculteurs, et le bénéfice est partagé à trois. D'ailleurs, « le rendement n'est pas comptabilisé en euros mais en têtes de bétail ! », rapporte le site de la loi Pinel⁷. En revanche, « les investisseurs ne voient pas leurs vaches : ce sont des actions, on ne sait pas où elles sont », témoigne un des adhérents à cette forme de financiarisation du cheptel⁸.

Ces investissements virtuels en bétail peuvent aussi avoir des objectifs de causes « morales ». Une plateforme sud-africaine, *Livestock Wealth*⁹, se spécialise en *crowdfarming* et se positionne comme outil moderne au soutien de l'élevage traditionnel africain par investissement commun en « banques sur pattes [...] comme ça a toujours été le cas en Afrique », selon les paroles de Ntuthuko Shezi¹⁰, fondateur et président de cette entreprise. Par ailleurs, le groupe Danone, géant mondial de produits laitiers, *via* sa marque de produits biologiques Les 2 vaches qui a « le souci du bétail », propose de parrainer des vaches

pour qu'elles aient une vie meilleure. Ici, la contribution et la rétribution ne sont pas financières, mais morales et informationnelles. L'acheteur, avec son « investissement » pour le bien-être animal, partage ses données personnelles et celles de ses amis (en fonction de la formule choisie) en échange d'une lettre publicitaire et d'une possibilité d'être tiré au sort pour visiter la ferme de ses vaches filleules¹¹.

Pour autant, le retour de l'honorable « vache-capital » en société moderne est ardu (est-il réellement possible ?). De nouveau, les traces linguistiques en témoignent. Les expressions *cash cow*, *milk cow*, « vache à lait », désignent un profit facile et s'utilisent plutôt dans un sens péjoratif. Le mot qualifiant la vache dans différentes langues a pris bien des sens négatifs, faisant référence à son caractère bête et méchant (*to cow*, « c'est vache ») ou à l'apparence d'un animal corpulent et maladroit (il s'utilise notamment pour caractériser une grosse femme).

Une référence symbolique de la vache comme capital est également utilisée comme moyen simpliste pour expliquer aux étudiants en économie le mécanisme des échanges rudimentaires prémonétaires, le troc. Ce sont ces cours d'introduction à la théorie économique par Alfred Mill qui ont inspiré la fameuse série d'anaphores « vous avez deux vaches... » pour éclairer avec humour et sarcasme tous les « -ismes » des idéologies politiques et économiques dans le monde (encadré).

Une série d'anaphores humoristiques « Vous avez deux vaches... »

ANARCHIE Vous avez deux vaches. Soit vous les vendez au juste prix, soit vos voisins tentent de vous tuer pour s'en emparer.

BUREAUCRATIE Vous avez deux vaches. D'abord, le gouvernement établit comment vous devez les nourrir et les traire. Puis il vous paie pour ne pas les traire. Après quoi, il les prend toutes les deux, en tue une, trait l'autre et jette le lait. Finalement, il vous oblige à remplir des formulaires pour déclarer les vaches manquantes.

CAPITALISME Vous avez deux vaches. Vous en vendez une et achetez un taureau.

COMMUNISME Vous avez deux vaches. Vos voisins vous aident à vous en occuper et vous vous partagez le lait.

DÉMOCRATIE REPRÉSENTATIVE Vous avez deux vaches. Vos voisins nomment quelqu'un pour décider qui prend le lait.

DICTATURE Vous avez deux vaches. Le gouvernement les prend toutes les deux et vous fait fusiller.

FASCISME Vous avez deux vaches. Le gouvernement les prend toutes les deux, vous emploie pour vous en occuper et vous vend le lait.

FÉMINISME Vous avez deux vaches. Elles se marient et adoptent un veau.

FÉODALISME Vous avez deux vaches. Le seigneur s'arroge une partie du lait.

Ce que la vache perd avec l'industrialisation de l'élevage est son lien social. Élevée dans des hangars fermés et des fermes-usines, son lait est racheté par des entreprises de transformation qui l'introduisent dans les chaînes de distribution globale. L'économie, devenue notre environnement collectif à tous, comme le soutient Michelle Murphy (2017), domine dorénavant le mode d'existence de la

vache. Le glissement de sens du mot « capital » de « la fortune vivante » vers la marchandise accompagne cette « économicisation de la vie ».

La race bovine : entre bien commun et standard industriel

Le terme « race » définit un rang taxinomique scientifiquement informel. La nomenclature zoologique internationale s'arrête à l'espèce et ne donne pas de statut officiel, normalisé et codifié à des subdivisions de l'espèce comme sous-espèces, races, populations, variétés, formes, souches, lignées, etc. Généralement, ces subdivisions définissent des groupes d'organismes biologiques qui ont en commun des caractères constants, spécifiques, originaux et héréditaires, mais non déterminants pour les distinguer en espèces dont les différences sont objectivées par une évolution longue régie par des mécanismes de sélection naturelle. La race représente donc une catégorie relevant davantage d'un projet social, adaptable et négociable, que d'une objectivité construite par les biologistes. Si un tel projet social, appliqué aux humains, semble être banni de notre société, la construction et l'amélioration des races animales ne provoquent pas de débats majeurs. Dans les productions bovines, les races sont historiquement créées et maintenues par des associations d'éleveurs, avec leur ancrage territorial aussi bien du point de vue géographique que social (Vissac, 2002 ; Orland, 2003). En période de forte industrialisation, les races animales tendent vers une forme fixe de standards techniques. L'intensification des échanges économiques internationaux renforce d'autant plus cette vision et déstabilise le statut de la race en tant que bien commun géré collectivement par les éleveurs (Labatut *et al.*, 2014). L'équilibre entre les dimensions sociale et biologique de la race se fragilise, oscillant entre son ancrage dans un territoire donné et sa globalisation marchande.

À la fin du XVIII^e siècle, Robert Bakewell, à la tête d'un groupe d'éleveurs anglais, met en place un recueil de règles méthodologiques de sélection (*breeding*). Cette doctrine, qui aujourd'hui encore dans le monde professionnel et académique de l'élevage porte le nom de Bakewell, définit la race (*breed*) comme unité structurale principale et normalise la pratique de la reproduction contrôlée « en circuit fermé », c'est-à-dire entre animaux apparentés avec un *pool* restreint de taureaux reproducteurs. Ces premiers sélectionneurs considèrent cette méthode comme vertueuse pour fixer durablement certains caractères utiles à l'homme dans ses activités. À partir de ce moment, l'éleveur-sélectionneur impose à son troupeau, d'un côté, une conformité persistante à certains standards de race et, de l'autre, une amélioration de performances productives d'une génération à l'autre. Ce « progrès » devient un objet de commerce, et l'animal prend officiellement de la valeur économique non seulement comme producteur d'alimentation ou force de travail, mais également comme reproducteur.

La sélection en race pure devient rapidement le paradigme principal en élevage, au même titre que les lignées en productions végétales. Au début du xx^e siècle, ce principe de continuité de la génération intègre le concept de « lignée pure », proposé en 1903 par le biologiste danois Wilhelm Johannsen (1857-1927). L'apparition et le développement de la notion de « pureté » génétique correspondent au moment historique où l'agriculture s'engage sur le chemin de l'industrialisation et donc de la standardisation des organismes vivants.

L'institutionnalisation des races animales apparaît au cours du xix^e siècle avec la création des livres généalogiques (*herdbooks* ou *studbooks*) et des associations d'éleveurs (*breeding societies*), responsables de la continuité des enregistrements des événements de reproduction et de la conformité des animaux au standard de la race. Ce standard, défini par concertation sociale, décrit les principaux caractères d'importance (morphologiques au début) : taille de l'animal, taille et forme des cornes, couleur et motif de la robe. Mais « normaliser les livres généalogiques n'était pas facile », rappelle l'historienne Barbara Orland (2003, p. 178)¹² : « Au début, les éleveurs refusaient souvent de partager l'information sur la généalogie de leurs animaux vendus, car ils avaient peur de révéler un secret commercial. » Cette négociation permanente des mesures des animaux et du partage des informations accompagne l'organisation coopérative de l'élevage à chaque étape de son évolution technologique et de sa voie vers la globalisation, nécessitant une mise en commun des données. Nous le verrons par la suite avec la montée en technicité des informations : les *phénotypes*, puis les *génotypes*. D'abord en Angleterre, les associations de races s'organisent progressivement au niveau national (généralement une seule association par race et par pays) et prennent un poids politique. Cette politisation des organisations d'éleveurs, pointée notamment dans des récits historiques de Nicolas Russel (1986), crée des rivalités et contribue à un essor plus important de certaines races sur le territoire national et à l'étranger.

La coordination sociopolitique des races crée des bases pour les définir comme des biens communs (*commons*). Cette notion, introduite en 1990 par Elinor Ostrom (1933-2012), politologue et économiste, fait référence aux ressources qui exigent une gestion collective par les bénéficiaires dans une situation où, d'une part, l'exclusion de ces derniers est difficile et où, d'autre part, la sur-utilisation des ressources mènerait à leur disparition (Labatut, 2009). Les éleveurs participent traditionnellement à la gestion des ressources génétiques bovines au sein de dispositifs collectifs de sélection dont les rôles et les structures varient en fonction des arrangements institutionnels nationaux (Tesnière *et al.*, 2019) et des imaginaires sociotechniques profondément ancrés dans l'histoire des pays. L'élaboration des programmes ou des schémas de sélection suppose que les éleveurs d'une même race s'accordent sur des critères de sélection, et qu'ils investissent financièrement pour la production et l'évaluation des

ressources génétiques pour assurer le progrès génétique de leurs troupeaux en accord avec ces critères. Les négociations de ces schémas se passent en étroite interaction entre les éleveurs, les sélectionneurs et les chercheurs-généticiens. Depuis la théorie de l'évolution de Charles Darwin (1809-1882), il est en effet scientifiquement démontré et reconnu que la diversité génétique est un facteur primordial pour la survie des populations. Le mécanisme standardisant de la sélection artificielle, basé sur le choix de reproducteurs parmi des animaux apparentés, rend l'équilibre génétique intrarace fragile. Tout l'enjeu est d'éviter un niveau trop élevé de consanguinité qui peut devenir délétère pour une population donnée. Tant que les programmes d'amélioration bovine sont gérés au sein des systèmes interprofessionnels collaboratifs encadrés par l'État, les scientifiques impliqués contrôlent la situation, comme c'est encore le cas dans certains pays, notamment en Irlande (Tesnière *et al.*, 2019)¹³.

Les schémas de sélection établis en fonction des priorités collectives sont régis par des réglementations strictes, notamment en matière de choix de reproducteurs, de limites du nombre de doses de semence produites par chaque taureau, d'écart générationnel entre accouplements, etc. L'exemple illustratif d'un tel dispositif est la loi sur l'élevage en France, mise en place en 1966 à l'initiative des généticiens de l'Inra (Vissac, 2002).

En revanche, dans le contexte du marché libéralisé et dérégulé (Labatut *et al.*, 2014), la circulation des doses de semence est de plus en plus soumise au principe de l'économie d'échelle, dans laquelle la standardisation et la maximisation du profit priment sur les principes de la gestion collective des biens communs. Une possibilité de démultiplier presque à l'infini les gènes des taureaux reproducteurs motive la commercialisation la plus large possible des doses de semence produites. Cette logique a fait émerger et continue à renforcer ce qu'on appelle le *star system*, tel un culte des meilleurs taureaux reproducteurs, et à accentuer davantage le problème de consanguinité au sein des races globalisées. Ce sort est notamment subi par la race Holstein qui, depuis quelques décennies, frôle l'état critique de variabilité génétique.

Les vaches à lait : la sélection monocaractère pour une spécialisation industrielle

La production laitière devient une activité agroalimentaire à part entière en même temps que la vache change de statut sociétal, passant de l'animal dit « domestique » à l'animal dit « de ferme ». Le mot « ferme » dans le sens d'exploitation agricole, comme son étymologie l'indique, porte une unité sémantique qu'il me paraît important de rappeler ici. Il s'agit de l'exploitation économique de la terre et de ses ressources qui est séparée du sens de propriété.

Une ferme est une convention socio-économique à valeur juridique entre le propriétaire et l'exploitant. Le « fermier » (à la différence du paysan) devient professionnel et doit payer un loyer au propriétaire terrien. Même si, avec le temps, le sens du mot « ferme » s'élargit et si les agriculteurs-éleveurs peuvent aussi être propriétaires de leurs terres, l'activité de production de lait devient une activité économique non plus pour satisfaire les besoins alimentaires de l'éleveur en lien aux ressources de sa terre, mais pour dégager un revenu de l'activité de production. Les animaux ainsi « enfermés » deviennent une partie intégrante du système de production dont la terre ne fait plus partie et suivent la voie de la spécialisation industrielle.

Les races que nous connaissons actuellement sont le plus souvent réparties en deux catégories : laitières et allaitantes¹⁴. Fortement sélectionnées sur un de ces caractères de production, les deux catégories de vaches finissent par diverger morphologiquement et physiologiquement. Les vaches allaitantes sont corpulentes et rondes avec un instinct maternel valorisé (figure 1). Quant à celles qui sont devenues « spécialistes » de la production laitière, elles sont généralement grandes, maigres, ont le pis apparent et accroché bien haut (figure 2). Surtout depuis la mécanisation de la traite, la taille de l'animal, le positionnement et la forme de la mamelle, la forme et la hauteur des membres arrière, etc., tout devient critère de conformation à la machine à traire.



Figure 1. Vache de race allaitante Salers avec son veau, France.



Figure 2. Vaches laitières de race Holstein, Afrique du Sud.

Même si les cultures du monde n'ont pas toutes les mêmes modes de perception ni de consommation des produits laitiers, le lait occupe une place importante dans nos régimes alimentaires depuis des siècles. Autoconsommé au sein des petites exploitations vivrières traditionnelles ou bien transformé et commercialisé par des industries multinationales, le lait est un *produit* détourné de sa raison naturelle vers une raison humaine (Vatin, 1996). Le lait devient un produit global, notamment avec les politiques aussi bien coloniale que postcoloniale (Pinaud, 2016). Grâce à des technologies de transformation d'une part, et à la politique de quantification des besoins alimentaires humains et des caractéristiques nutritionnelles du produit d'autre part, le « lait du développement » prend sa place dans les débats sur la mondialisation et ses effets positifs et négatifs. La politique coloniale aux XIX^e et XX^e siècles a largement contribué à l'expansion de la culture alimentaire occidentale des produits laitiers au niveau mondial. La politique internationale de la sécurité alimentaire à la fin du XX^e et au début XXI^e siècle en a pris la suite dans la promotion de l'importance des productions laitières dans le monde au nom de la réduction de la pauvreté. Même si le paradigme « développementaliste » est critiqué depuis déjà un certain temps, les « besoins » de technologisation, d'accroissement et d'accélération des productions restent toujours bien présents dans les discours et les actions des politiques agricoles. En lisant le rapport sur les perspectives agricoles

de l'OCDE et de la FAO 2017-2026, nous nous préparons à ce que « dans les secteurs de la viande et des produits laitiers, la croissance de la production [repose] à la fois sur l'augmentation de la taille des troupeaux et sur une production par tête plus élevée ».

Vaches et taureaux dans le système industriel. Performances et progrès

« CAPITALISME Vous avez deux vaches. Vous en vendez une et vous achetez un taureau... »
(voir l'encadré p. 20)

La suite varie en fonction des sources, mais l'essentiel y est : pour augmenter le capital productif de la vache, il faut un taureau. Le linguiste Émile Benveniste (1987) parle d'une séparation très nette des notions « mâle » (physique) et « reproducteur » (fonctionnelle) déjà au niveau de la langue indo-européenne. C'est cette seconde notion qui s'est développée en créant des liens linguistiques avec la notion de « richesse ». Le taureau reproducteur est devenu *in fine* l'objet principal d'investissement dans l'élevage.

Cette distinction tient toujours. Depuis la doctrine de Bakewell (Angleterre, fin XVIII^e siècle) qui marque le début de la « modernité » dans les productions animales avec le culte de la rationalisation industrielle, les zones d'existences respectives des vaches et des taureaux sont bien séparées. Les vaches assurent la fonction de production et les taureaux celle de reproduction du capital. Ce sont les taureaux qui subissent la sélection la plus stricte. Le coût de leur entretien est élevé, et seuls les meilleurs sont retenus pour semer le progrès dans les troupeaux de vaches productrices. Comme nous allons le voir plus loin avec la notion de valeur génétique, dans le processus de sélection, seuls 10 % des taureaux deviennent producteurs de semence pour l'industrie de l'insémination artificielle et pour les troupeaux dits « élites », c'est-à-dire dont les animaux possèdent le meilleur capital génétique. Une partie des taureaux se retrouve éventuellement dans des troupeaux commerciaux pour une monte naturelle. Les autres subissent le sort de l'abattage. Appartenant au même monde des bovins, mâles et femelles ne se voient que très rarement, voire jamais, comme dans les systèmes industrialisés de production laitière où la pratique d'insémination artificielle s'est généralisée.

Ainsi, la répartition stricte des tâches et des espaces de vie entre les vaches et les taureaux, entre les génisses et les vaches, entre les bovins laitiers et allaitants, etc., colle bien au principe théorique et pratique de la division du travail appliqué au fonctionnement efficace de la société que développe par exemple Émile Durkheim dans *De la division du travail social*. Jocelyne Porcher,

sociologue à l'Inra, analyse la place des animaux agricoles en société sous ce prisme du travail, notion traditionnellement appliquée à l'humain (Porcher, 2004). Dans les systèmes industriels, l'animal n'existe pas, affirme-t-elle dans son article coécrit avec Tiphaine Schmitt (2010, p. 236), il « n'est que machine productive, chose produite ou élément indifférencié du flux qui irrigue le système pour créer du profit. [...] À l'instar du concept de travail humain », poursuivent les auteures en s'appuyant sur les travaux du professeur renommé de zootechnie André Sanson (1907), « fondé sur une représentation mécanique de la “machine humaine”, la construction de la zootechnie comme “science de l'exploitation des machines animales” s'appuie sur les notions d'énergie et de rendement » (p. 239). La notion de *performance* réunit justement ces notions chères au monde industriel et se place au centre de l'existence de l'animal producteur, qui doit démontrer à chaque instant de sa vie productive des résultats exceptionnels. Et la performance est performative. Cela veut dire que chacune de ces démonstrations « agit » sur la réalité. Dans le cas des vaches laitières, la performance signifie tout ce que les vaches ont et font en lien avec leur rôle de production. On prend ainsi en compte la quantité de lait produit, sa qualité, une conformité morphologique de la vache à un standard de race vu comme un paramétrage industriel, etc. Notées et mesurées, ces performances sont automatiquement supposées être améliorées à la génération suivante. Cette notion du progrès permanent est le moteur de la croissance économique dans le monde industriel. Dans les productions bovines, c'est là que le taureau entre en jeu. C'est lui le porteur du progrès dit « génétique » : il est jugé sur ses capacités à transmettre les bonnes performances à ses filles.

Dans les publications de la revue *Holstein International* (mai 2019), nous lisons la caractéristique d'un des taureaux promus par l'association mondiale de la race Holstein (World Holstein-Friesian Federation, WHFF) :

« La popularité de Bandicoot ne cesse de croître, et s'il confirme ses chiffres en août, elle continuera certainement à croître. C'est ce qu'attend Francesco Veronese d'Intermizoo¹⁵. [...] Les filles de Bandicoot ont une stature supérieure à la moyenne, mais selon Veronese, elles sont bien équilibrées et ont une largeur suffisante à l'avant. Veronese : “Si vous regardez son profil linéaire, aucun défaut ne peut être trouvé. Beaucoup de taureaux modernes ont des pointes des fesses hautes, des trayons courts ou des pattes droites. Bandicoot n'a aucun de ces problèmes. Il transmet des mamelles adaptées aux robots. Il induit également des vélages faciles.” »

Les taureaux reproducteurs sont sélectionnés en fonction des performances de leurs filles – les vaches productrices. Le taureau se trouve ainsi sur le chemin circulaire de la performativité des performances productives des vaches. Et sa performance à lui est d'inséminer le plus de vaches possible en disséminant ainsi le progrès génétique à travers sa descendance.

Les traditions de concours et de ventes aux enchères apparues en Angleterre et diffusées dans le monde créent ce que les sociologues appellent « lieux et moments de valuation », c'est-à-dire de la construction de la valeur (Dewey, 2011). En effet, ce sont des lieux de démonstration de performances, que ce soit pour les vaches ou pour les taureaux. C'est là que se joue l'interaction sociale entre les humains et entre ces derniers et les animaux. C'est là que des conventions s'établissent en matière de standards, de critères d'évaluation, de prix et de progrès (Grasseni, 2005). Les noms des taureaux champions marquent l'histoire de la sélection : Starbuck, Admiral Beatty, O'Man, Blackstar, etc. Dès le début du xx^e siècle, au sein de l'Empire britannique, la pratique des concours prend une envergure mondiale : les taureaux des différentes colonies sont confrontés entre eux en se disputant le droit de participer aux ventes aux enchères les plus prestigieuses en Angleterre. Ainsi, le taureau de race Friesland Terling Marthus, importé en Angleterre d'Afrique du Sud en 1922, devient champion incontestable du Royaume-Uni en procurant 6 % de gènes à toute la race Friesland¹⁶ (Wroughton et van Niekerk, 2012).

On se soucie peu à l'époque du problème de consanguinité et on vénère les taureaux champions capables de disséminer très largement leurs gènes. Ce phénomène, alors limité par les difficultés de transport des taureaux vivants et par les espaces-temps dédiés aux concours et ventes aux enchères, s'est amplifié avec la mise en place de technologies (insémination artificielle, cryoconservation, méthodes statistiques d'évaluation) qui permettent de déplacer et de dépasser les contraintes temporelles et spatiales du cycle biologique de reproduction.

L'insémination artificielle : une biotechnologie au service de la sélection intensive

C'est au milieu du xx^e siècle que la pratique de l'insémination artificielle commence à se répandre dans le monde des bovins à partir des travaux du vétérinaire russe Ilya Ivanoff (1870-1932) et de ses collaborateurs et successeurs, qui ont notamment mis en place le modèle de vagin artificiel pour l'apprentissage des actes d'insémination. Dorénavant, dans des lieux spécialisés partout dans le monde, nous pouvons en apercevoir des modèles qui ont peu évolué en quelques décennies, mis à part peut-être quelques accessoires « esthétiques » (figure 3). Aujourd'hui, l'insémination artificielle est la biotechnologie reproductive la plus utilisée dans le monde, avec plus de 100 millions d'inséminations effectuées annuellement en bovins (principalement laitiers), 40 millions en porcins, 3,3 millions en ovins et 0,5 million en caprins, sans parler de son utilisation humaine dont le marché mondial est évalué en 2018 à 1,5 milliard de dollars américains (source : Market Research Report, 2019).

Dans le monde bovin, l'insémination artificielle, adoptée à large échelle au Danemark et aux États-Unis dans les années 1930, est basée sur les coopératives d'éleveurs. Ce modèle économique de l'industrie de la semence bovine se répand rapidement dans d'autres pays. Une accélération du progrès génétique, et de fait du développement économique des filières nationales de la production laitière, a fait de l'insémination artificielle couplée à la cryoconservation la première « révolution » biotechnologique dans l'élevage bovin moderne. Aujourd'hui, le cheptel laitier des pays à l'agriculture industrialisée dépend pour 60 à 90 % de la filière d'insémination artificielle. Dans le monde animal, les bovins restent les plus grands utilisateurs de cette technologie car leurs gamètes supportent le mieux l'épreuve par la congélation. C'est justement le couplage de ces deux pratiques – insémination et cryoconservation – qui produit l'effet révolutionnaire dans l'élevage bovin. La capacité de la cryoconservation de suspendre le cycle de la vie y est cruciale. Théorisée par Aristote, l'*animalité* – le mouvement permanent et circulaire – est l'essence même de la vie. Or la technoscience défie ce mouvement naturel et arrive à le pacifier en l'arrêtant temporairement. Ce processus de transformation de la vie en « objet » inerte, manipulable et contrôlable plus facilement, est conceptualisé par Vermeulen *et al.* (2012) comme *bio-objectification*. Les *bio-objets* sont ainsi des objets similaires à la matière inerte, des choses banalisées, mais porteurs d'une vie potentielle. Ce processus de bio-objectification est inhérent à l'artificialisation et à l'économicisation de la nature.

La transformation des gènes bovins en bio-objets (doses de semence ou paillettes) capables de transporter des vies de nouvelles vaches « améliorées » dans le temps et dans l'espace passe par une standardisation et une normalisation biotechnologiques très strictes. D'abord, l'extraction du taureau reproducteur de la partie fonctionnellement utile pour la reproduction – le sperme – suit



Figure 3. Modèle de vagin de vache exposé dans une entreprise de production de semence bovine en Nouvelle-Zélande.

des protocoles qualitatifs précis en taurellerie. Sur le site d’Alice, union inter-professionnelle de coopératives d’élevage françaises, nous lisons notamment :

« L’opération a lieu deux fois par semaine pour chaque taureau et le déroulement d’une séance est pratiquement toujours le même. Dans la salle de monte ou de récolte – un lieu d’une propreté irréprochable pour éviter toute maladie –, le donneur est conduit vers un boute-en-train. Ce taureau castré est utilisé pour l’exciter durant quelques instants durant lesquels le donneur va “muser”, c’est-à-dire détecter les phéromones de son congénère. Puis, après deux fausses montes, le taurellier va augmenter encore l’excitation du donneur en “criant” selon un code compréhensible par l’animal, se “coller” littéralement à la bête et placer le pénis du taureau dans un vagin artificiel (chauffé à une température de 37 °C). L’éjaculat est alors recueilli dans des tubes. »

Après l’extraction de l’animal, la semence subit différents tests de qualité. Les critères de quantité de spermatozoïdes, de leur motilité et survivabilité après décongélation des gamètes sont pris en compte. Les éjaculats ayant obtenu les meilleures notes sont divisés en doses selon le processus de standardisation technique qui suit aussi une exigence d’efficacité économique. Il est constaté que la vitalité reproductive des spermatozoïdes ne dépend que peu du volume du sperme. Il est donc plus rentable de diviser l’éjaculat en plus petites doses équivalentes en capacité de reproduction au volume initial. Le nombre de spermatozoïdes jugé optimal est dilué avec des liquides adaptés à leur survie comme le lait ou l’œuf.

Ensuite, lisons-nous plus loin toujours sur le site d’Alice, « une machine assure la mise en “paillettes”, la fermeture et l’étiquetage sous la forme d’un code-barres de 10 caractères. Après réfrigération, les paillettes sont congelées dans de l’azote liquide à - 196 °C. [...] Les paillettes seront conservées durant trente jours dans les bonbonnes du centre de sélection, une période durant laquelle le donneur sera surveillé et ne devra développer aucune maladie : cette quarantaine est un ultime gage de sécurité sanitaire ».

Préparées ainsi, les paillettes multicolores sont prêtes à voyager dans le monde entier, en portant en leur sein une potentialité de vie nouvelle et une promesse du progrès génétique à des populations de vaches laitières dans un ailleurs spatial et temporel. L’objectif premier des coopératives de production de semence bovine est orienté vers les filières nationales. Ce sont leurs adhérents nationaux qui sont les « clients » principaux du service d’amélioration génétique. Mais la tentation de l’économie d’échelle ouvre une fenêtre d’opportunité pour les exportations de la semence produite localement. Le coût d’entretien et d’évaluation des taureaux reproducteurs étant élevé (7 000 à 10 000 euros par an selon différentes estimations), la possibilité de démultiplier leurs gènes en produisant des doses de semence donne l’espoir d’une optimisation économique des productions. Ainsi, la vente d’un surplus de semence à l’étranger permet

de réduire les coûts de la sélection locale et de réduire ainsi les frais des éleveurs-adhérents. Ce sont des organisations coopératives nord-américaines avec la race Holstein qui ont tracé ce chemin d'exportation massive de la semence bovine – j'y reviendrai dans la seconde partie du livre.

Vive les vaches ! Le bonus technologique de la semence sexée

Étant donné que la force productrice de lait est représentée par la vache, ce sont principalement des femelles que l'éleveur cherche à reproduire. Dans les troupeaux commerciaux laitiers, le veau est considéré comme un « sous-produit » du lait (Porcher et Schmitt, 2010). Si en plus c'est un mâle qui n'a pas vocation à devenir reproducteur (n'oublions pas que très peu le deviennent), il est vraiment vu comme un « déchet » de production, qui en plus coûte en entretien et en abattage. La viande en provenance des élevages laitiers n'a que très peu de valeur pour couvrir les frais. Pour éviter au maximum ces déchets, une nouvelle technologie se greffe « en bonus » à l'insémination artificielle. Breveté en 2003 par la compagnie américaine Sexing Technologies, le *sexage* de la semence entre dans les pratiques de la reproduction contrôlée pour répondre à l'objectif d'optimisation des élevages laitiers dans l'accélération du progrès génétique des troupeaux. Un procédé biotechnologique sophistiqué appelé « cytométrie de flux » défie une fois de plus la loi de l'équilibre génétique¹⁷ : appliqué aux spermatozoïdes du taureau, il permet de trier les chromosomes X et les chromosomes Y et de donner naissance uniquement à des femelles (avec une fiabilité de 90 %).

Malgré le prix plus élevé des doses de *semence sexée* (environ le double du prix de la semence conventionnelle en France) et le taux de conception plus bas par rapport à la semence conventionnelle, l'utilisation de cette technologie s'amplifie au fil des années et prend rapidement des parts de marché, surtout dans les élevages laitiers. En France, selon les données de l'Institut de l'élevage (Idele), entre 2010 et 2015, la courbe de l'utilisation de la semence sexée a progressé de 110 340 à 613 298 doses, dont la grande majorité pour les races Holstein et Montbéliarde. À partir de 2016, un léger inversement de la courbe est observé : pour les spécialistes de l'Idele, la baisse des prix du lait explique la baisse des investissements technologiques des éleveurs.

En même temps, en Inde, pays de la vache sacrée où l'abattage des bovins pose des problèmes éthiques et politiques, et où la demande en lait augmente avec l'évolution démographique et le niveau de revenus de la population urbaine, la technologie de sexage est la bienvenue. Elle est même considérée par certains acteurs locaux comme une des plus grandes ruptures technologiques et la

solution la plus efficace à l'heure actuelle pour porter l'industrie laitière du pays. Depuis 2014, la Fondation Bill et Melinda Gates finance le partenariat entre la compagnie américaine Sexing Technologies et la Bharatiya Agro Industries Foundation (BAIF), une organisation non gouvernementale (ONG) indienne investie dans le développement agricole pour diffuser la semence sexée des animaux de race Holstein dans les troupeaux des éleveurs ruraux indiens. Cette opération de croisement entre la Holstein et les races indiennes issues des zébus (*Bos indicus*) vise à améliorer la productivité de ces dernières. L'installation récente d'une unité de production de semence sexée sur place auprès de la BAIF a également permis d'utiliser cette technologie sur les races locales de zébus et de buffles. D'après les documents internes du projet Enhanced Genetics Project, ce dernier volet de la coopération technologique entre Sexing Technologies et la BAIF connaît un succès plus important que l'importation de semence sexée de la race Holstein.

Chapitre 2

La génétique. Entre technoscience, économie et politique

L'expansion rapide et l'organisation coopérative de l'insémination artificielle ont contribué à l'élargissement du contrôle de la reproduction dans la volonté collective d'amélioration du cheptel. La discipline scientifique de la génétique quantitative, héritière des méthodes biométriques développées encore en Angleterre victorienne au nom de l'idéologie eugéniste, a pu se développer dans son application à la sélection animale grâce à l'apport de données sur les mesures des performances bien tracées généalogiquement et grâce à l'insémination artificielle permettant de maximiser ce traçage. Le système de « testage » des taureaux sur leur descendance a donc été mis en place avec plus ou moins de décalage dans les pays occidentaux entre les années 1940 et 1960. De manière générale, bien encadrés par les États nationaux qui mettaient en place des politiques d'amélioration des populations animales, le développement des recherches et l'intensification de la sélection allaient de pair (Vissac, 2002). La plus emblématique en la matière est la loi sur l'élevage (dite « loi du sperme ») adoptée en France en 1966 à l'unanimité par le Parlement. Elle mettait en place un vrai service public de la génétique. Cette loi réglementait entre autres le recueil de données du contrôle des performances, leur stockage dans la base de données nationale centralisée (sous l'égide de l'Inra) et leur mise à disposition totale aux besoins de la recherche. Les généticiens ont ainsi pu mettre en place des méthodes statistiques pour une évaluation génétique des caractères complexes, polygéniques et à variation continue. Ce type de caractères représente la majeure partie des caractères d'intérêt économique chez la vache, dont le principal est la production laitière. Dorénavant, les calculs savants œuvrent pour « mesurer objectivement la valeur qui sera transmise à la descendance pour chacun des reproducteurs potentiels » (Ducrocq, 2020). Accompagnée des avancées technologiques, la génétique quantitative sert l'amélioration des populations bovines dans une perspective de « progrès » nécessaire pour nourrir la population humaine grandissante et demandeuse de protéines animales pour son alimentation.

Comment mesure-t-on la vache ? L'ouverture de la boîte noire de la métrologie bovine

Dans le processus d'évaluation de l'animal en vue de son intégration efficace dans des circuits économiques, les mesures prises sur l'animal se complexifient au fur et à mesure en apportant de plus en plus de précision et d'objectivité scientifique. Les premières appréciations sont visuelles et concernent principalement les caractères morphologiques plutôt descriptibles que quantifiables. À la fin du XVIII^e siècle, la taille, indicateur de la performance au travail de champ, et la production laitière sont les principaux critères de la sélection au début de sa conceptualisation méthodologique en Angleterre. Comme l'affirme avec humour Baron Rowland Erle, un expert agricole britannique du début du XX^e siècle, « le seau et la charrue fournissaient la mesure » (cité par Vissac, 2002, p. 103). Avec le développement du marché dans une perspective de concurrence, d'amélioration et de diversification de performances valorisées économiquement, les mesures se sont complexifiées au sein d'un processus d'objectivation quantitative. Les garanties précises et objectives que les éleveurs, les sélectionneurs, les scientifiques et l'État ont coconstruites naissent à leur tour à partir des actes de mesure réguliers, standardisés et précis.

Ce qu'on appelle désormais « le contrôle laitier », c'est-à-dire la mesure des performances de l'animal liées à sa production de lait, se met en place progressivement et en pointillés à partir de la fin du XIX^e siècle. Le site de l'organisation internationale ICAR (International Committee for Animal Recording) a établi une chronologie de l'apparition de ces premières pratiques par pays. Aux États-Unis, on note les premières mesures de quantité de lait à partir de 1883. Toutefois, c'est au Danemark et en France que le contrôle laitier devient affaire organisée et coordonnée collectivement au début du XX^e siècle.

Un moment des plus fastidieux et en même temps des plus cruciaux dans le processus de quantification est la mise en équivalence des mesures (Desrosières, 2014). Cette recherche de consensus pour établir une mesure universelle est souvent longue, et l'universalité est rarement, voire jamais, atteinte. Entre les différentes unités de mesure (litres, livres, kilogrammes), la périodicité (deux fois par jour, une fois par jour, une fois par semaine) ou la durée des relevés (300, 305, 310 jours de lactation de la vache ou sur l'année entière), la normalisation du contrôle laitier, déjà très complexe dans le cadre des dispositifs réglementaires étatiques, le devient plus encore lorsque la circulation des ressources génétiques s'internationalise et se libéralise. D'après l'ICAR, entre l'idée d'homogénéisation des pratiques du contrôle laitier et les premières tentatives de les homogénéiser entre les pays, il aura fallu presque trente ans. Actuellement, l'ICAR élabore en tant qu'organisation internationale des standards pour homogénéiser les mesures de performances, mais la réalité des pratiques dans des systèmes

de production hétérogènes fait qu'on est toujours obligé de tenir compte de la diversité à plusieurs niveaux. Sophie Mattalia, généticienne de l'Idèle investie dans les instances internationales de la sélection bovine, explique :

« On a l'impression qu'un litre de lait c'est toujours un litre de lait. Mais il y a des protocoles de contrôle laitier qui sont derrière. Il y a des endroits où on prend les données d'une collecte par jour et on estime derrière le taux journalier. Il y en a d'autres qui utilisent les robots et donc qui ont les données sur chaque collecte. Tout cela fait que la performance à la base peut être différente. ICAR propose un standard. Mais on essaie de garder la souplesse. Quand on dit harmonisation, il y a plusieurs méthodes. Il y a un "A4" en contrôle laitier : tous les mois c'est standard. Après, on a des méthodes de reconstitution pour toutes les 5, 6, 7, 8, 9 semaines. On perd en précision, mais bon. Les pays adaptent aussi les méthodes en fonction des contextes économiques, climatiques, technologiques, physiologiques, etc. »

L'importance économique d'autres caractères, notamment morphologiques et physiologiques, a été reconnue non seulement pour leur conformité aux standards de la race, mais aussi pour leur lien avec la capacité de production de la vache. On peut ainsi lire dans un manuel de méthode de pointage (mesure)¹⁸ :

« La largeur et la profondeur de poitrine conditionnent la capacité respiratoire et donc le métabolisme de production laitière (500 litres de sang doivent passer dans la mamelle pour "fabriquer" 1 litre de lait). »

Le besoin d'objectiver les caractères continus pour les contrôler et les changer par le processus de sélection implique la nécessité de les mesurer de manière régulière et standardisée. Les associations de race sont chargées de constituer des « tables de pointage » pour y inclure une sorte de nomenclature de valeurs numériques en fonction de l'appréciation visuelle (figure 4).

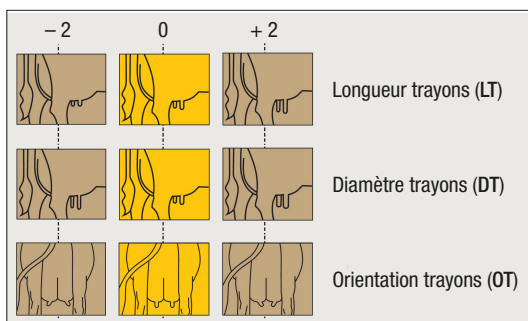


Figure 4. Extrait de la table de pointage de la race Brune, in *Brune Contact*, n° 96, sept. 2021. © Brune Genetic Services.

Ici, les notes de -2 à +2 définissent les positions des trayons, et les vignettes jaunes montrent ce qui est recherché.

Standardiser l'évaluation des caractères qualitatifs, c'est-à-dire ceux qui ne sont pas mesurables directement avec des unités métriques reconnues, mais qui se définissent plutôt par une description verbale, est d'autant plus difficile que

le facteur humain de perception subjective est présent. Les tables de pointage explicatives et détaillées (entre 15 et 73 pages en fonction des races en France, par exemple) sont mises en place par les associations de race, et des spécialistes de pointage sont formés. « Pointeur » devient un métier à part entière. Nous verrons également dans les chapitres à venir les enjeux liés à l'expansion internationale de la race et les difficultés qu'elle entraîne pour concilier les différentes compréhensions des caractères qualitatifs et les façons de les mesurer. Par exemple, le caractère de longévité est mesuré de cinq manières en Europe, ce qui révèle des disparités dans la définition de cette notion au sein des différents agencements construits autour de l'animal industriel.

Les mesures effectuées sur l'animal deviennent de plus en plus sophistiquées et automatisées. La vache « connectée » est dorénavant une réalité. Dotée de capteurs multiples, elle transmet à l'éleveur les informations sur son état physiologique sous forme de chiffres, de graphiques, de tables. Le contact entre l'animal et son éleveur passe par les chiffres. Le capteur de température placé sur la vache avertit l'éleveur par l'intermédiaire de l'ordinateur sur son bureau, du smartphone dans sa poche ou de la montre sur son poignet, que la vache est prête à être inséminée, gestante ou malade. Les capteurs, placés sur la mamelle et connectés à un programme intégré aux appareils de traite, mesurent la qualité du lait et la quantité des cellules somatiques qui engendrent un risque de mammite. « Vous pouvez avoir une vie de famille classique, vous et vos employés pouvez avoir des horaires de travail normaux. Il sera plus facile d'être éleveur dans le futur », peut-on lire sur le site corporatif du fabricant de l'équipement de ferme DeLaval®, avec le témoignage d'un éleveur danois, propriétaire d'une interface utilisateur permettant d'accéder à l'information et de contrôler le système à distance.

L'essor des biotechnologies a ouvert la possibilité de mesurer l'animal et sa production au niveau moléculaire. L'ADN de l'animal est scanné par des appareils hautement technologiques à partir d'un échantillon biologique (poil, sang, morceau de cartilage). Les techniques de séquençage et de génotypage fournissent l'information sur le génome de l'animal dans une perspective d'amélioration génétique des troupeaux plus rapide et plus efficace.

Néanmoins, comme nous le rappelle l'historien et le philosophe des sciences Simon Schaffer (2015, p. 410), « l'idée d'un progrès linéaire de la précision comme élément d'un ordre moderne inévitable » est réfutable : l'historicité de l'acte de mesure souligne l'importance des « rituels » relevant du domaine social. « Les techniques de mesure, ajoute-t-il, dépendent toujours du truchement complexe d'instruments, d'outils et de praticiens, et elles sont incorporées dans des systèmes de rituels simultanément partagés et discutables. Faire évoluer ou coïncider ces systèmes n'est ni facile ni évident en soi. » Comme tout acte de valuation, l'acte de mesure est forcément situé dans le temps et dans l'espace.

Il résiste ainsi à l'universalisation, même si la standardisation des instruments le rend en apparence plus apte à être compris et opéré de la même manière partout. Lorsqu'il s'agit de la vache, animal qui fait partie de la vie en société depuis des millénaires et dont les pratiques d'élevage suivent un principe de cumulativité ou, selon l'expression de Bertrand Vissac (1993), de « mémorisation-information », la question de l'universalisation des mesures devient inévitablement un sujet complexe scientifiquement, politiquement et économiquement. Comme nous le verrons également avec l'exemple de l'Afrique du Sud dans la seconde partie de ce livre, il ne faut pas négliger l'importance « du seau et de la charrue » lorsqu'il s'agit de faire « atterrir » (selon l'expression déjà citée de Bruno Latour) la valeur calculée de la vache auprès des éleveurs du terrain.

Les conventions biosociales en amont des calculs des valeurs génétiques

« La quantification se décompose en deux moments : convenir et mesurer. Le premier, souvent méconnu des utilisateurs, est au moins aussi important que le second. » (Desrosières, 2014, p. 39)

Alain Desrosières, sociologue de la statistique et statisticien lui-même, distingue les processus de *quantification* et de *mesure*. Il emploie le mot « quantifier » dans le sens large, générique et non normatif d'« exprimer et faire exister sous une forme numérique ce qui, auparavant, était exprimé par des mots et non par des nombres ». « Mesurer » suppose, en revanche, que quelque chose préexiste déjà sous forme mesurable avec une métrique établie. D'où l'intérêt de prêter attention à la « fabrication » de ces choses mesurables et de leurs métriques, qui nécessite des « conventions d'équivalence préalables, impliquant des comparaisons, des négociations, des compromis, des traductions, des inscriptions, des codages, des procédures codifiées et répliquables conduisant à la mise en nombre » (Desrosières, 2014, p. 38).

L'étape d'établissement de telles conventions est très peu prise en compte par beaucoup d'acteurs de la sélection bovine. Ce n'est pas qu'elle leur soit méconnue, mais, enfermée dans une « boîte noire », elle leur paraît tellement aller de soi que cette évidence maintient presque l'ignorance. Ils y accordent beaucoup moins d'importance qu'au résultat des calculs. Lors d'un colloque international sur la génétique animale, j'ai échangé quelques mots avec un chercheur venu faire une présentation de ses méthodes de calcul dans un des panels dédiés aux bovins. Ce qui a attiré mon attention, quoique assez distraite par l'incompréhension des formules savantes, c'est qu'il n'a pas parlé du tout de l'objet de ses calculs, en l'occurrence de la vache. Pendant la pause-café, il

m'a dit qu'il s'était en effet retrouvé dans le domaine de l'évaluation bovine par hasard. Mathématicien formé en Ukraine, il était venu faire un post-doc au Danemark à l'université d'Aarhus, où on lui avait proposé un poste au département de génétique animale. J'étais curieuse de savoir comment on pouvait calculer les valeurs génétiques des animaux sans connaître l'objet de ces valeurs. Pour lui, ce n'était pas un problème en soi. Tant qu'on lui fournissait des chiffres, il disait maîtriser parfaitement les modèles.

La valeur d'un animal est-elle donc une affaire de calcul pur, dur et rationnel ? En effet, les vaches étant « enfermées » dans des systèmes industriels de production, la mesure de leurs performances l'est aussi. À l'étape de calcul des valeurs génétiques, externalisée dans des centres de calcul spécialisés, la vache arrive déjà sous forme de chiffres, d'informations codées et stockées dans des bases de données d'où elles sont extraites avec des logiques propres aux modélisateurs. La quantification, comme le souligne Theodore Porter (1995), crée de l'impersonnalité ou, peut-on dire dans le cas des bovins, de l'« invacheté ». La vache devient un objet virtuel, une série de formules et de chiffres, similaires à ceux utilisés pour d'autres objets soumis à la mesure statistique. On y retrouve des moyennes, des corrélations, des variances, des indices de fiabilité, etc. Les généticiens, dont une grande partie me confiait lors des entretiens avoir rêvé de travailler en contact avec les animaux en tant que vétérinaires ou éleveurs, se retrouvent *in fine* derrière leurs écrans d'ordinateur à manipuler des modèles mathématiques.

« Enfermé » dans les boîtes noires des systèmes industriels, l'animal de ferme a été pendant très longtemps absent des travaux sociologiques. Depuis quelques années, il vient de plus en plus interroger les chercheurs en sciences humaines et sociales par son rôle dans l'Anthropocène, dans lequel il coexiste avec l'homme et à la construction duquel il participe depuis des millénaires (Porcher, 2004 ; Despret, 2016 ; Novek, 2005). Sans être « politiques » dans leurs actes, comme peuvent l'être les humains, les animaux ont une capacité à défier le paradigme de l'anthropocentrisme. Les vaches, les chevaux, les porcs sont, comme le montrent diverses enquêtes de terrain, des parties prenantes des processus interrelationnels dans la constitution des agencements sociobiotechniques, notamment dans le domaine des productions agroalimentaires. Donc, comme à la ferme « les vaches *font des choses*, en prenant des décisions et des initiatives, en facilitant ou en compliquant le travail des éleveurs » (Porcher et Schmitt, 2010), elles participent également et inévitablement à leur propre métrologie aux côtés des acteurs humains. Les productions animales sont un résultat de négociations et de renégociations permanentes entre les acteurs humains et non humains (notamment les animaux) pour le fonctionnement du réseau de la sélection. Il s'agit notamment d'établir des chaînes de traduction entre la vache en tant qu'animal et le besoin de l'homme d'avoir telle ou telle quantité

de lait de telle ou telle qualité. Cette chaîne passe par la création de la valeur économique de la vache et donc par une aptitude de la vache à produire, certes, mais aussi à être *mesurée*. C'est parce que la vache vêle qu'on peut mesurer sur une échelle de 1 à 5 la facilité de vêlage. C'est parce que la vache donne du lait qu'on peut mesurer sa quantité en nombre de litres, de kilogrammes, de livres par jour, par mois, par an, etc. Et c'est parce qu'elle mange et transforme les aliments en nutriments contenus dans son lait (en premier lieu pour son veau) qu'on peut aussi mesurer sa teneur en matières grasses et en protéines.

Ce que « font » les vaches et ce qu'on peut observer chez elles est désigné en biologie au travers de la notion de phénotype ou des caractères phénotypiques (pour parler des caractères spécifiques d'intérêt de la sélection). Mais dans la profession, on utilise dorénavant plus couramment le terme de « performance », qui relève de la culture industrielle et qui souligne la visée de l'efficacité économique chez les animaux. La quantification du phénotype de l'animal se limite, pour l'activité de la sélection, à la mesure de ses performances. Alain Desrosières (2014) pointe l'effet pervers de la procédure de quantification des performances, omniprésente dans le monde industriel, sur les acteurs qui se focalisent sur les résultats numériques (indicateurs ou index) et oublient l'importance de l'action en elle-même. D'où l'intérêt de rappeler aux acteurs de la profession cette autre dimension de la quantification : la convention sociobiotechnique qui accompagne les actes de mesure. L'animal comme organisme vivant qui tend à échapper à la rationalisation impose la réouverture des boîtes noires de la mesure à chaque fois qu'on estime qu'elles sont fermées de façon en apparence irréversible, qu'une méthode est stabilisée, que le processus est standardisé, mais qu'un « conflit » entre l'index numérique calculé (valeur génétique estimée) et la réalité observable (phénotype ou performance) apparaît. Une réouverture des boîtes noires de la mesure a notamment été nécessaire avec l'internationalisation de la sélection bovine, dont je parle au début de la seconde partie de cet ouvrage, afin de rendre comparables les valeurs génétiques d'animaux issus de différents pays.

La valeur génétique du taureau reproducteur : un long chemin de traduction

Une telle convention sociobiotechnique portant sur l'évaluation génétique des bovins est d'autant plus complexe que le porteur de la valeur n'est pas celui dont on mesure les performances. Le processus d'attribution d'une valeur génétique à un taureau reproducteur dans le schéma de sélection génétique repose sur l'épreuve de la descendance, généralement désignée « testage sur descendance ». Le taureau étant considéré comme porteur du progrès génétique qu'il distribue *via* sa semence, il se retrouve ainsi bénéficiaire principal de la

valeur capitalistique. Le processus de testage est long et complexe, comme nous pouvons l'apercevoir sur la figure 5.

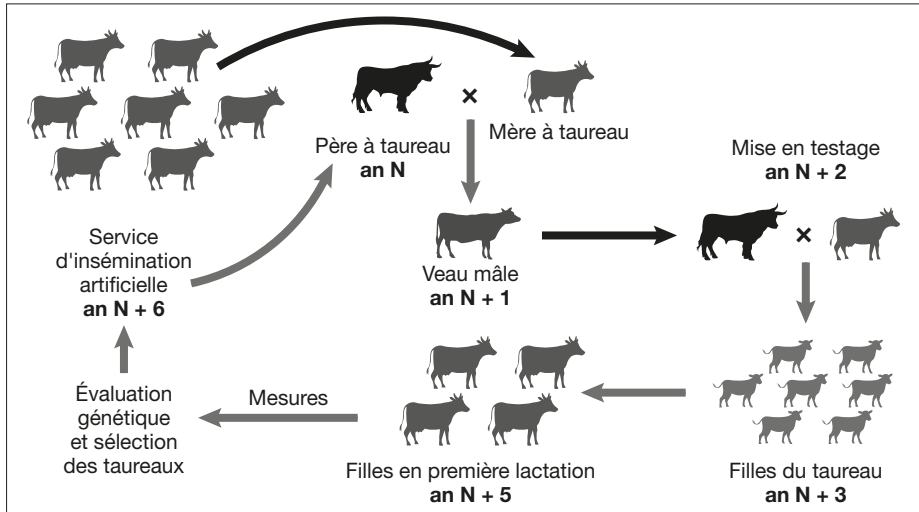


Figure 5. Schéma type de testage sur descendance. D'après Vincent Ducrocq.

Le veau mâle qui naît déjà présélectionné sur les valeurs de ses parents (voie ascendante) est mis en testage à 15 mois. C'est-à-dire que son sperme est utilisé pour inséminer des vaches qui vont donner naissance à des veaux parmi lesquels les femelles, une fois arrivées à maturité, seront inséminées à leur tour. Lorsque ces vaches donnent naissance à des veaux, leur lactation commence et les mesures de leurs performances se mettent en place. Les informations sont scrupuleusement enregistrées et envoyées dans une base de données centralisée. Les données sur une centaine de femelles filles du taureau recueillies sur la première année de leur lactation servent à calculer la valeur génétique du taureau reproducteur. Le nombre de caractères d'intérêt varie en fonction des races et des schémas de sélection. Au niveau du standard international promu par l'ICAR, il s'agit de quarante caractères répartis en catégories :

- de production (quantité de lait, taux de matières grasses, taux de protéines) ;
- de physiologie (santé, par exemple le taux de cellules somatiques dans le lait révélatrices des mammites dites « subcliniques » ; reproduction, comme le taux de conception, la facilité de vêlage, la longévité) ;
- de morphologie (taille de l'animal, forme et positionnement des différentes parties de son corps, notamment de la mamelle et des trayons).

À partir de ces mesures (que l'on suppose déjà standardisées, c'est-à-dire ayant passé l'étape de la construction d'une convention d'équivalence) d'une centaine de filles intégrées dans différents élevages, les généticiens quantitatifs peuvent calculer les index attribués au taureau père.

Comme le souligne le généticien Vincent Ducrocq (2020), « une évaluation génétique de qualité nécessite une bonne appréciation des conséquences pratiques d'un mauvais choix du modèle statistique ». La création du modèle est préconditionnée par plusieurs choix que le généticien doit être capable de faire en utilisant ses compétences et ses connaissances hybrides en génétique, en statistique, en zootechnie, en biologie, etc. Premièrement, il s'agit de se rapporter à une série d'hypothèses génétiques et statistiques. Avec les hypothèses génétiques, on suppose généralement, d'une part, que le déterminisme des caractères étudiés est polygénique (c'est-à-dire que chaque caractère est déterminé non pas par un, mais par plusieurs gènes) et, d'autre part, qu'un descendant reçoit la moitié de ses gènes de chacun de ses parents et que leur répartition allélique est aléatoire. Les hypothèses statistiques sont encadrées avant tout par la loi des grands nombres, qui établit que la valeur génétique (égale à la somme des effets de tous ces gènes) suit une distribution normale exprimée par la fameuse courbe de Gauss en forme de cloche.

Les hypothèses génétiques se rapportent notamment au modèle de base mis en place par le généticien danois Wilhelm Johannsen (1857-1927), qui a introduit en 1911 les concepts de phénotype et de génotype. L'ensemble des gènes (chacun composé de deux allèles, un paternel et un maternel) que possède un individu constitue son génotype. Le phénotype, quant à lui, représente l'ensemble des caractères observables exprimés par l'individu. Rappelons que dans la sélection bovine, ces caractères sont réduits à quelques-uns qui présentent un intérêt économique (performances) et font l'objet d'une mesure. Pour Johannsen, le phénotype est le résultat de la somme des effets du génotype et du milieu :

$$P = G + E$$

Les effets du génotype sont calculés grâce à une méthode statistique dont le choix est déterminant. Il est réalisé par les pairs au sein de la communauté de généticiens quantitatifs. Il dépend de l'origine, du nombre et de la qualité des données récoltées. Ainsi, le modèle le plus répandu, appelé « modèle animal », suppose que l'effet du génotype provient uniquement de l'animal évalué. D'autres modèles partent de l'hypothèse que les effets génétiques proviennent soit du père (« modèle père »), comme c'est le cas des bovins laitiers où l'insémination artificielle permet à un seul taureau d'avoir des milliers de descendants, soit des deux parents (« modèle père-mère »), comme dans le cas des porcins, où le nombre de descendants par « couple » est important. Le choix du modèle dépend donc des caractéristiques de l'animal évalué : d'une part, des paramètres biologiques de l'espèce qui détermine la physiologie de reproduction et, d'autre part, du rôle que l'animal joue dans les systèmes de production, qui est aussi défini par sa nature biologique. Dans le chapitre suivant, j'aborderai la question de la prise en compte des effets du milieu dans des modèles mathématiques d'évaluation génétique de l'animal.

La méthode la plus reconnue dans la génétique quantitative appliquée à la sélection bovine est la méthode BLUP (Best Linear Unbiased Prediction), élaborée dans les années 1960 par le statisticien Charles Roy Henderson (1911-1989). Cette méthode tire sa fiabilité de la prise en compte d'un maximum de variables. En même temps, elle est considérée comme assez flexible pour laisser des marges de négociation dans le processus d'évaluation. Le BLUP permet d'appliquer plusieurs types de modèles, par exemple des modèles dits « linéaires » pour l'estimation de la valeur sur un caractère à variation continue (mesurable), ou des modèles dits « à seuil » utilisés pour les paramètres qualitatifs (animal sain/malade, facilité de vêlage notée selon l'échelle de 1 à 5, etc.). Avec le BLUP, il est également possible de varier les échelles d'évaluation depuis un troupeau au sein d'une ferme jusqu'au niveau international.

Pour résumer, les valeurs génétiques du taureau reproducteur se calculent caractère par caractère, avec à chaque fois le choix d'un modèle *ad hoc*. Du point de vue de la génétique quantitative, encadrée par les lois de la statistique et de l'hérédité, on définit la *valeur génétique* comme une moyenne phénotypique de nombreux individus de même génotype, exprimée en écart à la moyenne de la population (Verrier *et al.*, 2001). Autrement dit, elle représente l'espérance de la performance conditionnée par les gènes. Cette « espérance » exprime en même temps une probabilité subjective ou épistémique (sens commun ou générique du terme) et objective ou fréquentiste (sens mathématique du terme). Dans son premier sens, la probabilité est une croyance exprimée malgré notre savoir incomplet sur le monde. Dans le second cas, cette incomplétude d'informations est intégrée dans les méthodes de prédiction comme faisant partie de la réalité objective, et donc mesurable. On parle alors en statistique d'une marge d'erreur possible qu'on inclut dans les modèles sous forme d'une résiduelle (e) représentant tous les aléas qui peuvent se produire et avoir un effet relativement petit sur le résultat final.

$$P = G + E + e$$

La confiance que l'utilisateur peut porter à la valeur génétique de l'animal est exprimée par l'indice CD (coefficient de détermination) dont la grandeur placée entre 0 et 1 doit idéalement tendre vers 1 ou 100 %. Une note publiée par l'Idede explique :

« La valeur génétique vraie n'est jamais connue, mais sa valeur la plus probable peut être estimée avec une certaine précision. Le coefficient de détermination (CD) constitue la mesure de cette précision et indique le degré de fiabilité qu'on peut accorder à l'index. Un index sur ascendance seule a un CD inférieur à 0,5, [...] tandis que le CD d'un index sur descendance peut atteindre théoriquement 1 si les produits sont très nombreux. »¹⁹

À la fin de tout ce processus de calcul, la valeur du taureau mis en testage sur descendance est établie avec tous les « si » et les « mais » statistiquement pris en

compte. Les sélectionneurs peuvent choisir un taureau sur la base des différents index. Généralement, sur 100 taureaux mis en testage, une dizaine seulement sont sélectionnés pour la « mise en service » en insémination artificielle. À l’an N + 6 (et pour les « petites » races même plus), ces taureaux auront le droit de disséminer leurs gènes très largement en produisant des milliers de doses de semence qui seront introduites dans les programmes de sélection nationaux et sur le marché international. Des milliers de vaches pourront ainsi donner naissance à une génération suivante « améliorée ». Et ainsi de suite dans ce processus cyclique de sélection au nom du progrès.

Les index : la valeur de l’animal en quelques chiffres

Estimée à l’aide des méthodes statistiques de la génétique quantitative, la valeur génétique (EBV, pour *estimated breeding value*) est exprimée par un *index* numérique. Dans la situation actuelle du marché de la génétique relevant de ce qu’on appelle « l’économie des qualités » (Callon *et al.*, 2000), c’est l’index génétique et non le prix qui sert d’instrument principal de vente. Les catalogues de semence des taureaux reproducteurs se présentent typiquement de la manière suivante (figure 6) :

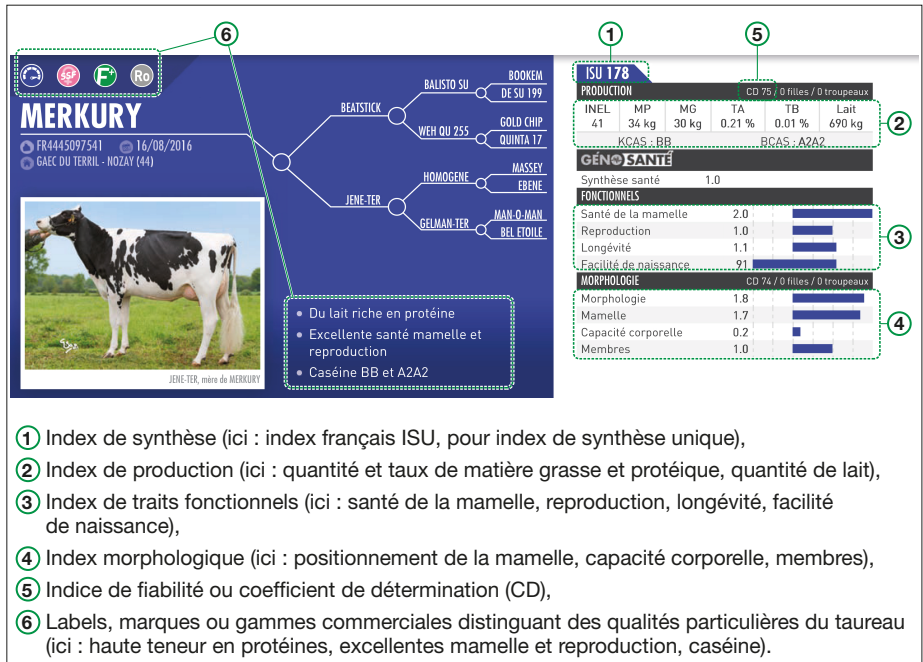


Figure 6. Page du catalogue de semence Holstein de l’entreprise de sélection Évolution en 2019. (Légendes 1 à 6 ajoutées par l’auteur.)

Aux côtés de la photo représentant le taureau lui-même, son père, sa mère (comme sur la figure 6) ou une de ses filles, on voit un certain nombre d'informations, dont une grande partie est représentée par des séries de chiffres. Ce sont des index :

- général, global ou synthétique (1) ;
- relatifs à la production laitière (2) ;
- relatifs à la physiologie de l'animal (3) ;
- relatifs à la morphologie ou à la conformation (4).

L'index synthétique résumant la valeur du taureau est généralement accompagné de lettres – ISU, TPI, LPI, NVI, etc. – spécifiques d'une échelle nationale d'évaluation : respectivement française, américaine, canadienne, néerlandaise, etc. Il est important de noter ici que les valeurs des animaux sont rattachées à des pays précis – telles des marques de fabrique des pays producteurs et exportateurs de la génétique bovine.

L'index global (1) est constitué à partir de différents index unitaires pondérés en fonction de l'importance accordée à des caractères phénotypiques exprimés par les vaches en production dans un programme de sélection donné. Les index 2, 3 et 4 expriment justement ces valeurs unitaires regroupées par type de caractère : production (quantité et qualité de lait), physiologie (santé et reproduction) et morphologie (taille de l'animal, forme et positionnement des différentes parties de son corps).

Chacun de ces chiffres porte une promesse d'amélioration des animaux à naître : des vaches plus productives, moins malades, plus conformes à un standard voulu. L'index est donc le premier élément que l'acheteur de la génétique regarde en faisant confiance aux chiffres (Porter, 1995). Mais cette confiance porte aussi bien sur le chiffre que sur celui qui l'a produit en effectuant le calcul. Cette confiance peut être retirée si la promesse de l'index ne se réalise pas, comme nous le verrons notamment dans le chapitre 8 avec l'exemple de l'Afrique du Sud où les éleveurs Holstein ne croient plus en fiabilité de l'index génétique local, lui préférant ceux des autres pays.

L'index est en quelque sorte un miroir orienté vers l'avenir, telle une boule de cristal dans laquelle l'éleveur peut voir ses futures vaches. Scientifiquement objectivée, cette boule de cristal doit être fiable. Chaque index a son propre indice de qualité : la fiabilité de la prédiction, exprimée par le *coefficient de détermination*, ou CD (5 sur la figure 6), dont la valeur numérique est censée tendre vers 100 % ou vers le 1 pour refléter le plus exactement possible les caractéristiques des futures vaches productrices.

Les catalogues de semence font également figurer des « marques », des « gammes » ou des « labels » (6 sur la figure 6) aux côtés des index génétiques globaux et unitaires. Cette tendance de catégorisation s'affirme de plus en plus sur le marché de la génétique. Chaque entreprise de sélection peut ainsi valoriser

telle ou telle spécialisation qualitative de l'animal améliorateur (facilité de vêlage, santé de la mamelle, production laitière, etc.) et permet à l'éleveur de choisir les animaux reproducteurs pour son troupeau. Une telle mise en marketing du vivant confirme, voire renforce son statut de produit valorisable uniquement par ses performances, sur lesquelles se base la compétition économique des entreprises. Cette tendance est également liée à celle de l'appropriation du vivant par les acteurs économiques qui, détenteurs des informations génétiques des animaux, privatisent la ressource génétique et la mettent sur le marché.

L'index génétique comme standard technique, économique et politique

L'index de synthèse, ou Total Merit Index (TMI) présenté sur la figure 6 (1), a une signification tout à fait particulière pour les acteurs de la sélection bovine. Elle est d'un côté technique, visant à objectiver le choix des reproducteurs, et de l'autre doublement politique : l'index est à la fois le résultat d'une négociation collective à l'intérieur d'un système de sélection donné, et le moyen de négociation lors de l'ouverture de ce système vers le commerce extérieur. Du point de vue de la génétique, le progrès est plus efficace lorsque la sélection est faite sur la base d'un ensemble de caractères plutôt que sur la base de chacun des caractères séparément. Donc, une fois que les index génétiques pour chaque caractère d'intérêt sont calculés, certains d'entre eux sont rassemblés selon leurs poids respectifs dans un système de sélection donné. Le choix des caractères à inclure dans cet ensemble représente une nouvelle étape de la construction des conventions d'équivalence entre les acteurs. Les programmes d'amélioration génétique étant jusqu'à présent déployés principalement au niveau national, les TMI construits dans chaque pays sont ainsi représentatifs des objectifs économiques de sélection et permettent d'établir le classement unique national pour chaque race. Ces classements, construits sur des boîtes noires qui enferment les calculs complexes des caractères unitaires hétérogènes et souvent invisibles, remplacent dorénavant l'évaluation visuelle des animaux et se substituent à la tradition des concours. Leur publication est faite dans des espaces dédiés au sein des médias professionnels (revues, sites Internet), et à des moments précis de l'année liés au cycle de reproduction des animaux.

Dans le contexte de l'internationalisation du marché des ressources génétiques, les index agrégés prennent un poids politique dans la compétition entre les standards de sélection, chacun étant mis en avant comme la meilleure combinaison de caractères pour une sélection plus efficace. Ils servent alors d'arguments dans la quête d'influence et d'hégémonie économique dans l'espace marchand globalisé. Deux exemples de tels index nationaux « décomposés » selon le poids

de chaque type de caractères sont présentés ci-dessous (figure 7). Les deux sont propres aux races laitières. L'index français ISU (index de synthèse unique) et l'index américain NM\$ (Net Merit Dollar) ont une composition différente en matière de caractères d'intérêt : production, physiologie et santé, morphologie, pour ne nommer que les principales catégories.

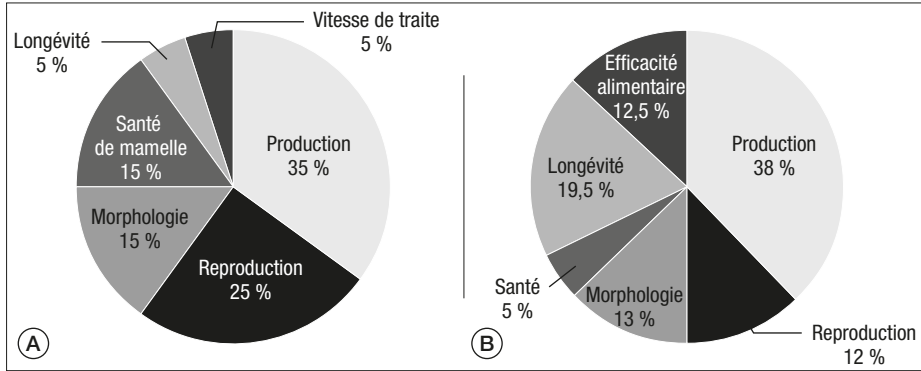


Figure 7. L'importance respective de différents caractères dans les index de synthèse français ISU 2021 (A) et américain NM\$ 2021 (B).

L'index de synthèse n'est pas figé. Il évolue dans le temps avec les priorités économiques, de nouvelles connaissances et des solutions technologiques. Historiquement, de nouvelles valeurs s'intègrent au fur et à mesure dans l'index global en faisant diminuer le poids de la valeur de la production laitière, dominante et même exclusive au début. En effet, un niveau extrêmement haut de la production laitière individuelle des vaches (autour de 10 000 litres/an) est déjà atteint dans beaucoup de pays avec les systèmes développés de la sélection animale. Il est accompagné de solutions technologiques et nutritives. D'autres caractères fonctionnels comme la fertilité ou la longévité ont pris le pas sur les aptitudes de production dans l'espoir d'une meilleure efficacité des élevages. L'efficacité économique de l'index, objectivée par la science de la génétique quantitative, est privilégiée dans les systèmes d'amélioration génétique bovine régis par l'organisation coopérative encadrée par l'État. Cela est de moins en moins le cas dans le contexte de la globalisation où la promotion des différents standards de sélection se développe dans le cadre d'une concurrence dite « libre » entre les acteurs économiques. L'index américain TPI™ (Type Production Index), dont la composition est présentée en figure 8, a connu une expansion mondiale avec la « holsteinisation » à partir des années 1960. Il occupe donc depuis un demi-siècle une place hégémonique sur le marché international de la génétique Holstein. Il a été défini par l'Association Holstein américaine (HAUSA) comme une marque commerciale (d'où l'extension « ™ » pour *trademark* qui accompagne souvent le sigle TPI), et a été utilisé pendant de nombreuses années pour sélectionner les vaches Holstein sur les critères de morphologie et de production. À la différence

de l'index NM\$ (figure 7), mis en place par l'organisation de recherche USDA (United States Department of Agriculture, l'organisme principal de recherche agronomique américain), plus universellement utilisé pour les races laitières et privilégié dorénavant par les éleveurs états-uniens dans leur activité de sélection au niveau national, le TPI™ est surtout promu comme *gold standard* de la vache idéale pour le classement mondial de la génétique Holstein, avec une ambition bien annoncée sur le site de HAUSA : « TPI™ représente la vision de HAUSA quant à la possibilité de nourrir le monde par l'amélioration de la population Holstein nationale et internationale. »²⁰

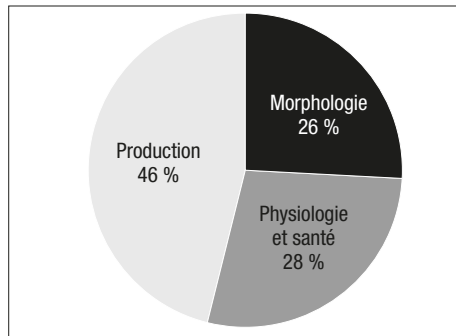


Figure 8. La composition de l'index américain TPI™ (Type Production Index) par type de caractères inclus. D'après www.hausa.com.

Ayant acquis cette place sur le marché mondial, l'index TPI™ devient une « monnaie commune » connue et acceptée par tous et partout. Il reste une référence sur le marché international, en dépit de son efficacité économique contestée même aux États-Unis. Comme son nom l'indique, il privilégie la sélection sur les critères morphologiques (*type* en anglais) et de production laitière. Les premiers garantissent la conformation au standard américain de sélection et de système de production : vache grande, angulaire, au pis haut placé et apparent, adaptée au système de production intensive. Les seconds correspondent aux attentes économiques de nombreux marchés dans le monde qui fixent leurs objectifs d'amélioration génétique sur l'augmentation des productions laitières en priorité. Comme le disent certains généticiens avec qui j'ai eu l'occasion de travailler et de discuter, il est plus orienté vers un standard de concours désuet que vers une réelle efficacité économique qui doit être définie au regard des contextes variés et variables.

Mis en avant par le marketing des vendeurs de semence auprès des éleveurs des pays en développement, le standard TPI™ « pénalise », d'après ces mêmes spécialistes de la génétique, ceux « qui ne savent pas », ceux qui n'ont pas de moyens de créer leur propre échelle d'évaluation et se retrouvent dans une position de dépendance au marché global. Proportionnellement à sa place hégémonique, l'index TPI™ est aussi controversé parmi les spécialistes de la sélection.

Il est contesté non seulement du point de vue scientifique pour sa rationalité désuète, mais aussi du point de vue politico-économique pour sa contribution à l'hégémonie américaine sur le marché mondial de la semence bovine. La revendication portée depuis les années 1970 par les acteurs industriels et scientifiques de nombreux pays, à commencer par ceux d'Europe, que je présente dans la partie suivante, conteste la position monopoliste de cet index qui impose aux éleveurs le standard de sélection TPI™ comme une évidence, et laisse dans l'ombre tous les standards concurrents dont les qualités deviennent invisibles.

La génomique au service de la sélection : construction d'une nouvelle révolution

Les avancées fulgurantes dans les connaissances et les pratiques développées ces dernières années sur le génome des organismes vivants provoquent des acclamations enthousiastes, et engendrent des promesses et des attentes aussi bien dans leurs implications sur la santé humaine (Peerbaye, 2004) que dans la sélection animale et végétale au service de l'agriculture (Schaeffer, 2006). Dans cette section, je présente les fondements techniques et scientifiques qui ont permis d'appliquer la génomique à l'amélioration bovine dite génétique ou classique dont j'ai décrit le fonctionnement dans les pages précédentes. Le lecteur comprendra ainsi le caractère très relatif de cette rupture technologique qui s'adosse sur le socle des pratiques préexistantes et s'inscrit dans leur continuité.

« Nous n'avions pas de projet spécifique en tête, mais l'un d'entre nous, probablement fatigué [rire], a dit : "Et si nous essayions de placer des marqueurs sur tout le génome ?" Et nous avons répondu : "Oui, ça semble être une bonne idée." Trois d'entre nous ont travaillé à simuler des données et à tester l'idée. Et nous avons été surpris de constater que cela fonctionnait très bien. »²¹

Cet extrait d'un entretien avec Michael E. Goddard, l'un des « pères » de la théorie de la sélection génomique, met en avant la sérendipité de cette innovation, mais n'enlève rien à son intentionnalité. Pour reprendre l'expression de Pierre-Benoît Joly (2015, p. 43), « les technologues sont des apprentis sorciers intentionnels ». Les prémisses étaient déjà bien là depuis une dizaine d'années au moment où l'article fondateur a été publié en 2001 suite à cette expérience « improvisée » dans un laboratoire australien (Meuwissen *et al.*, 2001). En 1991, le changement de paradigme scientifique est annoncé dans la revue *Nature* par un des grands spécialistes de la biologie moléculaire, Walter Gilbert, qui travaille sur les techniques de séquençage du génome (Peerbaye, 2004). Il prône dans son article la puissance des techniques développées par la biologie moléculaire, qui offrent une nouvelle façon de connaître le vivant

à son niveau le plus profond connu jusqu'à présent : le niveau moléculaire. Il prédit notamment l'avènement des *big data* dans les sciences biologiques issues justement des techniques de séquençage, et par conséquent d'un environnement de travail radicalement nouveau pour les biologistes et les généticiens : la fin de l'expérimentation *in vivo* en faveur du travail presque exclusif d'analyses informatiques à haut débit.

Encore plus tôt, dans les années 1980, David Botstein, biologiste moléculaire au Massachusetts Institute of Technology, et Ron Davis, biochimiste à Stanford, apportent une large contribution au développement de la génomique : les *marqueurs moléculaires*. Ce sont des points de variation de nucléotides – autrement dit, des mutations – dans les chromosomes qui se répètent chez les individus de la même espèce. On peut donc dire qu'une mutation génétique devient un marqueur si elle est repérable en quantité suffisamment élevée dans une population donnée. Botstein et Davis ont démontré qu'il était possible d'utiliser de tels marqueurs pour border les gènes d'intérêt, et qu'ils étaient notamment très utiles lorsqu'il s'agissait des caractères polygéniques. Ces variations peuvent être différentes et plus ou moins faciles à repérer et à typer dans le génome.

Dans leur application agricole, de telles variations répétées ont servi à la fin des années 1990 et au début des années 2000 pour développer, en particulier en France, ce qu'on appelle la « sélection assistée par marqueurs » (SAM, ou MAS pour *marker assisted selection*). Le principe est de repérer, à l'aide des marqueurs, des régions du génome liées à tel ou tel caractère d'intérêt (QTL pour *quantitative trait locus*) et de focaliser la sélection sur ces régions. Mais c'était un processus extrêmement coûteux pour un résultat très peu précis, car les caractères d'intérêt dans les productions bovines sont déterminés en réalité par de nombreux QTL. Néanmoins, cette idée de repérer ce que les généticiens appellent des « mutations causales » est toujours dans l'air du temps et attend son heure lorsque les avancées technologiques et scientifiques le permettront. En attendant, après avoir préparé le terrain technologique et social pour l'étape suivante, la SAM a fait place à la sélection dite « génomique ». Ses bases sont posées lorsque Meuwissen, Hayes et Goddard décident d'expérimenter le marquage de tout le génome sans s'attacher à des zones significatives en particulier (QTL). Ils utilisent alors les marqueurs SNP (*single nucleotide polymorphisms*), qui viennent d'être mis au point dans la génétique moléculaire et se rattachent à une variation génétique particulière lorsque, sur une seule base allélique repérable dans la comparaison de plusieurs individus de la même espèce, une paire de nucléotides (CG) est remplacée par une autre paire (TA). En 2001, ce marquage n'était pas encore disponible commercialement. Il a donc fallu attendre cinq à six ans pour que les moyens techniques deviennent suffisamment puissants et relativement peu coûteux pour lancer la première

puce génomique contenant des milliers de marqueurs SNP. La puce génomique est une des formes de « biopuces » : supports inertes miniaturisés (à l’instar des puces électroniques) sur lesquels de nombreuses informations biologiques contenues dans des molécules bioactives (ici les fragments d’ADN) sont placées. Ces informations peuvent avoir une densité plus ou moins importante. On parle alors de puces à basse (3 000 SNP ou 3 K), moyenne (54 000 SNP ou 54 K) et haute densité (600 000 à 800 000 SNP, principalement à des fins de recherche). Les puces génomiques utilisées dans la sélection bovine permettent ainsi d’explorer le génome des reproducteurs potentiels à l’aide de la technique du *génotypage*. Les marqueurs SNP sont donc mis en relation statistique avec les caractères phénotypiques mesurés, ce qui permet d’évaluer la probabilité de transmission de tel ou tel caractère à la descendance et de choisir les meilleurs reproducteurs.

Cette idée a progressé plus ou moins simultanément dans plusieurs pays : aux États-Unis et au Canada (les deux pays travaillaient ensemble), en France, aux Pays-Bas et en Nouvelle-Zélande – les pays où la structure de l’élevage en bovin laitier était suffisamment « moderne ». La filière de bovins laitiers, avec ses pratiques généralisées d’insémination artificielle, de contrôle de performances et de recueil centralisé de données, était en effet la mieux placée pour accueillir le nouveau paradigme technologique de la sélection. Parmi les bovins laitiers, c’est la race Holstein, la plus industrialisée, la plus importante en nombre d’animaux, la plus profitable et donc la plus intéressante pour l’investissement, qui est devenue la race modèle pour recevoir les premières évaluations génomiques.

Sur le plan international, les États-Unis ont pris le leadership dans cette initiative génomique. En 2008, l’USDA a commandé à l’entreprise américaine Illumina®, spécialisée dans l’équipement biotechnologique, une puce contenant l’information de 54 000 SNP. L’USDA a obtenu ces marqueurs en génotypant des races laitières, allaitantes, ainsi que des zébus dont les échantillons biologiques étaient gardés dans sa banque d’ADN (DNA Repository). Cette puce prétendait ainsi à un certain universalisme dans le monde des gros ruminants, et les marqueurs qui y étaient placés relevaient du domaine public. La mission d’Illumina® était de commercialiser cette puce 54 K le plus largement possible dans le monde. Témoin et protagoniste de cette innovation, André Eggen, alors généticien à l’Inra, raconte :

« Au niveau mondial, cette puce de 54 000 SNP a été aussi le déblocage, le démarrage de tous les projets de sélection génomique en bovins laitiers. Et cette puce est devenue le standard vraiment pour tous les projets de recherche, entre autres. Ça a été un phénomène assez incroyable. Tout le monde voulait construire sa population de référence, tout le monde voulait génotyper avec ça. »

La France, représentée par l'Inra et l'Unceia (Union nationale des coopératives d'élevage et d'insémination animale), a rejoint ce projet assez tôt en abandonnant la fabrication de sa propre puce nationale de 30 000 marqueurs et en intégrant quelques-unes des informations manquantes dans la puce américaine. Le pays a ainsi eu le bénéfice de se lancer dans la sélection génomique avant les autres pays européens. D'autres pays dont les systèmes de sélection étaient prêts à passer à l'étape suivante (l'Allemagne, le Danemark, l'Espagne, l'Italie, la Suède, la Finlande, l'Australie) ont aussi acheté la puce Illumina®. Les Pays-Bas et la Nouvelle-Zélande, qui avaient déjà lancé leurs propres puces génomiques privées en gardant leurs projets secrets, ont dû rejoindre trois ans plus tard toute la communauté internationale des pays « génomiques » réunie autour de la puce américaine. Avec leur support technologique à vocation universelle et libre de droits, les États-Unis ont pu affirmer une fois de plus leur statut de pays hégémonique sur le marché de la génétique animale. En revanche, les pays qui se la procurent doivent savoir que la puce génomique en soi ne leur fournit pas automatiquement toute la technologie de la sélection génomique. Les informations issues du génotypage doivent être corrélées aux informations phénotypiques des animaux issues du contrôle de performances. Une *population de référence* constituée au niveau national est ainsi nécessaire pour procéder à l'évaluation génomique et aux choix des meilleurs reproducteurs. Ce sont des « détails » que beaucoup d'acteurs des pays nouveaux sur le terrain génomique ignorent ou oublient de considérer dans leurs projets, en se focalisant sur la promesse alléguée par les promoteurs de la technologie.

Des promesses technoscientifiques pour la sélection génomique

La conclusion de l'article fondateur de la sélection génomique (Meuwissen *et al.*, 2001, p. 1828) présente les avantages potentiels de cette nouvelle méthode de sélection :

« En utilisant une carte de marqueurs à haute densité couvrant tous les chromosomes, il est possible *d'estimer avec précision la valeur génétique d'animaux qui n'ont aucun enregistrement phénotypique propre et aucune descendance*. [...] La sélection sur les valeurs génétiques prédites à partir des marqueurs pourrait *accélérer considérablement le progrès génétique* chez les animaux et les plantes. » (souligné par l'auteure)²²

Les auteurs conditionnent aussi ces avantages par un prérequis indispensable :

« Cela nécessite l'estimation d'un *grand nombre* d'effets des haplotypes des marqueurs. » (souligné par l'auteure)²³

Mais ce prérequis dépendait lui-même du développement des technologies de génotypage et du traitement de données à haut débit. Sans ce développement technologique, les promesses exposées dans cet article n'étaient pas prises au sérieux, comme l'analyse Michael E. Goddard :

« Ensuite, personne n'a prêté attention à cet article jusqu'en 2006, lorsqu'on a commencé à fabriquer des puces SNP et que tout cela est soudain devenu possible à mettre en œuvre. »²⁴

En 2006, ces promesses ont été réitérées avec davantage de précision dans quelques publications et communications scientifiques. Larry Schaeffer, un généticien canadien de l'université de Guelph alors sur le front des recherches en la matière, a publié un article dans lequel il donnait entre autres une estimation chiffrée des gains possibles avec la sélection génomique en se basant sur une simulation de données canadiennes :

« Les coûts de testage des taureaux ont été réduits de 92 % et le progrès génétique a été multiplié par 2. La sélection à l'échelle du génome pourrait devenir un outil populaire pour la génétique. » (Schaeffer, 2006, p. 218)²⁵

La même année, au congrès mondial de la génétique animale WCGALP, Ben Hayes, l'un des auteurs de l'article fondateur, fait une communication dont Didier Boichard, un généticien français, parle avec enthousiasme :

« Ben Hayes présentait les premiers résultats de la sélection génomique qui étaient assez faux à l'époque (maintenant on voit tous les défauts), mais il n'empêche qu'il démontrait clairement qu'on pouvait obtenir avec les outils génomiques des prédictions des valeurs des taureaux avec une précision suffisante pour ne plus avoir besoin de tester. Alors là, pour moi c'était vraiment un choc ! Et pour moi il y a eu un "avant 2006" et un "après 2006". Avant c'est la sélection assistée par marqueurs pour améliorer la présélection avant testage. Et après 2006 : il faut vraiment se donner les moyens d'obtenir une précision élevée de sorte qu'on n'ait plus besoin de testage. À ce moment, au lieu d'avoir un taureau évalué à 5 ans, on a un taureau évalué à 3 mois. »

Toute cette rhétorique est caractéristique de ce que Pierre-Benoît Joly appelle « le régime des promesses technoscientifiques », devenu, depuis « une quarantaine d'années, le mode de gouvernance des nouvelles technosciences (les biotechnologies et la génomique, les nanotechnologies, les neurosciences, la biologie synthétique, la géo-ingénierie, etc.) » (Joly, 2015, p. 36). « Toute promesse technoscientifique, poursuit l'auteur, doit convaincre un large public qu'elle conditionne un avenir meilleur que les solutions alternatives, même si la réalisation de la promesse requiert des transformations majeures, parfois

douloureuses. [...] La rhétorique des promesses technoscientifiques impose une solution technique comme point de passage obligé pour résoudre des problèmes essentiels. [...] Une rhétorique de la nouveauté [...] requiert également de disqualifier les approches traditionnelles. » (p. 35 et 42)

À quel public s'adresse alors la sélection génomique comme innovation avec ses promesses d'un « avenir meilleur » ? Avant tout, aux acteurs qui ont fait du progrès génétique leur métier de service et qui le commercialisent sur le marché national et international auprès des éleveurs de troupeaux laitiers. Les éleveurs, en tant qu'utilisateurs finaux, sont restés à l'écart des discussions liées à la mise en œuvre de la génomique, qui ne devait pas apporter de grands changements dans leurs pratiques quotidiennes.

C'est avec l'industrie de l'insémination artificielle que les promesses formulées par les généticiens ont été coconstruites : réduction des coûts et augmentation de l'efficacité ont toujours été au cœur des exigences des acteurs économiques, soutenus historiquement par les États dans leurs projets d'amélioration des productions. Ce sont eux qui ont contribué financièrement à la mise en place de la sélection génomique, après avoir calculé le rapport coûts-bénéfices des perspectives qui s'ouvraient à eux. Dans sa publication de 2006, Larry Schaeffer s'adresse d'ailleurs directement et explicitement aux industriels de l'insémination artificielle et à leur sensibilité pour la compétition économique :

« L'entreprise qui adoptera cette stratégie le plus tôt aura une longueur d'avance sur les autres. » (Schaeffer, 2006, p. 219)²⁶

Dans le même article, en quelques lignes de conclusion (p. 222-223), l'auteur présente les avantages de l'évaluation génomique en s'inscrivant pleinement dans la rhétorique du régime des promesses technoscientifiques. Il pronostique un gain possible de 23 millions de dollars par an pour l'industrie d'insémination artificielle canadienne. Il « disqualifie », selon l'expression de Pierre-Benoît Joly, non seulement l'approche traditionnelle de la sélection par le testage des taureaux sur descendance, mais aussi toutes les solutions alternatives comme le transfert d'embryons ou la sélection assistée par marqueurs, met en garde les industriels sur une période de changement un peu dure techniquement et certainement coûteuse, tout en les rassurant sur la baisse des coûts d'investissement technologique dans les années à venir. Il les rassure surtout sur le fait qu'ils n'auront plus à supporter les coûts de contrôle des performances qui, tout en restant nécessaires, seront dorénavant à la charge des éleveurs qui l'utiliseront surtout dans l'objectif de management de leurs troupeaux. Cet article de 2006 a eu un impact relativement important pour un public international très restreint et spécialisé : 384 citations selon Web of Science et un peu plus de 800 selon Google Scholar, répertoriées surtout à partir de 2008-2009,

période de mise en œuvre de la sélection génomique dans plusieurs pays. Les promesses ont été convaincantes.

En 2008, en France, Didier Boichard participe activement à la promotion de la sélection génomique auprès des professionnels, représentés à ce moment-là par l'Unceia. Il obtient sans grandes difficultés le soutien du président de cette organisation interprofessionnelle qui accorde le financement du génotypage de 5 000 échantillons pour constituer la population de référence en bovins laitiers. Un an plus tard, Didier Boichard présente les résultats. Il se souvient :

« Et à un moment donné sur une de mes diapos il y avait une question : est-ce qu'il faut continuer à tester ? Et une réponse en gros caractères : NON ! Et ça a provoqué un gros choc dans la salle avec 200-300 personnes, il y avait un tel brouhaha. Les gens sont partis complètement sonnés de cette réunion. Ils ont réfléchi et six mois après il n'y avait plus de testage en France. »

In fine, le schéma circulaire de sélection génétique avec le testage sur descendance a été raccourci avec l'arrivée de l'évaluation génomique des taureaux reproducteurs (figure 9). Au lieu d'attendre six ans pour la mise en service du taureau en insémination artificielle, la technique du génotypage permet de calculer sa valeur génomique dès l'année de sa naissance. L'utilisation de jeunes taureaux dans l'insémination est rapidement promue comme étant plus efficace.

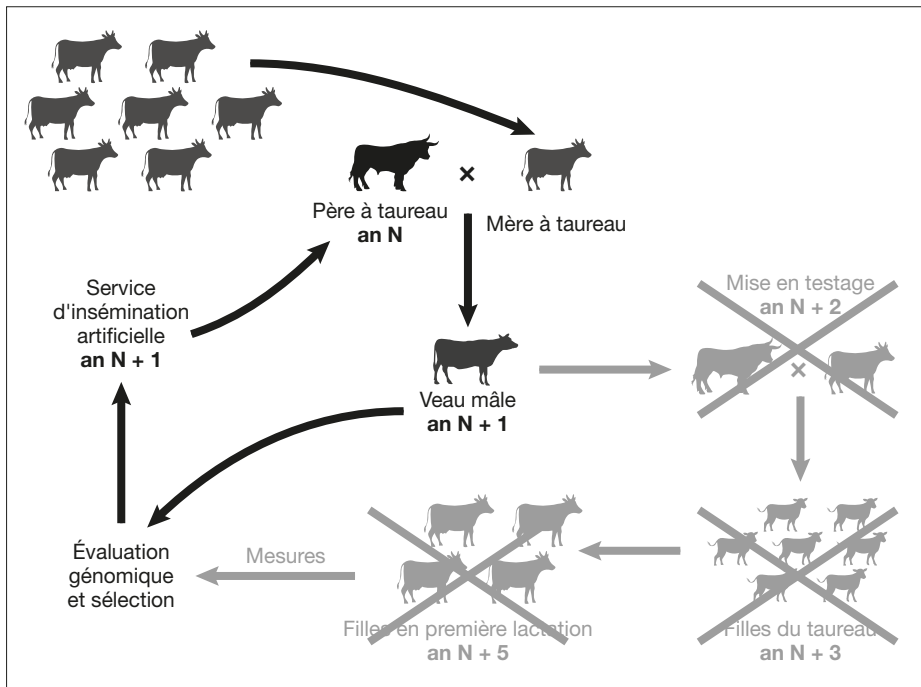


Figure 9. Schéma type de la sélection bovine à l'arrivée de l'évaluation génomique. D'après Vincent Ducrocq.

Progressivement, les promesses de la sélection génomique s'élargissent au-delà des transformations technoscientifiques du schéma de sélection. La génomique est vue comme solution à la domination historique du *star system* dans la sélection, car il devient possible « d'évaluer un nombre bien plus élevé de candidats que dans les séries classiques de testage, du fait d'un coût individuel d'évaluation bien plus réduit. Ce qui était rare auparavant (taureaux exceptionnels) devient alors bien plus fréquent et il est possible de sortir d'une culture de pénurie, qui perd dès lors sa justification automatique. On peut en sortir, et on le doit, impérativement et rapidement » (Colleau *et al.*, 2017, p. 256).

La génomique ouvre également les portes à l'évaluation de nouveaux caractères qui n'étaient pas pris en compte auparavant avec la sélection génétique, car plus compliqués à mesurer à grande échelle et jusqu'à présent moins intéressants économiquement. Il peut s'agir aussi bien des caractères liés à la santé qu'à la mitigation des effets du changement climatique par une diminution des émissions du méthane par les vaches. Le rattachement aux objectifs globaux du développement durable (Brochard *et al.*, 2013) justifie d'autant plus l'utilisation de la génomique et des moyens supplémentaires dédiés à son développement dans le domaine de la sélection animale.

Jeux et enjeux des données : de la crédibilité empirique à la crédibilité numérique

Pour que la sélection génomique soit opérationnelle, il ne suffit pas d'avoir un dispositif technologique *ad hoc* ni de légitimer la promesse auprès des financeurs et des diffuseurs. Il est aussi nécessaire, comme le rappelle Pierre-Benoît Joly (2015), de construire la crédibilité de la promesse qu'elle incarne en dehors du noyau professionnel de spécialistes. Il soutient notamment que « la construction d'une promesse technoscientifique répond à deux contraintes contradictoires : la contrainte de nouveauté radicale et celle de crédibilité » (p. 36). En effet, comment parler d'une rupture scientifique, technologique et organisationnelle de la sélection génomique sans maintenir la crédibilité des évaluations construites sur le système ancien ?

Les méthodes statistiques de prédiction utilisent, comme je l'ai déjà dit, la perspective fréquentiste, loi des grands nombres à l'appui. Dans le paradigme génétique de la sélection bovine, cette prédiction est fondée sur le testage des taureaux reproducteurs sur leur descendance, c'est-à-dire sur l'épreuve de la mesure. Avant que la valeur génétique du taureau ne soit confirmée, l'information sur des centaines de vaches productrices descendantes de ce taureau doit être recueillie et analysée. Le paradigme génomique faisant promesse aux

entreprises de sélection de pouvoir se passer du testage doit trouver d'autres moyens que l'empirisme de la mesure à répétition pour rendre l'estimation des valeurs crédible auprès de leurs utilisateurs finaux – les éleveurs. Dans l'évaluation par testage, le CD, l'indice de fiabilité de la prédiction, est calculé en fonction du nombre de données en provenance de filles du taureau. Avec la sélection génomique, c'est la population de référence constituée en amont des évaluations de routine qui remplace cette répétition de mesures pour chaque animal. Dans sa configuration usuelle, elle est composée d'animaux mâles phénotypés et génotypés, c'est-à-dire ayant été testés sur leur descendance (mais non sélectionnés) et dont l'ADN a déjà été marqué par les SNP mis sur la puce génomique²⁷. Les corrélations entre les marqueurs génétiques et les performances des vaches étant estimées statistiquement, la population de référence propre à chaque race fournit alors une moyenne qui permet ensuite d'évaluer en routine les animaux candidats à la sélection. Leur valeur est donc calculée sans recourir au testage, ce qui permet d'évaluer les taureaux reproducteurs très jeunes et de les utiliser très tôt dans l'insémination artificielle.

Pour que l'évaluation soit considérée comme fiable, c'est-à-dire pour que le CD des index génomiques soit au moins égal à celui des index génétiques issus de l'évaluation par testage (pour que sa valeur numérique ne descende pas en dessous de 0,7), il faut un nombre considérable de données en provenance d'une population de référence de plusieurs milliers de taureaux. Cette mission est chose impossible pour un seul élevage ni d'ailleurs pour un seul pays. C'est une affaire collective à grande échelle. Même si les industries de semence des pays présents sur le marché international de la génétique bovine se concurrencent, leurs acteurs ont compris l'intérêt de la « coopération », ou de la coopération en situation de concurrence.

Déjà en 2008, les producteurs américains de semence Holstein s'associent avec leurs confrères et concurrents du Canada en mettant en commun leurs données, formant ainsi la population de référence de 16 000 animaux phénotypés et génotypés. En 2009, les pays européens, à l'initiative des généticiens et de la profession spécialisée en insémination artificielle, forment également un consortium, EuroGenomics, afin de concurrencer le groupement nord-américain sur la précision des évaluations génomiques. Deux consortiums génomiques sont ainsi formés, et leur antagonisme marque toujours le paysage mondial de la sélection Holstein, comme nous le verrons plus loin. Rapidement, la compétition entre eux ainsi que les avancées technologiques et organisationnelles liées à l'utilisation de la génomique ont fait doubler les populations de référence concurrentes. Arrivés à environ 35 000 taureaux chacun, les deux consortiums poursuivaient leur course acharnée à la précision des évaluations. Les scientifiques ont alors décidé d'augmenter le nombre de marqueurs. Le généticien André Eggen témoigne ci-après.

« On a commencé à se dire “Ok, on travaille avec une puce de 54 000 SNP, on arrive à avoir des précisions de la valeur au niveau d'élevage qui est quand même impressionnante, bien meilleure que la moyenne des parents, donc on fait un grand pas en avant. Et donc si avec 54 000 marqueurs on arrive à ça, est-ce que avec 800 000 marqueurs on ne va pas gagner encore 10 % en précision sur la valeur d'élevage qu'on va pouvoir calculer ?” Et les gens se sont mis à vouloir ça. Je me souviens, j'étais déjà à Illumina à l'époque, les gens nous ont dit : “Mais oui, il faut faire une puce avec 800 000 SNP, ça va bien améliorer les choses”. »

Mais en 2009, des études réalisées par le généticien américain Paul VanRaden et ses collègues démontrent que la limite de la précision est atteinte : en augmentant la fréquence des marqueurs, on obtient une amélioration de la précision d'à peine 1 %, alors qu'on comptait sur 10 % minimum.

Les données, dont on oublie souvent qu'elles ne sont pas vraiment « données » mais bien socialement construites et que leur utilisation est aussi le résultat des conventions sociotechniques, représentent toujours un enjeu important lorsqu'il s'agit des « politiques des grands nombres » (Desrosières, 2010). La sélection bovine n'y fait pas exception. Avec la génomique, malgré des limites qui ont été démontrées, la question des données y est devenue la pierre angulaire et en même temps la pierre d'achoppement. Les données apparaissent notamment comme un des facteurs majeurs de la redistribution des cartes entre les acteurs. Le modèle de gestion collective des ressources génétiques comme biens est jusqu'alors dominant dans l'élevage bovin (voir chapitre 1). La double nature des ressources – biologique et informationnelle – ne posait pas de problèmes majeurs tant que tout était géré, ou du moins coordonné au sein des organisations coopératives de la sélection.

Avec l'arrivée de la génomique, les entreprises de sélection ont massivement investi dans le génotypage des animaux et sont ainsi devenues propriétaires des informations stratégiques. La partie « biologique » de la ressource étant toujours considérée comme non appropriable, sa partie informationnelle le devient (Labatut, 2009 ; Allaire *et al.*, 2018). Cela rend bien compliquée la gestion collective des ressources génétiques scindées en deux dans leur ontologie propre et ayant deux statuts différents. Ce changement a ouvert la porte du marché de la sélection bovine aux structures totalement privées comme Sexing Technologies, qui détient le monopole de la semence sexée, ou Zoetis, la filiale du géant multinational du médicament Pfizer. Constituant leurs propres bases de données génomiques, ces compagnies privées mettent en péril l'organisation traditionnellement coopérative de la sélection bovine et les fondements de la crédibilité garantie par la science publique. De plus, l'internalisation progressive des infrastructures de calcul par les détenteurs des données génomiques les prépare à la production autonome des index et à la commercialisation des ressources évaluées uniquement sur la base de données génomiques. La valeur

du produit est ainsi concentrée dans sa partie informationnelle, de plus en plus déconnectée de la partie biologique de l'animal vivant. Les généticiens donnent l'alarme devant cette vision partielle et abstraite de l'animal et essaient de communiquer autant qu'ils le peuvent sur l'importance primordiale des mesures phénotypiques non seulement pour la fiabilité de la valeur des ressources commercialisées, mais aussi et surtout pour la durabilité de l'activité de sélection. « Dans la sélection génomique, le phénotype est roi », entend-on souvent dans les communications scientifiques lors des congrès ou des *workshops*. Mais, étant donné que la logique du marché privilégie la simplification et le court terme, les voix des généticiens semblent peu entendues. Cette affirmation basée sur l'observation participante sera réitérée dans la deuxième partie de ce livre, où j'aurai l'occasion de présenter la tension renforcée entre les scientifiques et les industriels dans le cadre du consortium génomique européen.

Malgré ces points relevés, la « révolution » génomique dans le domaine de l'amélioration bovine reste une évidence pour la très grande majorité des acteurs et, de fait, très peu de regards critiques et de prises de distance émergent par rapport à cette innovation.

« Une drôle de révolution » : rupture ou fuite en avant technologique ?

Dans les années 2010, au moment de la mise en place par quelques pays pionniers de la sélection génomique, le mot « révolution » était partout dans les discours et les publications des acteurs scientifiques et professionnels. Les pays qui, pour des raisons diverses qu'on évoquera plus loin, n'ont pas pu en bénéficier ne cessaient d'en rêver. L'enthousiasme ambiant au sujet de la rupture apportée par la génomique dans le monde de la sélection bovine était général. En 2018 (juste dix ans après que la sélection génomique est devenue opérationnelle), Jean-Michel Elsen, généticien de l'Inra à la retraite qui a participé très activement à la mise en œuvre de la sélection génomique en France, publiait un petit article dans lequel il posait justement et explicitement la question de la finalité des méthodes génomiques de sélection : « La sélection génomique : l'étape finale ou une autre étape dans une course sans fin ? »²⁸ (Elsen, 2018). Sans remettre en cause le caractère transformatif de la sélection génomique, il s'interrogeait sur la fuite en avant technologique dans l'approche de la complexité du vivant. Je n'ai jusqu'à présent vu aucun autre acteur, que ce soit dans les arènes privées ou publiques, exprimer des doutes sur les changements positivement révolutionnaires que la génomique a apportés dans le domaine de la sélection. Le papier de Jean-Michel Elsen n'a d'ailleurs pas eu grand retentissement au sein de la communauté, mais il a confirmé ce que j'ai entendu et

lu entre les lignes au cours des trois années de mon travail de terrain. En constatant les divers « échecs » ou promesses non tenues, les promoteurs de la génomique (génétiiciens et industriels) n'exprimaient pas vraiment de déception, mais identifiaient de nouveaux défis à relever. Ils répondaient ainsi parfaitement à la proposition de Pierre-Benoît Joly (2015) selon laquelle « un régime de promesses technoscientifiques prend en compte le décalage systématique entre les anticipations et les réalisations, intègre les inévitables déceptions que provoque un tel décalage » (p. 37).

Une des promesses majeures faite dès 2001 (Meuwissen *et al.*, 2001), et réitérée jusqu'à sa réalisation pratique en 2009, était l'arrêt du testage sur descendance : moins de mesures, la fin des contrôles de performances pour les entreprises de sélection et des évaluations génétiques pour les centres de calcul. En 2011, la thèse de Clotilde Patry mettait en garde contre une telle démarche dans la perspective des échanges sur le marché globalisé de la sélection. Pour elle, les évaluations génomiques sans testage sur descendance allaient créer à terme des biais considérables impactant négativement la qualité de l'évaluation au niveau international. Le testage devait donc être maintenu et le traitement des informations génétiques et génomiques devait être réuni pour conserver la fiabilité voulue des estimations des valeurs.

Mais il est difficilement envisageable pour les acteurs de la sélection de revenir au testage sur descendance, procédure longue et coûteuse. Les généticiens se mettent donc à la recherche de nouvelles solutions techniques et développent l'évaluation SingleStep, autrement dit « deux-en-un », qui combine les évaluations génétiques et génomiques pour corriger le biais de présélection engendré par les seules évaluations génomiques.

Une autre promesse non réalisée concerne le contrôle de la consanguinité. Malgré la fin annoncée du *star system* et de l'hégémonie des gènes de quelques taureaux champions, la sélection génomique n'a fait qu'accentuer la « crise de consanguinité » (Van Der Beek et Geertsema, 2017 ; VanRaden, 2017). Le rapprochement des générations accélère la réduction de la variabilité génétique et nécessite de ce fait une gestion bien plus rigoureuse des schémas de sélection. Or cet effort n'a pas été consenti par les industriels, pris dans l'étau de la compétition économique à une échelle de plus en plus globale.

Une promesse en revanche a été amplement tenue par le nouveau paradigme génomique : le raccourcissement de l'intervalle de génération. Les acteurs de l'industrie de l'amélioration bovine ont toujours cherché des solutions pour diminuer le temps entre les naissances. Cette période, très longue chez les grands mammifères tels que les bovins, a été considérablement raccourcie la première fois avec l'insémination artificielle, considérée de ce fait comme la première grande révolution technologique dans le domaine de l'élevage. La génomique est donc devenue la seconde en la matière. Au point que certains

spécialistes, comme nous pouvons l'entendre lors des événements scientifiques et professionnels, se félicitent du rapprochement des stratégies d'amélioration animale et végétale. Ce rapprochement se traduit notamment par des transformations organisationnelles du paysage de la sélection bovine (Labatut *et al.*, 2014). Parmi ces changements majeurs, la tendance à une concentration de la production des ressources génétiques entre les mains de quelques grandes entreprises. Il reste à savoir si ce rapprochement est vraiment une bonne chose, sachant que le modèle de la sélection végétale, exemple parfait de la commodification extrême du vivant et de sa commercialisation à grande échelle par quelques multinationales, est massivement critiqué quant à ses impacts sociaux et environnementaux (Bonneuil et Thomas, 2009). D'ailleurs, d'autres acteurs de la sélection bovine restent très critiques face à la perspective de rejoindre le modèle de la sélection végétale. Comme me l'a confié un des représentants de l'industrie française, « l'idée est de faire en sorte de ne pas tomber dans un modèle du végétal où les agriculteurs n'ont aucune maîtrise de la génétique, que ce soit au niveau qualitatif ou au niveau du coût ». Pour autant, le fait que le raccourcissement de l'intervalle de génération et le business modèle de la sélection végétale sont les deux faces de la même médaille est le plus souvent ignoré par les acteurs industriels, qui adhèrent totalement au premier et désapprouvent le second.

Jean-Michel Elsen (2018) exprime d'ailleurs dans son article interrogatif une crainte tout à fait légitime :

« Il semble probable que l'utilisation des omiques dans le cadre de la production alimentaire humaine susciterait la même désapprobation sociétale que les OGM et les pesticides. » (p. 96)²⁹

En effet, des techniques de plus en plus rapides et précises d'obtention et d'analyse d'une grande quantité d'informations sur le génome accélèrent de manière substantielle l'évolution du vivant dictée par les besoins humains, en la rapprochant de ce que produisent les techniques d'ingénierie génétique. À ce titre, l'auteur appelle à une collaboration plus étroite avec les sciences sociales pour garder ouverte la fenêtre d'opportunités de la sélection génomique et « regagner la confiance des consommateurs » (Elsen, 2018, p. 96).

La façon de faire de la science a également été complètement transformée en très peu de temps, comme l'avait prédit Walter Gilbert en 1991. La virtualisation et la globalisation allant de pair, il est devenu difficile de cantonner les généticiens au travail d'amélioration génétique au niveau national. André Eggen confirme :

« Le métier de chercheur dans les derniers dix-quinze ans a complètement changé. On est complètement sorti de la paillasse. Maintenant, c'est sur ordinateur et puis on clique

sur un bouton pour qu'un échantillon soit séquencé quelque part dans le monde. C'est une drôle de révolution quand même ! »

Bien que la mondialisation de la génomique comme science ouvre de nouveaux champs du possible à la connaissance du vivant, un renforcement des inégalités est observé dans son application. Sur le plan international, le fossé se creuse entre, d'un côté, les quelques pays qui possèdent des moyens scientifiques, techniques et financiers pour assurer « l'efficacité » de leur sélection et, de l'autre, ceux qui, n'ayant pas ces moyens, se retrouvent en situation de dépendance économique des importations de la génétique bovine en provenance des premiers. Un des problèmes majeurs posé par cette circulation non équitable des ressources génétiques est celui de l'ancrage de la valeur des animaux dans différents milieux de production. L'histoire de l'industrialisation agricole est traversée par la volonté de s'affranchir des liens entre les organismes vivants engagés dans la production et leur milieu. La notion de milieu (ou d'environnement) est donc cruciale à traiter dans le contexte de la globalisation industrielle des organismes biologiques. Je montre dans la suite de mon récit que cette notion est bien problématique pour les acteurs de la sélection bovine et qu'elle crée des controverses dans lesquelles se manifeste la présence intrinsèque de la dimension biologique des animaux.

Chapitre 3

Le milieu. Vers l'écosystème comme système économique

Les tentatives de définir le *milieu* remontent à des figures éminentes des sciences de la nature et de la philosophie comme Newton, Descartes, Buffon, Lamarck, Auguste Comte. Plus proche de notre temps, le biologiste allemand Jakob von Uexküll distingue en 1956 la notion de milieu de celle d'environnement par l'implication des liens que les organismes vivants établissent avec certains éléments de leur environnement, se créant ainsi leur propre milieu de vie et d'interactions. Au quotidien, nous ne faisons pas une telle distinction conceptuelle entre les deux termes : nous les employons en tant que synonymes, tout comme les acteurs auprès desquels j'ai mené l'enquête. Néanmoins, je voudrais attirer l'attention du lecteur sur l'existence de ces liens, malgré toutes nos tentatives pour les ignorer. Ce chapitre analyse des signaux plus ou moins forts que la vache nous envoie lorsque, dans l'histoire de l'élevage, avec les processus de capitalisation et de technicisation, ces liens disparaissent de notre champ de vue.

L'unité animal-milieu

Tout être vivant, d'après les biologistes et les écologues, fait partie de et interagit avec l'écosystème de son habitat. Dans la nature sauvage, l'adaptation de l'organisme à un nouvel environnement se fait par la sélection naturelle et mène à des modifications progressives des deux.

L'auroch (*Bos primigenius*), l'ancêtre sauvage des bovins actuels, est originaire de la partie sud du continent eurasiatique. Sa répartition progressive a formé deux principales populations interfécondes mais assez distinctes morphologiquement : *Bos taurus*, qui a investi les zones nord-ouest du continent, et *Bos indicus*, qui s'est propagé dans les régions du Sud asiatique, notamment en Inde. Ce dernier, également appelé « zébu » (« bosse » en tibétain), possède deux signes morphologiques particuliers (figure 10) : la peau ample, voire lâche

sur le dessous du cou, et une bosse au-dessus qui lui permettent un meilleur échange énergétique dans les zones chaudes du monde où il continue à évoluer et à participer à des activités humaines. La bosse contient également une réserve de graisse, rendant le zébu plus résistant à un déficit d'alimentation comparé à des bovins du type *Bos taurus* qui ont évolué dans un contexte de régions moins chaudes (figure 11).



Figure 10. Zébus africains au Bénin.



Figure 11. Vache de la race écossaise Highlands en Écosse.

Cette évolution divergente en deux populations, d'après la thèse de Charles Darwin (1809-1882), se déroule pendant la période du Néolithique parallèlement à « l'association symbiotique lente entre l'homme et les animaux » (Vissac, 2002, p. 64). La mise en captivité, l'utilisation franche de ces animaux par l'homme à différentes fins (religion, transport, habit, alimentation, etc.) qui mènent à la capitalisation arrivent plus tard, mais sont toujours déterminées par le lieu de vie.

Bertrand Vissac (1931-2004), zootechnicien français ayant beaucoup travaillé sur la théorisation interdisciplinaire des enjeux de l'élevage bovin, pointe souvent dans ses travaux l'ancrage territorial fort des populations bovines, dont « la sélection était intégrée aux pratiques agraires des sociétés locales » jusqu'au début du XIX^e siècle. « Les populations animales, affirme-t-il en 1993, peuvent être considérées comme un reflet ou un indicateur bioculturel des relations entre une société et son territoire. »

Barbara Orland (2003), historienne des sciences, réitère cet argument en insistant sur ce lien entre l'animal, l'environnement et l'éleveur comme déterminant pour le développement de l'élevage moderne. Elle réfute ainsi l'idée que l'apparition de la vache hautement productive soit un résultat dû uniquement à la diffusion des connaissances scientifiques auprès des éleveurs. « Du point de vue du professionnel de l'élevage, dit-elle, la transformation qui a conduit au système agricole moderne ne peut pas être due seulement à l'application de connaissances bien formulées »³⁰ (Orland, 2003, p. 168). Pour elle, « au début du XX^e siècle, toutes les catégories qui définissent les vaches d'aujourd'hui sont déjà établies »³¹ (p. 169). Il s'agit notamment de l'unité entre le sol, les cultures fourragères, l'animal et l'éleveur. « “Localité” et “identité” étaient alignées pour les humains et les animaux. L'élevage laitier représentait le savoir et les pratiques situés. [...] L'animal et ses produits étaient symboles du paysage donné. »³² (p. 170)

La diversité des populations bovines, dites « prédarwininiennes », étroitement liées aux conditions agroclimatiques, aux territoires, au savoir-faire local, illustre le maillage très fin des milieux intégrant les animaux. Avec l'essor du darwinisme et de son application à l'élevage par une élite de paysans anglais (Robert Bakewell et les frères Collins pour nommer les plus connus) à la fin du XVIII^e siècle, l'esprit de rationalisation des productions animales arrive progressivement à éluder l'unité animal-milieu, ou plutôt à la maîtriser par des outils de nature technoscientifique. D'après l'historienne Emily Pawley (2016, p. 44), Bakewell, en tant que créateur et promoteur principal de la méthode et de la pratique de la sélection rationnelle, actif entre 1740 et 1790, « a fait la promesse que ses animaux [de la race Durham Shorthorn] peuvent être reproduits partout quel que soit l'endroit ».

La vache « hors sol »

À partir du xx^e siècle, le développement de l'agriculture et de l'élevage industriels, régi par la standardisation, la mesure et la prédiction, le remplacement des pratiques locales par le réseau d'informations impersonnelles, « des liens locaux entre le paysage, l'animal et les hommes par les institutions et leurs mécanismes de contrôle »³³ (Orland, 2003, p. 169) – tout cela (non exhaustivement) a conduit à l'industrialisation de la vache et de son milieu. L'animal-machine devient un vrai rêve industriel. Pour l'Exposition universelle de 1934 à Chicago, un robot-vache a été conçu traduisant ce rêve en projet concret. C'était une copie de la vache Holstein américaine, telle une *milk-machine* exemplaire de l'industrialisation extrême du vivant.

L'animal mis hors sol devient partie intégrante des systèmes industriels de l'élevage. La technologie a remplacé le milieu naturel par le milieu industriel afin de maîtriser la production laitière des vaches en la maintenant au niveau le plus élevé possible et en optimisant les circuits économiques. C'est ainsi que la première ferme laitière a été créée sur l'eau aux Pays-Bas, dans le port de Rotterdam, en 2018. Minke van Wingerden, un des associés de ce projet, le justifie ainsi auprès du site professionnel Dairy Herd : « Soixante pour cent de la surface de la Terre sont couverts d'eau alors que la population mondiale augmente et les terres agricoles sont limitées. Nous devons donc chercher d'autres moyens de produire de la nourriture fraîche à proximité des consommateurs et réduire le transport. »³⁴

La volonté d'optimisation des performances industrielles réduit la vision du milieu aux modes d'alimentation des animaux comme apport d'énergie. Ainsi, deux principaux systèmes de production sont distingués : la ration complète (ou Total Mixed Ration, en anglais) et le pâturage intégral. Dans le premier, les vaches placées en stabulation dans un milieu fermé reçoivent une ration alimentaire standardisée à base de fourrages à haute valeur énergétique (typiquement, l'ensilage de maïs) et des apports élevés en aliments concentrés (typiquement, des tourteaux de protéagineux et des graines de céréales) élaborés pour optimiser, schématiquement, la transformation de l'aliment en lait. Dans le second cas, les capacités productives de l'animal sont contraintes par la quantité et la qualité de l'herbe disponible au pâturage, qui changent en fonction des saisons et des conditions climatiques.

Le premier système, dit « intensif », tel une usine clé en main, gagne du terrain au cours du xx^e siècle dans les pays développés en véhiculant l'idée de modernité régie par la maîtrise technologique totale de la nature. Le second type de production en pâturage intégral, dit « extensif », est longtemps resté dans les esprits des éleveurs industriels connoté à un mode d'élevage « ancien », « préindustriel » ou « sous-développé ». Ces dernières années, on observe un retour au pâturage,

qui regagne littéralement du terrain car considéré comme plus économique et plus écologique, même si ce dernier aspect reste discutable sur le fond. Les systèmes mixtes combinent en différentes proportions en fonction des conditions climatiques la pâture et la stabulation.

D'autres systèmes totalement extensifs, comme en Nouvelle-Zélande ou en Irlande, où l'on voit des milliers de vaches pâturer toute l'année sur d'immenses espaces herbagers, misent plutôt sur la quantité d'animaux que sur la productivité de chaque animal. Cette approche est très différente du TMR, mais elle n'est pas pour autant moins industrielle. Les vaches restent certes au sol, mais ce sol est souvent dénaturé. Des parcelles tracées permettent de maîtriser la poussée d'herbe et sa consommation par les animaux. De hautes technologies d'imagerie par satellite permettent une observation de la couverture herbagère à distance pour une prise de décision sur le déplacement du bétail d'une parcelle à l'autre. L'alimentation en eau des parcelles est souvent artificielle, comme c'est le cas notamment au Kazakhstan, qui possède d'immenses terrains disponibles pour les troupeaux, mais dont les ressources en eau sont très limitées. Et finalement, la « dénaturation » du sol par le bétail lui-même a un impact écologique fort (figure 12). Le cas de la Nouvelle-Zélande est souvent cité en la matière. Dans ce petit pays insulaire où le nombre de vaches dépasse la population humaine, l'élevage presque uniquement en pâturage provoque des pollutions considérables des sols et des eaux par les urines d'animaux.



Figure 12. Terrassement des collines par le passage du bétail en pâturage, en Nouvelle-Zélande.

La vision réductrice de la notion de milieu comme système d'alimentation a participé à la réduction de la diversité génétique bovine. L'idée que les mêmes animaux peuvent être placés presque n'importe où tant que leur milieu (lire : leur alimentation) est maîtrisé a été activement soutenue par des connaissances scientifiques, largement diffusée dans le monde professionnel de l'élevage et véhiculée par des innovations technologiques produites. De vraies fermes-usines clé en main se sont implantées presque partout dans le monde à partir de la seconde moitié du siècle dernier. Standardisées, elles incluent généralement un grand hangar équipé de dispositifs techniques de stabulation, d'alimentation et de traite, ainsi qu'un certain nombre de vaches sélectionnées pour leur adaptation à cet environnement technicisé (figures 13 et 14). Les aliments concentrés prêts à composer des rations normalisées viennent généralement de l'extérieur, produits dans des usines aux procédés également standardisés.



Figure 13. Vaches laitières en stabulation dans le hangar d'une ferme de 2 000 vaches au Kazakhstan. La température extérieure est de -30°C .



Figure 14. Un carrousel de traite. © Mulderphoto/Adobe Stock.

L'amélioration massive de la productivité individuelle des vaches en un siècle, notamment grâce à ces avancées technologiques, démontre des résultats incroyables et inespérés encore au milieu du siècle dernier. La production laitière moyenne de 2 500 litres par vache et par an dans les années 1930 est passée à 10 000 litres dans les années 2000 pour les races les plus fortement « améliorées » comme la Holstein. Néanmoins, les coûts, aussi bien économiques qu'écologiques, de la maîtrise de l'environnement pour une meilleure productivité ont été très peu pris en compte. Aujourd'hui, cette maîtrise de l'environnement est de plus en plus difficile pour les agriculteurs, qui font face au changement climatique et à la crise économique du secteur laitier à l'échelle mondiale. C'est notamment le cas en Afrique du Sud (voir chapitre 8). André Micoud (2003) prend la vache « technicisée », « hors sol » et artificiellement nourrie comme point de passage obligé pour son analyse de la crise de la « vache folle » survenue dans les années 1990 et prévient : « Le système technique dont la vache constitue un des éléments finit par produire des effets bien au-delà de ce qui était imaginable. » (p. 225)

Le milieu comme contrainte pour le marché

Très tôt dans le développement de la sélection bovine industrielle et de son internationalisation, les éleveurs qui font venir le bétail d'autres pays et régions

éprouvent une certaine insatisfaction concernant le résultat, ce dont témoignent les historiens spécialistes du monde agricole ainsi que les éleveurs rencontrés dans différents pays. Bertrand Vissac (2002), s'appuyant sur le travail historique de Nicolas Russel (1986), évoque les premières tentatives d'adoption de la race anglaise Durham Shorthorn en France au début du XIX^e siècle :

« Les animaux de race Durham, appréciés en Angleterre pour leur adiposité, sont insuffisamment laitiers, inaptes au travail et requièrent une alimentation soignée. Ils se révéleront vite non conformes ni aux habitudes alimentaires des Français ni aux capacités d'élevage des paysans français. » (p. 110 et 112)

La promesse faite par les créateurs de cette race concernant la possibilité de reproduction des animaux à l'identique, quel que soit le milieu, ne s'est réalisée que partiellement. Si techniquement cela était possible, en pratique elle a rencontré une contrainte du sens plus large du « milieu », qui inclut non seulement l'environnement physique dans lequel les animaux sont élevés ou le mode d'alimentation, mais aussi les pratiques et les traditions culturelles des éleveurs et des consommateurs qui varient d'un endroit à un autre.

Aussi, pour Barbara Orland (2003, p. 174), qui a étudié l'histoire de l'élevage dans la région de l'Allemagne du Sud et de la Suisse, « l'expérience pratique en matière d'importations a été décevante. Plutôt que de profiter d'une augmentation de la production laitière, les agriculteurs [...] étaient confus et insatisfaits. L'incertitude quant aux mérites respectifs des races renommées de bovins laitiers a clairement montré que l'élevage était un mystère, même pour les fermiers qui réussissaient. Juger les capacités d'un animal sur la seule base de l'ascendance semblait inadéquat pour créer de nouvelles races et avoir une ferme laitière prospère »³⁵.

Que ce soit pour des raisons liées à des traditions culturelles dans lesquelles les animaux importés ne s'inscrivaient pas pleinement, ou pour des raisons de productions inférieures par rapport aux attentes de l'acheteur, ces constats révèlent des liens forts et implicites entre les animaux vivants et leur milieu, qui va de l'entourage physique et immédiat de leurs corps physiologiques aux contextes culturel, politique et économique du pays ou de la région qui encadrent les productions agroalimentaires.

À partir du milieu du XX^e siècle, une vague de « holsteinisation » a gagné l'Europe. La première vache spécialisée en production laitière et fortement sélectionnée sur le critère de productivité et de conformation de la mamelle est arrivée des États-Unis, là où le besoin en produits animaux – parmi lesquels le lait – était très grand dans les années de l'après-guerre. La vache Holstein a donc été accueillie à bras ouverts dans la perspective d'amélioration des troupeaux dans les pays européens. Le témoignage d'un généticien français sur

le début de l'expansion de la Holstein révèle le focus sur quelques caractères particuliers qui correspondent aux priorités du moment :

[...] Et puis, elle avait une conformation de mamelle extraordinaire, tandis que toutes les races françaises avaient des conformations vraiment très mauvaises. Du coup, elle était vraiment très facile à traire. Les problèmes sont arrivés beaucoup plus tard : la sensibilité aux mammites, la baisse de fertilité... Au moment de l'importation, on n'a vu que des qualités. »

Même à l'époque moderne, où l'environnement est maîtrisé par des solutions technologiques *ad hoc*, où des méthodes scientifiques d'évaluation des animaux basées sur le génome sont développées au service du marché de la sélection, la nature biologique des animaux vivants continue à réserver des surprises en contredisant la valeur prédite de l'animal commercialisé. Au Kazakhstan, en Russie, en Afrique du Sud, j'ai recueilli des témoignages sur des cas de mort et de maladies du cheptel importé, sur des niveaux de production bien en deçà des promesses faites par les vendeurs, sur une baisse considérable de la fertilité, sur les coûts exorbitants d'entretien des animaux, sur une qualité de lait insatisfaisante, etc.

Mais le commerce international des ressources génétiques ne s'arrête pas pour autant. Bien au contraire, la globalisation de certaines races comme la Holstein, la Gersiaise, la Brune suit son cours. Dans le contexte du marché mondial, le milieu et sa prise en compte dans l'estimation de la valeur génétique des animaux commercialisés deviennent une matière politique, négociable et sujette au compromis entre les acteurs scientifiques et économiques. Subissant des pressions économiques aussi bien internes qu'externes, certains pays développent des politiques d'importation du bétail sur leurs territoires en se basant sur les calculs savants de la valeur génétique hors contexte. C'était le cas des pays européens dans la seconde moitié du siècle précédent. C'est le cas de nombreux pays actuellement. En 2011, au Kazakhstan – non sans pression des compagnies canadiennes commercialisant la semence des taureaux reproducteurs –, le programme gouvernemental d'amélioration du cheptel établit comme priorité l'importation de bovins du Canada, la justifiant par des critères géoclimatiques de similarité entre les zones de steppes et les hivers vigoureux présents dans les deux pays. La question de la disponibilité des aliments concentrés a été omise. L'Inde, quant à elle, se base sur les standards internationaux des pays occidentaux pour définir en 2013 le seuil réglementaire pour l'importation des reproducteurs bovins laitiers à 10 000 litres de lait en valeur productive estimée, ignorant qu'un tel résultat est inatteignable dans les conditions du pays. En Afrique du Sud, les grandes fermes fonctionnant sur le modèle technologique nord-américain continuent à importer de la génétique

Holstein évaluée aux États-Unis, malgré le fait que les habitudes alimentaires de la population locale ont changé. La population, majoritairement noire et peu tolérante au lactose, privilégie des produits laitiers riches en matières grasses, qui ne constituent pas le point fort des vaches Holstein américaines. Tenir compte d'une telle complexité des liens est en effet très contraignant pour le commerce mondial des ressources génétiques et son articulation aux besoins locaux. À l'ère génétique et génomique, cette problématique devient celle des professionnels de la recherche et du calcul.

To E or not to E ? Une difficile prise en compte du milieu dans les calculs de la valeur génétique

Dès les premiers pas de la science génétique, une des grandes questions qui animait les débats savants portait sur les parts respectives de la transmission des caractères et de l'effet de l'environnement dans les variations observées du vivant. Les adeptes de Lamarck donnaient à l'environnement la primauté dans le déterminisme évolutionniste : c'est l'adaptation au milieu qui guide l'évolution des gènes. Les (post)darwinistes, lois de Mendel à l'appui, donnaient le premier rôle aux mutations génétiques aléatoires, favorisées ou défavorisées ensuite par l'environnement dans le processus de sélection naturelle. Ces débats se sont apaisés par le développement de la théorie postdarwiniste selon laquelle le « code génétique » programme et détermine le développement des êtres vivants et la transmission de l'hérédité. Ce postulat déterministe est aujourd'hui remis en cause par la découverte des mécanismes épigénétiques, qui mettent en évidence des effets du milieu sur l'expression des gènes plus complexes qu'attendu. Sans altérer la séquence d'ADN, ces mécanismes interactionnels rendent ces modifications transmissibles. La question des effets du milieu sur la valeur génétique de l'animal apparaît comme transversale à tous les paradigmes technologiques qui marquent l'approfondissement des connaissances humaines sur les organismes biologiques.

L'objectivation biomathématique de la participation des facteurs du milieu dans les méthodes analytiques d'hérédité vient avec les concepts de phénotype et de génotype. Wilhelm Johannsen (1887-1927) a attribué à l'effet d'environnement l'écart entre un phénotype individuel et la moyenne des individus de même génotype (Sellier *et al.*, 2019). Ce que les éleveurs ont toujours observé dans leur activité de sélection est modélisé sous forme d'une équation composée de trois éléments essentiels : le phénotype (P), le génotype (G) et l'effet de l'environnement ou du milieu (E). Le modèle de base de la génétique quantitative reflète l'additivité des effets :

$$P = G + E$$

Pour estimer la valeur génétique de l'individu étudié, il faut la corriger pour les effets du milieu. Mais quels paramètres prendre en compte pour effectuer cette correction ?

La définition du milieu ou de l'environnement (E) est chose socialement et techniquement complexe (voir chapitre 1).

Dans l'enseignement académique des bases de la génétique quantitative, trois composantes du milieu sont considérées (Verrier *et al.*, 2001)³⁶ :

- l'environnement dans lequel vit (ou a vécu) l'individu observé ;
- certains états physiologiques qui lui sont propres ;
- l'observateur lui-même.

Selon les auteurs, « en production animale, on inclut dans la première catégorie des facteurs tels que l'année (influence du climat sur les ressources fourragères), l'élevage (influence des potentialités agricoles de l'exploitation, du mode de conduite des animaux et de la technicité de l'éleveur), la saison de mise-bas en cas de production laitière, etc. ». Parmi les caractéristiques physiologiques propres à l'individu que l'on considère comme facteurs de milieu, on note l'âge, qui définit la taille et le poids, etc. On y inclut également le stade physiologique à un âge donné comme, par exemple, le « stade de lactation » des femelles laitières. L'observateur, enfin, a une influence au travers du protocole de mesure qu'il applique, de la précision de ses instruments de mesure, et des erreurs de mesure qu'il peut commettre. C'est dire que la définition scientifique de l'environnement dans la vie de l'animal producteur est assez large, et les facteurs pris en compte, assez variés.

Pour relativiser ensuite l'importance de ces facteurs de l'environnement, une autre catégorisation est proposée : le milieu dit « contrôlé », ou macromilieu, et le milieu « non contrôlé », ou micromilieu. Les facteurs du milieu contrôlé sont ceux dont on pense qu'ils ont un effet important sur les caractères étudiés. Ici, non seulement on peut enregistrer les conditions propres à plusieurs individus, mais on peut aussi agir dessus. Par exemple, lorsqu'on mesure la production laitière d'une vache, on enregistre également le numéro du troupeau, la date de mise-bas (donc de démarrage de la lactation), etc. On considère qu'un effet de macromilieu s'applique en commun à tous les individus se trouvant dans une catégorie donnée de milieu. Le micromilieu, quant à lui, est représenté par des effets considérés comme peu significatifs, d'une part, parce qu'ils induisent chez les individus de faibles variations et, d'autre part, parce qu'ils ne sont ni maîtrisables ni mesurables (le recueil de l'information correspondante est trop compliqué ou trop coûteux). Comme ces facteurs peuvent tout de même être perceptibles dans les résultats des calculs, on en tient compte en les mettant dans la catégorie dite « résiduelle », qui exprime l'écart entre la performance et les effets décrits dans le modèle, autrement dit l'erreur inhérente à la prédiction.

Le modèle ainsi complété prend la forme de :

$$P = G + E + e$$

Le support du cours sur la génétique quantitative enseigné à AgroParisTech que j'ai pris en exemple ici précise en note d'attention aux étudiants :

« Cette distinction entre macromilieu et micromilieu comporte une part d'arbitraire liée à l'échelle d'observation à laquelle on se situe. Ne pas enregistrer un facteur de milieu qui, en réalité, induit des variations importantes conduit à des erreurs d'analyse ; dans la pratique de la sélection, où l'on doit corriger les données pour les effets des facteurs de milieu contrôlés, une telle omission a des répercussions relativement graves. »

Il revient donc au modélisateur la responsabilité du choix des informations à inclure ou non dans le modèle d'évaluation génétique. D'après Vincent Ducrocq (2020), « la description des effets de milieu demande une bonne connaissance des pratiques d'élevage et doit s'adapter aux informations disponibles : on sait par exemple que l'état reproductif (gestant/non gestant) d'une vache impacte sa production laitière. Mais si cette information n'est pas recueillie, il est bien sûr impossible de la prendre en compte dans le modèle. On ne se limite donc qu'aux effets identifiés et dûment enregistrés dans les bases de données ». L'auteur fait donc une double mise en garde pour que la valeur calculée soit la plus fiable possible. Son avis sur le besoin d'« une bonne connaissance des pratiques d'élevage » rejoint mes doutes sur la possibilité d'effectuer une bonne évaluation génétique sans connaître l'objet d'évaluation et ses particularités biologiques. Ainsi, il relève des compétences professionnelles du modélisateur de juger l'importance de certains effets du milieu et de leur accorder un traitement différent de celui que leur procure le statut de « résiduelle » (e). C'est notamment le cas de l'effet des interactions entre le génotype et le milieu qui peuvent être héréditaires. La complexité des liens du vivant revient ainsi dans les calculs.

L'interaction génotype-milieu : modéliser l'unité animal-milieu

Un des exemples du paramètre dont la prise en compte dans l'évaluation génétique relève de l'arbitraire est l'effet non additif de l'interaction entre les effets génétiques et ceux du milieu. Autrement dit, il s'agit de la situation où les mêmes gènes ne sont pas exprimés de la même manière en fonction des conditions du milieu, et cette expression peut de plus être transmise aux générations suivantes. On parle alors de l'existence d'un effet d'*interaction génotype-milieu*, ou $G \times E$, dont les mécanismes épigénétiques sont considérés comme un cas particulier. Pour estimer la valeur génétique de l'individu, il ne suffit plus de corriger les données pour l'effet de l'environnement, comme dans la situation où la formule de base est applicable. Le calcul devient plus complexe :

$$P = G + E + G \times E + e$$

Pendant longtemps, la sélection animale, à la différence de l'amélioration végétale, avait tendance à ignorer l'effet héritable de l'environnement sur le génotype de l'animal, l'estimant secondaire et peu pertinent. Les méthodes d'évaluation l'incluaient alors implicitement dans la « résiduelle ». Mais ce facteur de variation peut prendre de l'importance dans certaines situations, notamment lorsque les classements de valeurs entrent en jeu sur le marché de la sélection. L'établissement des classements des produits est en effet une condition intrinsèque au fonctionnement des échanges marchands (Bowker et Star, 2000). Mais selon quels critères ? Comme l'expriment Michel Callon et Bruno Latour (2013, p. 24), « tout un art du capitalisme est de décider ce que l'on inclut et ce que l'on n'inclut pas dans le calcul ».

Nous assistons ici même à ce processus de prise de décision : inclure ou non les effets de l'interaction dans le calcul de la valeur génétique ? Certes, cela complexifie le processus. Or le marché tend vers une simplification des procédures accompagnant les échanges. Mais il peut devenir important de résoudre le problème de confiance dans les valeurs annoncées sur le marché selon les différents environnements où elle se déploie. Autrement dit, si les doses de semence d'un taureau évalué à un endroit sont vendues ailleurs et si les vaches qui y naissent n'expriment pas la valeur annoncée, la crédibilité du vendeur en pâtit auprès des éleveurs et celle de l'évaluateur auprès des vendeurs. Selon ce que l'on recherche – précision ou simplification –, l'interaction génotype-milieu devient utile ou non au calcul. La seconde partie de ce livre a pour fil rouge ces négociations minutieuses menées au niveau international autour de la prise en compte des effets de l'interaction entre les gènes et l'environnement sur le marché des ressources génétiques bovines.

L'effet d'interaction génotype-milieu peut être une source de variation génétique plus ou moins forte en réponse à des « perturbations » environnementales (Huquet, 2012). Il peut n'avoir aucun impact, auquel cas le classement reste le même quel que soit le milieu. Il peut produire un effet d'échelle : l'ordre des individus dans le classement reste inchangé, mais les différences entre eux sont exacerbées dans certains milieux. Enfin, l'interaction génotype-milieu chez les individus évalués peut être tellement forte que leur classement change de manière considérable en fonction des différents contextes dans lesquels ils évoluent. Ainsi, des variations de température, la survenue d'une maladie ou un type donné d'alimentation ont des répercussions différentes selon les individus. Non pris en compte dans le calcul de la valeur, $G \times E$ peut alors diminuer l'efficacité de la sélection (Mulder, 2016).

L'apparition de la notion d'interaction génotype-milieu en tant qu'enjeu pour la génétique quantitative appliquée à l'animal est datée dans la littérature scientifique de 1952, lorsque le généticien écossais Douglas Scott Falconer propose une méthode pour mesurer les variations génotypiques en fonction

de l'environnement par des corrélations génétiques. Il considère la mesure du même caractère du même animal dans deux environnements différents comme deux caractères génétiquement corrélés entre eux. L'interaction génotype-milieu est faible si la corrélation s'approche de 1. Plus elle s'en éloigne, plus l'interaction devient forte. La valeur de corrélation autour de 0,6-0,7 est considérée déjà comme critique chez les animaux et donne une raison d'adopter des programmes de sélection différents en fonction des environnements. Cette méthode de quantification de l'effet de l'environnement dans le processus de sélection des animaux a deux répercussions. D'un côté, elle objective les limites de la globalisation des programmes de sélection. De l'autre, suivant la croyance selon laquelle ce qui est calculé est maîtrisé, elle justifie de poursuivre leur expansion mondiale tant que l'effet $G \times E$ est pris en compte dans les modèles d'évaluation génétique.

L'interaction génotype-milieu comme concept négociable

Des recherches sur l'effet d'interaction génotype-milieu sont menées par les généticiens depuis plusieurs décennies avec plus ou moins d'intensité. La production et l'implication des connaissances sur ce sujet varient beaucoup d'une espèce à l'autre en fonction des agencements sociobiotechniques construits autour de ces espèces.

En amélioration des plantes, le facteur $G \times E$ est considéré comme très important, et les recherches appliquées ont commencé bien plus tôt que dans le domaine animal. La création variétale implique l'expérimentation dans plusieurs contextes avec une visée de « stabilisation du génotype ». C'est une condition nécessaire à la validation de la variété. Autrement dit, l'objectif de l'étude de l'interaction génotype-milieu chez les plantes concerne leur meilleure standardisation, conditionnée entre autres par l'organisation des productions végétales fondée sur la commodification et la commercialisation à grande échelle des ressources génétiques.

Dans les filières avicole et porcine, le progrès génétique est également produit de manière intensive par des entreprises privées. En revanche, les systèmes de production étant majoritairement établis dans des milieux artificialisés, standardisés et contrôlés, la question de l'interaction génotype-milieu est très largement évacuée. Au même titre que pour les filières des petits ruminants, elle est surtout traitée par des chercheurs spécialistes de la génétique d'adaptation afin d'étudier les capacités adaptatives (la rusticité) des animaux. La structure pyramidale de la diffusion du progrès génétique – un petit nombre d'élevages spécialisés en sélection fournissent les ressources génétiques aux élevages de multiplication, qui à leur tour assurent une large diffusion dans les élevages

de production – rend trop compliquée et peu pertinente la prise en compte des effets non additifs de l'environnement au niveau de ces filières. Ainsi, la question des interactions entre le génotype et le milieu appliquée aux petits animaux de rente est traitée uniquement dans un milieu scientifique très restreint.

La prise en compte de l'interaction génotype-milieu par la filière bovine est tout aussi complexe, mais elle reflète une autre problématique. Les agencements bovins conçus au niveau national de la plupart des pays développés impliquent un nombre important d'éleveurs commerciaux dans la production du progrès génétique. Ces éleveurs ne sont pas seulement les utilisateurs du service d'amélioration génétique, mais aussi ses coproducteurs *via* un système coopératif national plus ou moins institutionnalisé en fonction des pays. Jusqu'à présent, ce système coopératif impliquait un dispositif de mesures – *via* notamment le contrôle laitier – déployé dans les élevages commerciaux à grande échelle. En effet, l'enjeu de globalisation du marché de la semence bovine dans les années 1970 a appelé certains pays à défendre la souveraineté de leurs programmes génétiques. L'effet non additif de l'environnement sur la valeur génétique s'est traduit en corrélations basses entre les index calculés dans chaque pays, qui se sont révélés incomparables entre eux. Ce problème de comparabilité des valeurs génétiques pour le marché international a eu pour conséquence une impossibilité d'établir un classement unique de produits et de définir ainsi leur qualité. Pour résoudre le problème, la notion d'interaction génotype-milieu a été utilisée afin de réguler les circulations des doses de semence sur le marché mondial, comme nous le verrons dans la partie suivante. Mais ce n'est que dans les années 2000 que de vrais programmes de recherche sur l'interaction génotype-milieu chez les bovins ont été lancés pour affiner les connaissances et les méthodes de prise en compte de cette composante dans l'évaluation génétique animale. L'implication politique du savoir a donc précédé sa construction scientifique.

Si, au sein de l'association génotype-milieu, la notion de génotype a une définition scientifique plus ou moins stabilisée, le milieu peut avoir une portée sémantique et sémiotique très variée, comme nous l'avons vu précédemment. En fonction des utilisateurs, le milieu (l'environnement, le contexte) peut changer considérablement d'échelle et être relié aussi bien au système d'alimentation (TMR ou pâturage), au système technique de production (robot de traite ou pas, animaux en stabulation ou en mouvement, etc.) qu'à des zones géoclimatiques ou aux États-nations, avec leurs caractéristiques politico-économiques respectives (Huquet, 2012).

Difficilement calculable et prévisible, l'effet du milieu sur la réponse des animaux à la sélection est sujet à négociation entre, d'un côté, des acteurs scientifiques qui tiennent à la précision et, de l'autre, des acteurs industriels qui, dans un souci d'efficacité commerciale et de réduction des coûts, privilégient la simplification.

Les modélisateurs eux-mêmes reconnaissent la complexité du processus. Comme le rappellent notamment Jean-Baptiste Denis et Patrick Vincourt (1982, p. 219-220), « à chaque facteur sont associées une ou plusieurs variables qui participent à “l’explication” des interactions. [...] Chaque facteur définit par ses composantes une échelle de mesure des composantes de l’autre facteur. Cette dualité peut poser des problèmes d’interprétation ». Il paraît donc logique que « les décisions que [l’expérimentateur] est amené à prendre tendent à reléguer l’existence de ce phénomène au rang des informations mineures ». Rappelons-nous la distinction entre le macromilieu, dont l’effet peut être contrôlé, mesuré et donc facilement pris en compte dans les évaluations génétiques, et le micro-milieu, dont les effets sont relégués au statut de « résiduelle ».

Ainsi, aux États-Unis, grand pays aux types d’environnements géoclimatiques très contrastés, les entreprises d’insémination artificielle fonctionnent selon un seul et unique schéma de sélection par race. Des études scientifiques menées pour estimer l’effet de l’interaction génotype-milieu sur les animaux en production dans différents États ou régions du pays ont démontré que cet effet était relativement fort. Notamment, il a été souligné que son effet sur le caractère de production laitière était même plus fort que l’effet du génotype (G) ou du milieu (E) pris de manière additive (souvenons-nous de l’équation où le caractère observé (P) est le résultat des effets du génotype, de l’environnement et de leur interaction : $P = G + E + G \times E + e$).

Néanmoins, le système d’évaluation génétique et génomique national ne prend toujours pas en compte ce facteur de variation. Selon les représentants des acteurs économiques interviewés, les principales implications de l’interaction génotype-milieu sont socio-économiques. Pour eux – et, disant cela, ils opposent le système américain au système européen « multi-pays » –, il n’y a pas de raison de prendre en compte $G \times E$ tant qu’il n’y a pas de différences dans les systèmes d’évaluation et dans les attentes socio-économiques des éleveurs. Ils plaident alors à ce niveau pour l’unité de la filière nationale, à la différence de la diversité promue traditionnellement par l’Europe.

Les tensions entre les visions américaine et européenne d’une part et entre les logiques scientifique et marchande d’autre part participent à la dynamique internationale de la sélection bovine. Nous aurons l’occasion de le constater pleinement dans la deuxième partie au travers des logiques et des actions portées par des acteurs scientifiques et marchands sur le terrain international.

Conclusion de la partie I

« Le livre fonctionnera si le lecteur ressent chaque fois l'impression que chacun des modes [d'existence] est le meilleur, le plus discriminant, le plus important, le plus rationnel de tous », écrit Bruno Latour dans son *Enquête sur les modes d'existence* (2012, p. 11). L'effet de mon récit est certainement inverse. On est plutôt censé regretter la réduction du mode d'existence de la vache-milieu au profit de celui de la vache-capital, c'est-à-dire la prédominance de la valeur économique sur la valeur sociale. On est censé également réfléchir au rôle de la technoscience qui, dans le mode d'existence génétique de la vache, transforme la valeur biologique dans le sens holistique de l'animal lié à son milieu en la valeur logique, où la rationalisation est mise au profit du capital économique. Ce processus d'économicisation de la vie à l'aide de la science, notion empruntée à Michelle Murphy (2017), est d'ailleurs questionnable de deux manières. Bruno Latour soutient que « l'avènement de la Science a rendu difficile la saisie des autres modes [d'existence] » (2012, p. 10). Michel Callon, en revanche, pense que les activités scientifiques de métrologie « font apparaître simultanément, et sans les dissocier, des modes d'existence dont certains sont économiques et d'autres pas » (2009, p. 248).

L'analyse du rôle de la génétique quantitative dans l'agencement bovin permet potentiellement d'approuver ces deux propositions. Les méthodes de quantification élaborées par les généticiens sont à même de faire apparaître simultanément l'ensemble des modes d'existence de la vache. Néanmoins, l'affaire de l'évaluation génétique, comme nous le rappelle Vincent Ducrocq (2020), est « le résultat d'un compromis entre prise en compte exhaustive des données disponibles, respect des hypothèses génétiques et statistiques, complexité du modèle et réalisation des calculs dans un temps raisonnable ». Ce compromis repose sur une négociation technopolitique entre différents acteurs pris dans des jeux de pouvoir. Qu'il s'agisse d'Interbull avec sa volonté de régulation du marché globalisé de la semence bovine, d'EuroGenomics dans son positionnement concurrentiel face aux acteurs économiques américains ou des acteurs scientifiques sud-africains qui mettent l'interaction génotype-milieu dans leur agenda de recherche avec l'objectif de faire renaître l'industrie nationale de la sélection bovine face aux pressions des exportateurs de semence – le vivant industrialisé est en permanente redéfinition sociale.

Partie II

Ceci est une vache globale

Où le lecteur découvre différents enjeux technopolitiques de la globalisation du marché des ressources génétiques bovines ; suit des conflits d'intérêts et de valeurs entre les acteurs scientifiques et économiques, américains et européens dans leurs projets tantôt concurrents tantôt collaboratifs de la construction de la vache globale ; devient témoin des bouleversements dans l'organisation transnationale de la sélection suite à la révolution génomique ; et enfin revient sur le terrain où la vache locale se présente à lui dans ses connexions globales.

Notions clés : holsteinisation, agencement bovin, assemblage global, communauté épistémique, centre de calcul, commensuration, coopération, forum hybride, interaction génotype-milieu, évaluation génétique/génomique, coexistence des pratiques.



© Amagathe Hallopeau

Chapitre 4

Interbull : penser la vache globale par la diversification des valeurs génétiques

L'histoire d'Interbull se révèle incontournable dans une narration sur la globalisation de la vache, car elle illustre précisément le nœud des tensions entre les agencements bovins nationaux confrontés à l'intensification des échanges marchands des ressources génétiques au niveau international. Ce n'est pas une histoire qu'on vous racontera dans un dîner en ville, sauf bien sûr s'il est organisé par des professionnels du monde très restreint de l'évaluation génétique des bovins. Pourtant, c'est passionnant. C'est une histoire d'hommes et de femmes avec leurs engagements et leurs intérêts, d'animaux et de machines, d'États, de marchés, de chiffres, de standards et de particularités enchevêtrés dans un assemblage complexe et mouvant de la sélection bovine globalisée. Mais c'est aussi l'histoire d'une tentative de rationaliser toute cette complexité.

Interbull est difficile à définir. Son intitulé officiel est « International Bull Evaluation Service ». Cette organisation a des facettes multiples et évolutives dans le temps. C'est une communauté épistémique de chercheurs généticiens devenus amis, partageant certaines convictions, croyances et valeurs. C'est une organisation internationale. C'est une partie (de l'organisation internationale ICAR) et un tout (car son activité est unique et autonome). C'est un promoteur à la fois de standards et de diversité. C'est un service payant et une source d'information gratuite. C'est un facilitateur de la globalisation du marché tout en y posant des contraintes. C'est un résultat et une source de tensions technopolitiques dans le monde du vivant. C'est un centre de calcul autour duquel gravitent des milliards de données numériques en provenance et à destination d'autres centres de calcul.

Enfin, tout ce dispositif immense et difficilement imaginable de l'extérieur est construit au nom de la vache. Et en premier lieu au nom de la race Holstein-Frisonne, car c'est elle – un exemple parfait de la performance productive – qui se retrouve dans la période de l'après-guerre au centre de l'attention des professionnels de la sélection dans de nombreux pays.

La Holstein-Frisonne : une race doublement globalisée

La Holstein est le nom actuel reconnu presque partout dans le monde de la race bovine Frisonne Pie-Noir, créée au XIX^e siècle aux Pays-Bas dans la région de La Frise (Friesland en néerlandais). Considérée aujourd'hui comme la race la plus industrialisée et globalisée, elle a connu au cours de son existence deux étapes d'expansion mondiale. La première période se rattache au succès international de la race Frisonne (Friesian, Friesland en fonction de ses appellations selon les langues et les pays), elle-même créée à partir de plusieurs races, parmi lesquelles figurait la Durham Shorthorn anglaise. Race rustique, c'est-à-dire adaptable et résiliente, avec un bon équilibre entre production de viande et de lait, la Frisonne est rapidement devenue très populaire et a voyagé dans le monde entier (Vissac, 2002) : dans des pays voisins en Europe par des échanges commerciaux de proximité, et dans des régions plus éloignées avec les déplacements des populations d'éleveurs néerlandais et de ceux de l'Empire britannique dans des colonies d'outre-mer. Cette première période était créatrice de populations divergentes qui ont évolué relativement indépendamment dans leurs pays et régions d'accueil sous l'égide des programmes nationaux de sélection. Une étude menée par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) dans les années 1970-1980 sur la comparaison entre les populations Frisonnes améliorées dans dix pays différents a effectivement noté de fortes particularités locales sur plusieurs caractères (production de lait et de viande, composition du lait, morphologie et physiologie des animaux, etc.). Ces divergences sont à considérer sous le prisme des différents environnements et des priorités nationales de sélection (Jasiorowski *et al.*, 1987). Une des branches de la race Frisonne a ainsi évolué aux États-Unis dans le contexte de l'industrialisation fordiste. Appelée « Holstein », elle devient au milieu du XX^e siècle la première race laitière spécialisée, poussée par la sélection jusqu'au bout de la logique productiviste : telle une *milk-machine* qui représente l'idéal industriel de l'animal.

La deuxième étape dans la globalisation de la race est ainsi liée au processus de « holsteinisation ». Dans la période de l'après-guerre (années 1950-1960), la Holstein américaine, soutenue par le développement de l'insémination artificielle et l'intensification des échanges économiques internationaux, vient conquérir les différents pays en recherche d'augmentation de leurs productions agroalimentaires.

L'alignement sur le standard américain – vache grande, angulaire, très productive, donnant un lait à teneur faible en matières grasses et en protéines – marque un tournant *a priori* irréversible dans le développement de la race Frisonne en faveur de la Holstein. L'ancienne Frisonne – vache rustique de race mixte et donc plus corpulente, produisant du lait en plus faible quantité mais riche

en matières grasses et protéiques – « n'existe plus en Europe, [...] même pas en cuve [de semence conservée] », s'indigne Didier Boichard, un des généticiens français interviewé. « Les gens, poursuit-il, ne se souciaient pas de la diversité, ils ont tout jeté, ils ont vidé leurs cuves pour faire de la place. » Des études conduites par l'organisation internationale d'Interbull (Philipsson, 2011), le Canada (Van Doormaal *et al.*, 2005), la France (Mattalia *et al.*, 2006), les Pays-Bas (Van Der Beek et Geertsema, 2017), les États-Unis (VanRaden, 2017), pointent l'état critique de la variabilité génétique au sein de la plus grande race bovine, mais aussi dans d'autres races globalisées comme la Jersiaise, la Guernsey, etc. Selon le document public de la Fédération mondiale de la Holstein-Frisonne, le coefficient moyen de consanguinité dans les pays leaders en production Holstein est estimé à 6 %, tandis que 5 % est considéré comme le maximum acceptable. Selon les sources professionnelles interrogées, le chiffre continue actuellement à augmenter considérablement. Avec la facilité de circulation des ressources génétiques grâce à l'insémination artificielle couplée à la technologie de cryoconservation, les éleveurs et les sélectionneurs des pays développés recourent à ce que l'on appelle dans le milieu professionnel « un recrutement génétique mondial », c'est-à-dire à l'utilisation de la génétique provenant des vingt meilleurs reproducteurs internationaux dont la majorité absolue est américaine. Il a été en effet démontré que, dans le cadre de la sélection globale, le progrès génétique peut s'accélérer de 17 % par rapport à la sélection intra-pays, ce qui donne un bon argument à la globalisation du marché, mais omet certains inconvénients quant aux effets collatéraux de la perte de diversité. Les généticiens mettent en garde les éleveurs et les entreprises de sélection sur « l'importance de garder [...] une base génétique large pour la durabilité des programmes génétiques » (Philipsson, 2011, p. 6).

Une forte progression de la consanguinité au sein de la race Holstein est surtout notable dans les régions du monde où le standard de race pure incite les éleveurs à l'utilisation des mêmes lignées de taureaux reproducteurs. En revanche, nous observons une baisse du taux de consanguinité en Océanie, région représentée principalement par la Nouvelle-Zélande, où le croisement entre deux races, la Holstein et la Jersiaise, est très pratiqué. Malgré les signaux d'alarme lancés par les scientifiques, la pression du marché sur la production et la circulation des ressources génétiques ne cesse d'augmenter.

Aujourd'hui, environ 75 % du commerce international des ressources génétiques (principalement la semence) concernent la race Holstein-Frisonne. Les vaches de cette race sont présentes dans le monde entier (130 pays) et l'absorption génétique de la Frisonne par la Holstein est dorénavant un processus omniprésent. Cette race est devenue un modèle pour le développement des technologies modernes de l'élevage et de la sélection, ainsi qu'un véhicule pour leur expansion internationale. Néanmoins, compte tenu d'un taux élevé de consanguinité, la

race Holstein, dont la conformité au standard américain constitue une fierté et l'outil marketing principal des grands vendeurs de semence, est en réalité « une grande race au petit patrimoine génétique » (Mattalia et Brocard, 2007).

Problématiser la holsteinisation

« Quand la Holstein a débarqué (je m'en souviens, j'étais encore étudiant), il y a eu une tournée de vaches et de taureaux Holstein dans toute la France, les éleveurs venaient voir. [...] Jamais vu en France à cette époque, et dans d'autres pays d'Europe c'était pareil. [...] Ils sont donc arrivés avec des propositions commerciales, avec des index énormes de + 2 000-2 300 [alors que ceux du système d'évaluation français étaient de l'ordre de 100-150, NdA], ce qui impressionnait beaucoup les éleveurs. [...] Personne n'était capable de comparer ces chiffres. Les éleveurs étaient complètement perdus. [...] Donc il fallait qu'on soit capable de dire aux éleveurs quels étaient les bons taureaux américains comparés aux meilleurs taureaux français. Les Suédois et les Allemands, tous se posaient les mêmes questions. [...] C'était une initiative européenne pour se défendre contre l'invasion de semences nord-américaines. Non pas contre la Holstein car tout le monde était d'accord que la Holstein était plus productive, mais pour en tirer le meilleur parti et surtout éviter de se faire vendre des produits qui n'étaient pas à la hauteur de ce qu'on voulait. C'était ça la problématique. »

Cet extrait d'entretien avec Jean-Claude Mocquot, ancien chercheur généticien français, un des pionniers de l'initiative internationale devenue Interbull, nous montre le cheminement vers la problématisation de l'incertitude qui a gagné les acteurs de la sélection bovine dans les années 1960-1970 avec la « holsteinisation ». Trois étapes importantes se dégagent :

- partir d'une situation sociale définie comme « critique » (« les éleveurs étaient complètement perdus ») ;
- invoquer une cause politique (« c'était une initiative européenne pour se défendre contre l'invasion nord-américaine ») ;
- arriver à la problématique d'ordre économique, plus justifiable dans le contexte de domination industrielle et marchande (« comment ne pas se faire vendre des trucs qui n'étaient pas à la hauteur de ce qu'on voulait »). Cela revient au besoin d'établir des classements objectifs de produits pour définir leur qualité, sans quoi le marché ne peut pas fonctionner.

Les problèmes politiques finissent souvent par être réduits à des problèmes d'ordre technique. Celui posé par la holsteinisation ne fait pas exception. L'arène de sa construction était de nature discrète et limitée aux seuls spécialistes en présence. Mais elle n'en était pas pour autant dépourvue d'un public que convoquaient les discours des acteurs participants. Notamment, les scientifiques généticiens, que nous commençons à suivre ici, employés principalement par des institutions nationales publiques ou semi-publiques, assurent

souvent mobiliser leurs compétences au nom des intérêts des éleveurs. Le cadre de connaissances et de normes sociales de l'élevage bovin dit « moderne » s'est construit au milieu du xx^e siècle, avec l'implication active de ces généticiens qui ont mis des instruments sophistiqués de calcul au service du développement des productions bovines au sein des États-nations. Ce sont donc ces mêmes acteurs qui sont devenus « entrepreneurs de cause » face à la holsteinisation des populations Frisonnes. Après la période des années 1970, marquée au niveau mondial par un tournant néolibéral et par le désengagement (certes progressif) des États-nations de leur rôle de régulateurs de l'ordre social en faveur des instances professionnelles, marchandes, scientifiques et à un niveau supranational, il paraît d'autant plus logique que le problème de la holsteinisation ait été porté pendant plusieurs décennies par les généticiens spécialistes du bovin, qui l'ont traduit en problème d'ordre technique, nécessitant une résolution par des instruments de même nature. La construction de l'Europe communautaire se présente à cette période historique comme le cadre politique conjoncturel ou, selon l'expression de Kingdon (2014), une « fenêtre d'opportunité politique » pour une mobilisation des scientifiques avant tout européens.

La holsteinisation comme problème de standard de race

En 1974, la FAO lançait un projet expérimental d'envergure qui visait « à comparer de manière objective les populations principales de la Frisonne Pie-Noir » (Jasiorowski *et al.*, 1987). Ce projet conduit en Pologne, intitulé officiellement « Testing of ten different strains of Friesian cattle » et officieusement « The Polish Friesian Project », comptait dix pays partenaires (États-Unis, Canada, Danemark, République fédérale d'Allemagne, Israël, Pays-Bas, Suède, Royaume-Uni, Pologne et Nouvelle-Zélande) qui fournissaient les semences. Les financements provenaient de la Pologne et des fonds américains relevant de l'Agricultural Trade Development Assistance Act, destinés à l'aide aux pays en développement et plus particulièrement aux pays du camp soviétique. Il était stratégique pour les États-Unis de rejoindre ce projet lancé par l'instance internationale pour affirmer leur positionnement de leader sur le marché de la génétique Holstein-Frisonne. « Les Américains étaient sûrs de la primauté de leur génétique et voulaient bien être comparés aux autres pays, c'était sans risque et ils avaient tout à y gagner », analyse un des généticiens d'Interbull. Ainsi, les dix rameaux constitutifs de l'essai étaient censés être comparés entre eux pendant dix ans sur différents caractères génétiques d'intérêt économique : productivité laitière, taux de matières grasses et de protéines, qualité de la viande, efficacité alimentaire, santé, reproduction, conformation, etc. Le projet envisageait d'apporter des outils aux pays importateurs de semences pour qu'ils puissent choisir

une génétique venant de l'extérieur (dite « exotique ») en connaissant sa valeur en fonction de leurs besoins de sélection (Jasiorowski *et al.*, 1987).

Le projet portait en son sein l'enjeu de compétition entre les différents standards de la race. La race Frisonne Pie-Noir, originaire des Pays-Bas où elle avait été créée au XIX^e siècle et d'où elle s'était répandue dans de nombreux pays, était sur le point de subir des transformations majeures. Comme nous l'avons vu au début de ce chapitre, la première vague de globalisation de cette race avait créé des populations divergentes qui ont évolué dans des systèmes nationaux de sélection bien distincts. Le standard de race a évolué en fonction des contextes de son adoption, confirmant ainsi sa nature profondément sociale, ou plutôt socio-économique, car ce sont bien les objectifs de développement des productions qui dictaient les schémas de sélection. Ces divergences dans l'application du standard de la vache Frisonne Pie-Noir ont été notamment démontrées et expliquées par l'expérience à grande échelle menée par la FAO en Pologne. Une des raisons qui avaient justifié le choix du terrain polonais était la proximité génétique entre la population locale et la race Frisonne originelle créée aux Pays-Bas au siècle précédent. Les porteurs du projet ont donc considéré que, pour une analyse la plus pertinente possible des différences, la population la moins sélectionnée était un bon support à l'insémination par des taureaux dont les populations avaient subi plus de transformations génétiques au cours du siècle.

Avec l'affichage d'une comparaison objective des populations entre elles, les porteurs du projet ont exprimé leur volonté de mettre en valeur la diversité de ces populations porteuses de caractères tous importants à préserver pour leur utilisation dans différents contextes : la productivité laitière, le taux de matières grasses et de protéines dans le lait, la valorisation de carcasse, etc. Néanmoins, l'industrialisation internationale de l'élevage a privilégié sans aucune ambiguïté la poursuite de la sélection fondée essentiellement sur le caractère de production laitière. La population nord-américaine (états-unienne et canadienne), sélectionnée précisément sur ce caractère pendant plusieurs générations, s'est ainsi vue confirmée dans sa position hégémonique sur le marché mondial pour plusieurs décennies³⁷, et la race Frisonne Pie-Noir a donc pris – et même sans attendre les résultats de cette étude – la voie de la spécialisation laitière en s'alignant sur le standard américain, qui a aussi modifié les caractères morphologiques de la vache, notamment au niveau de la mamelle, devenue plus apparente.

Déjà en 1964, c'est-à-dire dix ans avant le début de la « comparaison objective » des rameaux de la vache Frisonne Pie-Noir, alors que la Holstein commençait seulement à s'exporter vers d'autres pays, la Fédération mondiale Holstein-Frisonne (WHFF) était créée à l'initiative de l'Association Holstein Américaine (HAUSA). Pour marquer le lien symbolique avec la race Frisonne Pie-Noir, la première réunion de la WHFF s'est tenue aux Pays-Bas, la patrie historique

de la race. Rappelons-nous que les races bovines sont traditionnellement gérées collectivement par des associations d'éleveurs *via* les livres généalogiques ainsi que d'autres dispositifs et actions qui portent sur la promotion et le maintien du standard de race, et sur la protection des intérêts des éleveurs. La création de la WHFF affichait précisément cette volonté de gestion collective de la race au niveau mondial. Réunissant les associations de races de quarante pays dans le monde, la WHFF a entre autres pour fonction d'harmoniser au niveau international les procédures de sélection en conformité avec le « nouveau » standard de la race. Même si son nom officiel inclut toujours l'ancienne appellation de race Frisonne, dans les textes de communication et les documents divers disponibles sur le site Internet de la Fédération, la « Frisonne » n'existe plus. Elle est complètement remplacée par la « Holstein ». En plus de sa productivité laitière très largement reconnue, le standard morphologique mondial de la vache Holstein est celui défini aux États-Unis par l'Association Holstein USA, très puissante politiquement. Plusieurs caractères comme la taille haute, l'angularité, le pis apparent et accroché bien haut, sont défendus par la WHFF comme signes distinctifs de la race et promus auprès des associations nationales.

En 2012, un concours international a été lancé par la revue en ligne *Holstein International*. Le jury décerne le titre de « Global Cow of the Year » à la vache la plus « influente » de la sélection Holstein mondiale. Parmi les critères du concours figurent la conformité de la vache au standard de la race Holstein et sa généalogie ascendante et descendante, qui témoigne d'une continuité des performances génétiques exceptionnelles dans sa lignée.

Ce positionnement hégémonique du standard américain de la race Holstein ne fait pas pour autant l'unanimité. Comme nous l'avons vu au chapitre 2, l'index TPI™ dans sa vocation à valeur universelle de la race est très contesté, surtout parmi les acteurs scientifiques cherchant à promouvoir l'objectivité des évaluations différenciées en fonction des contextes.

La holsteinisation comme problème de comparabilité des index génétiques

La massification des connexions marchandes a engendré de fortes incertitudes au sein des agencements nationaux de la sélection bovine. L'index TPI™ américain qui accompagnait les vaches et les taureaux Holstein en provenance des États-Unis à destination de l'Europe faisait face aux évaluations locales. La question suivante se posait alors : la valeur génétique + 2 500 portée par un taureau américain est-elle vraiment supérieure à la valeur génétique de + 150 portée par un taureau français ? Lequel des deux sera améliorateur pour les troupeaux locaux sur des critères établis dans un système national donné ? La représentation

numérique des valeurs des animaux laissait penser qu'elles étaient comparables. La quantification des valeurs génétiques était pensée à travers l'universalité et l'objectivité des méthodes scientifiques qui se revendiquaient comme une convention sociale unanime. Les dispositifs d'évaluation génétique créés au sein des agencements nationaux pour rationaliser les productions animales se sont trouvés remis en question par la disparité constatée des index génétiques lors des échanges marchands internationaux. Ces index se sont révélés tout simplement incommensurables compte tenu de la diversité des agencements bovins « cachés » derrière les chiffres. Comme nous l'avons vu aux chapitres 2 et 3, le processus de quantification est un processus holistique et évolutif. Il n'est donc pas pertinent de se référer uniquement au résultat des calculs sans tenir compte du processus de sa construction, lequel implique des conventions d'équivalence négociées socialement dans un contexte spatial et temporel donné.

Les généticiens enrôlés dans des agencements bovins nationaux se sont saisis de la mission d'établir une nouvelle « convention » au niveau international dans la perspective de la globalisation du marché de la génétique ouverte par la race Holstein-Frisonne. Jan Philipsson, généticien suédois et l'un des pionniers d'Interbull, en témoigne :

« J'ai été visionnaire quant à l'augmentation des échanges mondiaux sur le marché de la semence. Nous allions sélectionner à partir d'un pool mondial de taureaux, d'un pool mondial de gènes. Et nous devons être en mesure d'évaluer les taureaux d'Amérique, d'Europe, de Nouvelle-Zélande, etc. Et nous devons être capables de le faire correctement. »³⁸

La holsteinisation avait une vocation économique politiquement contrainte. Pour reformuler le témoignage de Jean-Claude Mocquot cité plus haut, il fallait intégrer au mieux la génétique Holstein pour augmenter les productions laitières locales, tout en évitant la domination politico-économique américaine par le marché. Traduit en problématique proche des préoccupations de la génétique quantitative, cela revenait à démentir la supériorité de l'index américain TPI™ par rapport à d'autres index. Pour y parvenir, il fallait d'abord établir les équivalences entre les différents index présents sur le marché.

En 1975, des initiatives sont prises en ce sens avec la création quasi simultanée de groupes de travail par deux organisations internationales. La première est portée par la Fédération internationale du lait (FIL, ou IDF pour International Dairy Federation), créée en 1903 et qui inclut dans ses missions la représentation de la filière laitière au niveau mondial, la veille des intérêts des industries nationales ainsi que la production et la diffusion des connaissances, des bonnes pratiques et des standards des productions laitières. La seconde est portée par la Fédération européenne de zootechnie (FEZ, ou EAAP pour European Association for Animal Productions, devenue European Federation for Animal

Science), qui réunit depuis 1949 des scientifiques et des professionnels de la sélection animale et qui a pour objectif la production et la diffusion des connaissances et des bonnes pratiques dans le secteur de l'élevage. Étant concernées par les enjeux technoscientifiques du marché des ressources génétiques des bovins laitiers, ces deux organisations ont décidé de mobiliser des généticiens sur cette question de la comparabilité des valeurs génétiques.

Le président de la FEZ, le professeur Patrick Cunningham, du Trinity College of Dublin, spécialiste de la génétique animale, a annoncé au congrès de Varsovie en 1975 sa décision d'analyser scientifiquement tous les index qui circulent dans le monde et d'informer les gens sur des méthodes possibles de comparaisons. Le professeur Claude Gaillard, de l'université de Berne en Suisse, a été chargé de monter et d'animer un groupe de huit jeunes chercheurs de différents pays : les Pays-Bas, l'Allemagne, l'Autriche, le Danemark, la France, la Suisse, le Norvège, la Suède et la Grande-Bretagne. Hans-Otto Gravert, professeur de sciences animales en Allemagne et impliqué dans la FIL, a également réuni quelques généticiens. La participation à ces groupes de travail a été soumise à certaines conditions : être jeune chercheur de moins de 30 ans, être formé à la génétique quantitative, être impliqué dans les dispositifs nationaux de sélection bovine et avoir donc des compétences pratiques en plus des connaissances scientifiques, et enfin être nommé par une institution officielle nationale en tant que représentant du pays. Il s'agissait là du point de départ d'une véritable *communauté épistémique* (Haas, 1992). Jeunes, ambitieux et, comme ils le disent eux-mêmes, « idéalistes », réunis autour d'un problème politique avec pour mission de le résoudre techniquement, ses membres forgeront leur culture épistémique et leurs engagements communs au fur et à mesure de la construction du problème et de son évolution dans le temps. Devenus non seulement collègues, mais aussi amis à vie, ils ont continué, même retraités, à se retrouver tous les ans.

Les premières réunions de travail portaient sur l'ouverture des « boîtes noires » des index génétiques des différents pays. Le problème de comparabilité des index génétiques a été traduit dans le langage de la génétique quantitative et donc objectivé par des calculs rationnels : les corrélations entre les index des différents pays étaient bien en dessous de « 1 ». Il fallait y trouver une explication et une solution aussi rationnelles.

En déconstruisant les index, les généticiens ont pu remonter vers des conventions de mesure qui différaient d'un pays à l'autre. Faisant des allers-retours entre les réunions internationales et leurs fonctions respectives dans les organisations nationales, ils ont pu soulever et systématiser plusieurs points qui relevaient des différences dans les méthodes d'évaluation. Notamment, le problème d'identification des taureaux a été mis en lumière : une fois la semence d'un taureau achetée dans un autre pays, il recevait aussi un numéro d'identification dans ce pays-là, ce qui démultipliait ce taureau dans les bases de données et créait

des difficultés dans son testage sur la descendance. Des disparités dans les définitions des caractères et les façons de les mesurer ont également été notées par les généticiens. Par exemple, ce que représente la valeur de la production laitière dépend fortement du nombre de lactations, du nombre de traites par jour, du nombre de jours par lactation, etc. Qui plus est, des différences dans les systèmes métriques – livres, kilogrammes, litres – rendaient incomparables même les quantités de lait produit. L'attention des généticiens s'est portée également et tout particulièrement sur ce qu'ils appelaient « la base de comparaison » (ou la moyenne), qui peut être mobile ou fixe³⁹. Ce point a d'ailleurs été identifié comme l'explication principale de l'écart entre les index des taureaux américains et ceux de certains pays européens, les premiers étant systématiquement plus élevés que les seconds :

« Les États-Unis comparaient toujours leurs taureaux à ceux d'il y a quinze ans et les Canadiens changeaient tous les cinq ans. Donc une année leur taureau était à + 1 500 livres, l'année d'après + 1 800, ensuite + 2 000, + 2 500, etc., car chaque génération suivante est meilleure que la précédente. » (entretien avec Jean-Claude Mocquot)

« Quand j'ai visité des centres d'insémination artificielle au États-Unis et au Canada, on a discuté beaucoup et j'ai réalisé qu'ils comprenaient mal les valeurs génétiques. Notamment, en 1979-1980, ils avaient la base de comparaison de leurs taureaux par rapport à ceux de 1968. La valeur moyenne était celle de l'année 1968 ! Donc, ils comprenaient des choses totalement différemment. Si vous avez la base très ancienne, tous les taureaux paraîtront améliorateurs, vu qu'il y a le progrès génétique. Ils ont vendu de cette manière beaucoup de taureaux avec des valeurs positives, alors qu'en réalité elles étaient à zéro ou négatives. Et en Europe à l'époque, les gens ne comprenaient pas ça. Ils pensaient que les bases de comparaison étaient partout les mêmes, alors que non, elles étaient différentes dans différents pays. » (entretien avec Jan Philipsson)⁴⁰

Ce travail d'ouverture des boîtes noires visait dans un premier temps à rendre transparentes les différences dans la construction des valeurs génétiques. La mise en lumière de telles différences a donné lieu en 1977 à une publication dans la revue scientifique spécialisée *Livestock Production Science*. Des recommandations ont alors été faites aux organismes de sélection, d'insémination et d'évaluation pour harmoniser la définition des caractères ainsi que certaines méthodes de mesure et de calcul. Ces recommandations au caractère très peu directif, à en juger par le nombre de verbes au conditionnel et l'usage récurrent d'expressions du type « si possible », « quand cela est possible », etc. (Gaillard *et al.*, 1977, p. 126), s'assimilaient plutôt à un appel à la rigueur scientifique des spécialistes de la sélection bovine qu'à la mise en place d'instruments de régulation :

– « Il est *suggéré* d'utiliser *si possible* des méthodes se basant sur la résolution simultanée d'équations convenablement établies. »

- « Il est recommandé, *quand cela est possible*, d'utiliser la valeur génétique moyenne du dernier groupe de taureaux dont le contrôle de descendance est terminé. »
- « Les valeurs génétiques pour des caractères importants *ne devraient pas* être publiées si leur précision n'atteint pas 65 %. » (souligné par l'auteure)

Comme en témoigne Jean-Claude Mocquot, un des participants de ce groupe, « ces recommandations n'avaient aucun pouvoir, c'était juste un groupe de scientifiques, après les pays faisaient ce qu'ils voulaient. Mais le fait qu'il y ait un échange nous paraissait déjà une bonne chose pour tout le monde ». Le constat de différences notables dans les dispositifs d'évaluation, tenant en grande partie à des facteurs géoclimatiques plutôt que culturels et agroalimentaires et, de ce fait, difficilement normalisables, a convaincu les généticiens impliqués dans ce travail qu'il faudrait apprendre à composer avec cette diversité des valeurs génétiques circulant dans l'espace marchand globalisé. Dit autrement, il fallait trouver une solution pour établir des classements objectifs de produits ayant des valeurs construites différemment. Dans le langage de la statistique, cela signifiait rendre commensurables des valeurs génétiques faiblement corrélées.

L'institutionnalisation mondiale du problème de comparabilité des index génétiques

Le professeur Gravert a réussi à obtenir le soutien de la FIL, l'autorité internationale de l'industrie laitière, pour asseoir le problème de comparabilité des valeurs génétiques sur un socle politique bien reconnu. De nouveaux représentants des pays non européens tels que l'Australie, la Nouvelle-Zélande, le Canada et même les États-Unis ont également demandé à être intégrés dans le groupe de travail en apportant leur vision du problème. Selon les témoignages des acteurs impliqués, les divergences d'intérêts entre les exportateurs (les États-Unis et le Canada) et les importateurs (tous les autres pays) ont dans un premier temps été reléguées au second plan, car l'objectif du travail était avant tout technique et scientifique. Tout supplément d'information, surtout venant des leaders mondiaux en taille de population et en activité commerciale, était le bienvenu. Néanmoins, le leadership restait dans le camp des représentants des pays européens. Les scientifiques envoyés par les industriels des pays exportateurs ont adopté au début une posture d'observateurs plutôt passifs. « Mais tant qu'ils fournissaient les informations qu'on leur demandait, tout le monde était content », témoigne Jean-Claude Mocquot. Il n'y avait donc pas à ces débuts de conflits d'intérêts majeurs dans la communauté de chercheurs œuvrant à la construction d'une objectivité technoscientifique pour la sélection bovine mondialisée.

Le groupe a commencé à organiser des séminaires annuels en impliquant des professionnels des centres nationaux d'évaluation. La communauté s'est alors élargie non seulement en matière d'espace géographique couvert, mais également en matière de catégories d'acteurs impliqués, en devenant un forum international hybride. Ce dernier, d'une part, œuvrait à la production de la connaissance globale sur l'animal de rente, en utilisant les compétences des scientifiques et des professionnels et, d'autre part, avait plus de prises pour faire évoluer les systèmes nationaux de sélection bovine en fonction des connaissances produites. Les acteurs soulignent une forte participation et l'utilité de ces séminaires :

« C'étaient des échanges [de spécialistes] qui étaient en train de faire évoluer leurs méthodes. Ça servait à les faire converger. Et surtout, pour ceux qui faisaient évoluer leurs méthodes, c'était très utile de venir là et de discuter avec ceux qui avaient des problèmes analogues. Ils échangeaient entre eux, il y avait ces communications, c'était un succès fantastique ! » (entretien avec Jean-Claude Mocquot)

« J'ai remarqué que la participation et l'intérêt pour les réunions, où les scientifiques et les industriels faisaient part des avancées et des recommandations, ne cessaient d'augmenter. » (entretien avec Jan Philipsson)⁴¹

Bien que le groupe ait été dépourvu de pouvoir décisionnel officiel et direct, il ne faut pas sous-estimer son impact sur la structuration de l'espace international des circulations de la génétique. En témoigne la publication en 1981 des listes de références croisées des taureaux utilisés dans les différents pays qui, en systématisant l'utilisation des informations internationales, a pu contribuer à la résolution du problème d'identités multiples des taureaux. Les intérêts commerciaux des vrais propriétaires des taureaux dont la semence était utilisée à l'étranger ont pu ainsi être préservés.

Finalement, en 1983, les trois personnalités à la tête des trois organismes internationaux du secteur des productions animales, Patrick Cunningham de la FEZ, Hans-Otto Gravert de la FIL et Arne Roos d'ICAR, ont décidé de renforcer la légitimité de ce groupe en l'officialisant en tant que comité conjoint sous le nom d'Interbull. Des représentants par pays ou zone géographique ont été nommés pour former un comité de pilotage (*steering committee*) de sept membres fondateurs (leur nombre n'a presque pas changé depuis, bien que le nombre de pays impliqués ait presque triplé, pour passer de 12 dans les années 1980 à 34 dans les années 2000). Les représentants se sont répartis les zones de cette manière : France et Belgique ; Allemagne, Autriche et Suisse ; Pays-Bas et Royaume-Uni ; pays nordiques (Danemark, Suède et Finlande) ; Irlande ; Canada ; États-Unis. Plus tard, trois autres représentants se sont ajoutés à la liste : pour la zone de l'Europe du Sud

(Italie, Espagne et Portugal), pour la zone de l'Europe de l'Est (Pologne, Slovénie, Slovaquie, République tchèque) et pour la zone d'Océanie (Australie et Nouvelle-Zélande).

Le poste de secrétaire permanent a été créé et Jan Philipsson, professeur à l'université agricole d'Uppsala (SLU) en Suède, l'a occupé pendant plus de vingt ans. Il a également été décidé de publier un bulletin annuel pour y présenter les résultats des réunions. Ces dernières se sont d'ailleurs multipliées, face à la pression des industries nationales des pays importateurs, pour trouver des solutions méthodologiques permettant enfin de comparer les index des animaux et d'établir des classements fiables.

En 1988, la question de l'autonomie administrative et financière d'Interbull a été portée à l'attention des partenaires impliqués. L'ICAR, dont le cœur de métier était la standardisation des processus techniques et organisationnels dans les productions animales (contrôle laitier, identification), a proposé d'accueillir Interbull en son sein en tant que sous-comité permanent⁴² – une entité autonome dans sa prise de décisions stratégiques, avec son propre organe de pilotage. Alors à la tête du Département des productions animales (Animal Productions Division) de la FAO, Patrick Cunningham, considéré dorénavant comme le « père » d'Interbull, a obtenu le support politique et financier de cette organisation internationale de renom dans le domaine du savoir et du développement agricoles. Ce soutien était conditionné à l'objectif de développer un service d'évaluation génétique répondant au besoin de comparaison « objective » des valeurs des taureaux entre les pays. L'autonomie financière d'Interbull serait ainsi assurée par les cotisations des pays adhérant à ce service. Ces avancées institutionnelles ont procuré un statut officiel à la problématique de comparabilité des valeurs génétiques dans l'espace du commerce international de la génétique bovine. Les évolutions des méthodes d'évaluation étaient en même temps discutées et débattues dans les forums de discussion, organisés en moyenne deux fois par an.

L'Europe comme « fenêtre d'opportunité politique » pour promouvoir la diversité des valeurs génétiques

Dans mes discussions avec les généticiens impliqués dans le projet Interbull, j'ai pu noter à de nombreuses reprises qu'ils s'identifiaient en tant qu'Européens en s'opposant aux Américains (« C'était notre initiative européenne contre l'invasion américaine » ; « On était tous Européens » ; « C'est au moment de mon séjour aux Etats-Unis que j'ai compris que j'étais profondément européen »). Cela en dit beaucoup sur leur culture commune, portée par l'idée de la diversité dans la conception de l'espace européen.

Ce que le politiste américain John W. Kingdon (2014) appelle une « fenêtre d'opportunité politique » (*policy window*) est une occasion conjoncturelle pour faire avancer des idées, pour lancer un projet, pour mettre telle ou telle question à l'agenda politique. Dans la seconde moitié du xx^e siècle, en pleine construction de l'Europe communautaire, l'idée de l'unité dans la diversité ouvrait une telle fenêtre. Les vaches communautaires, dont les « vaches de la République »⁴³ française étaient des exemples parfaits, pouvaient porter cette idée. Les généticiens ont donc saisi cette opportunité pour défendre les intérêts des éleveurs et des sélectionneurs de leurs pays respectifs. Ils ont démontré que la problématique de la diversité des index est liée à celle d'une diversité plus générique : celle des systèmes de production, des traditions culturelles et alimentaires, ainsi que la diversité génétique des animaux. Ils se sont engagés dans un travail commun au sein de leur communauté épistémique pour trouver un moyen de continuer à faire coexister les différents agencements nationaux de la sélection bovine. À l'intérieur du même standard de race, on pouvait ainsi imaginer toute une diversité de valeurs reflétant celle des milieux dans lesquels ce standard était appliqué. Cela apparaissait d'autant plus nécessaire aux généticiens qu'il s'agissait de populations d'organismes biologiques dont la survie à terme était garantie par la variabilité génétique. En génétique, cet enjeu est considéré comme crucial pour la pérennité de la sélection.

Nous constatons tout au long de l'histoire d'Interbull, devenu *in fine* une institution internationale, que les valeurs identitaires européennes sont toujours bien présentes, ce que confirment entre autres des financements conséquents de la part de l'Union européenne. En 2016, le généticien australien et expert international Michael E. Goddard m'a confié avec une certaine dose d'ironie : « Interbull est toujours dominé par ces vieux pays européens qui ont tous leurs propres systèmes d'évaluation génétique et qui veulent les comparer entre eux. » Les déplacements du curseur des priorités politiques entre la « diversité » et l'« unité » sont d'ailleurs corrélés aux logiques en compétition dans la sélection bovine européenne : logique scientifique et logique marchande. C'est par les scientifiques que la pluralité des valeurs génétiques des races globalisées a été maintenue, malgré les tendances globalisantes du marché de la génétique bovine. Mais plus tard, la même conjoncture de l'Union européenne ouvrira une autre fenêtre d'opportunité politique aux producteurs de semence bovine réunis dans le consortium EuroGenomics pour promouvoir « l'unité » (plutôt que la « diversité ») dans l'évaluation génétique bovine.

Chapitre 5

Le « centre de calcul ». Opérer la commensuration au nom de la diversité

Bruno Latour en 1985 a commencé à conceptualiser les « centres de calcul » comme lieux de concentration du pouvoir des réseaux sociotechniques (Latour, 2006). Ce concept, qui a occupé par la suite une place importante dans ses travaux et plus largement dans les *science and technology studies*, ne s'applique pas uniquement aux infrastructures où on effectue des calculs proprement dits, mais à tout lieu de concentration de l'information, comme des laboratoires de recherche, des bibliothèques ou des centres des impôts. « La nature des calculs importe moins que leur présence simultanée en un lieu devenu centre », insiste l'auteur. Pour le cas d'Interbull, c'est bien de calcul qu'il s'agit, mais pas seulement. Tout un réseau informationnel mondial de la sélection bovine se trouve impliqué dans le projet technopolitique de la *commensuration* des valeurs génétiques des taureaux reproducteurs. Il s'agissait en effet sur le fond d'établir une nouvelle convention d'équivalence entre les systèmes nationaux d'évaluation. Mais le projet faisait face à une contrainte majeure : l'impossibilité de partager les données de base de toute évaluation génétique – les phénotypes provenant du contrôle des performances des animaux en production –, considérées par les pays comme stratégiques et relevant de ce fait du secret commercial. Il fallait alors trouver une solution technique au problème politique : « transformer les différences en ordre de grandeur » (Espeland et Stevens, 1998, p. 316) afin de « comparer l'incomparable » (Desrosières, 2014, p. 164).

Les premières solutions : des formules de conversion

Le premier *Interbull Bulletin*, paru en 1986 sous le titre « Procedures for international comparisons of dairy sires – current practice and evaluation methods »

(Procédures pour la comparaison internationale des taureaux laitiers – pratiques actuelles et méthodes d'évaluation), présente le bilan de la décennie écoulée et discute les avancées dans la résolution du problème de la comparabilité des valeurs génétiques au niveau international. Il y est constaté notamment que les recommandations données dans la première publication du groupe de travail en 1977 (Gaillard *et al.*, 1977) n'ont pas mené à l'homogénéisation des méthodes entre les pays. Des différences considérables persistent dans les mesures de production (kilogrammes, livres, litres, lactation calculée en 300, 305 jours ou à l'année, etc.), dans les coefficients de précision des évaluations et surtout dans les « bases de comparaison » (fixe ou mobile).

Face à l'urgence (soulignée une fois de plus) de trouver des solutions, de premières propositions méthodologiques ont été présentées et analysées. La convertibilité des valeurs génétiques entre les différents pays, à l'exemple des devises monétaires, s'est présentée en effet comme la solution la plus évidente. Les échanges entre les chercheurs et les professionnels de l'évaluation, qui travaillaient chacun de leur côté sur l'évolution des méthodes de calcul au sein des organismes nationaux de recherche, ont finalement abouti à une formule de conversion type fondée sur des méthodes statistiques de régression. Si un éleveur ou un sélectionneur dans un pays voulait acquérir un taureau ou sa semence dans un autre pays, il suffisait qu'il applique la formule

$$\text{Index pays B} = \text{constante } a + \text{coefficient } b \times \text{Index pays A}$$

pour connaître la valeur de ce taureau dans son pays d'accueil. Les composantes « constante a » et « coefficient b » étaient publiées et régulièrement mises à jour par des organisations professionnelles nationales agréées. Les utilisateurs trouvaient ces informations dans les sources professionnelles, comme les publications de l'Idede en France.

La pratique des conversions a rencontré un grand succès parmi les professionnels de l'évaluation génétique. Les années 1980 sont qualifiées par les acteurs de « vraie époque de conversions ».

Les inconvénients de la méthode de conversion étaient néanmoins nombreux. Elle ne permettait d'effectuer les opérations qu'en bilatéral, ce qui démultipliait les calculs compte tenu de la densification des échanges génétiques entre les pays. Les composantes de la formule devaient être calculées au cas par cas par les généticiens quantitatifs professionnels, supposés être en possession de toutes les informations nécessaires et actualisées en provenance des pays concernés. La *constante a* ainsi que le *coefficient b* devaient être recalculés à chaque fois que la procédure d'évaluation nationale changeait de « base de comparaison », c'est-à-dire une fois par an au minimum dans le cas de l'utilisation d'une base dite « mobile ». Les facteurs différaient également en fonction du pays, importateur ou exportateur, qui effectuait le calcul.

« Il s'est avéré que si vous vouliez le faire systématiquement, vous auriez des centaines de milliers de formules de conversion. Ce n'était pas pratique, car il fallait en plus recalculer ces formules dès qu'un pays changeait de base d'évaluation. » (entretien avec Jan Philipsson)⁴⁴

« C'était d'une complexité ! Tout le monde faisait de la régression dans tous les sens. Il fallait en faire une dans un sens et une dans l'autre sens, car pour les pays "holsteinisés", il y avait des échanges dans tous les sens. Donc pour chaque caractère, il y avait deux formules pour chaque pays qui devaient être adaptées au moins une fois par an, pas toujours à la même époque. » (entretien avec Jean-Claude Mocquot)

Un autre acteur de cette époque appuie : « C'était très lourd. Ce n'était pas une analyse complexe, mais c'était quand même peu pratique de faire ça. [...] Les éleveurs ne comprenaient pas vraiment non plus. Et en plus, ça dépendait beaucoup d'une personne, comme à l'Inra, en France, pour faire ces calculs. »

Ainsi, la conversion comme moyen de rendre les valeurs génétiques comparables entre les pays s'est révélée en pratique une tâche difficilement gérable à grande échelle, malgré l'évidence et la simplicité apparentes de la solution. Les formules de conversion sont toujours publiées aujourd'hui par chaque pays membre d'Interbull afin de permettre aux éleveurs et aux organismes de sélection d'effectuer par eux-mêmes des opérations de « traduction » au cas par cas, comme par exemple quand le taureau évalué n'a pas de filles à l'étranger. En Afrique du Sud, comme nous le verrons plus loin, les méthodes locales d'évaluation génomique sont « bricolées » notamment à partir des formules de conversion.

Mais le défaut principal de cette méthode pointé par les généticiens est celui d'une faible précision d'évaluation, due au fait que les conversions ne tiennent aucunement compte des différences d'échelles d'évaluation exprimées en langage statistique par des corrélations basses.

Saisir la diversité dans son ensemble : le modèle MACE comme outil de commensuration

La complexité de mise en pratique et le manque de précision de la méthode de conversion représentaient un défi à relever pour les généticiens. Comment simplifier la procédure en traitant ensemble les données de tous les pays ? Comment mettre les pays d'accord sur l'homogénéisation de certaines procédures d'évaluation ? Comment intégrer l'estimation des corrélations dans les calculs internationaux ?

Rappelons-nous ici que, dans la génétique quantitative, les faibles corrélations entre les valeurs génétiques sont révélatrices de l'effet d'interactions

génotype-milieu. Cela implique donc une notion du milieu qu'il convient de définir pour estimer quantitativement son effet sur la valeur génétique de l'animal, pour la corriger et construire ainsi les classements objectifs pour différents environnements. Les généticiens ont identifié une possible solution à leur problème dans les travaux sur l'interaction génotype-milieu, notamment ceux du généticien américain J. W. James (1961), qui a développé des outils méthodologiques de calcul adaptés à la situation où « seulement une ou quelques populations fortement améliorées seraient amenées à être utilisées dans des environnements différents » (p. 145). L'idéal scientifique exigeait de distinguer la « vraie » interaction au niveau biologique de l'interaction prise dans le sens plus large, plus « social », c'est-à-dire liée à l'effet de l'environnement sur la valeur génétique qu'on donnait à l'animal dans un contexte donné. Dans le premier cas, selon la méthode de James, il aurait fallu avoir accès aux données de phénotypes des animaux évalués. Mais ce prérequis était impossible à concilier avec le secret commercial des pays. Et les recherches sur la « vraie » interaction génotype-milieu biologique n'étaient pas encore bien développées dans le domaine animal. Il a donc été jugé pertinent et tout à fait acceptable de gérer les corrélations entre les valeurs génétiques en estimant l'effet d'interaction génotype-milieu dans lequel le milieu est défini comme le pays avec ses particularités liées aux systèmes nationaux de sélection et d'évaluation. Un responsable d'Interbull rapporte :

« Tous les pays ont convenu que si nous pouvions corréler les évaluations génétiques entre les pays et obtenir une estimation de cette corrélation, cela refléterait l'interaction entre le génotype et l'environnement, l'environnement étant défini comme le pays. Et cela pourrait être la méthodologie la plus appropriée à utiliser dans le service Interbull. »⁴⁵

Le professeur Larry Schaeffer, avec son équipe de l'université de Guelph au Canada, s'occupait principalement de l'élaboration d'un tel modèle de calcul. Il utilisait la méthode statistique du BLUP (voir chapitre 2) en l'adaptant au contexte « global » (SuperBLUP), ce qui exigeait, comme je l'ai mentionné plus haut, une certaine homogénéisation des méthodes d'évaluation entre les pays. Les échanges intensifs entre généticiens et professionnels de l'évaluation dans les forums internationaux ont fini par conduire à une acceptation normative de la méthode BLUP au sein de la communauté des généticiens quantitatifs impliqués dans les évaluations bovines. Un consensus entre les centres de calcul nationaux sur l'adoption de la « base de comparaison » mobile (c'est-à-dire pour laquelle la moyenne évolue tous les ans avec le progrès génétique des troupeaux) a été également plus ou moins trouvé. Au début des années 1990, le modèle d'analyse statistique MACE (Multi-Trait Across Country Evaluation) était prêt à être testé au niveau international.

Un employé du Réseau laitier canadien (CDN, pour Canadian Dairy Network)⁴⁶ et représentant canadien à Interbull témoigne de ce passage des formules de conversion au modèle MACE :

« Moi, j'étais ici au Canada un employé du centre d'insémination le plus important du pays. J'étais dans cet organisme depuis 1986 et donc j'étais très au courant des formules de conversion, de la manière dont on faisait les calculs. Et de fait j'ai calculé ces formules de conversion pour le Canada. Et lorsque Dr Schaeffer a développé MACE, on était très intéressés et on a commencé à utiliser cette approche-là et on a développé le logiciel, une approche informatique pour faire ces calculs-là. Et puis Larry Schaeffer a présenté ça dans un forum d'Interbull. Et là, on a dit : "On peut vous offrir ce modèle et ce logiciel MACE gratuitement pour qu'Interbull puisse l'utiliser pour calculer les évaluations au niveau international." On l'a testé entre quelques pays. On a commencé seulement entre les USA et le Canada et on a impliqué d'autres pays d'Europe aussi. »

L'étude pilote a été financée par l'organisation européenne d'agriculteurs Copa-Cogeca⁴⁷, ce qui était pour l'équipe d'Interbull une vraie reconnaissance de la pertinence du travail accompli (Philipsson, 2005). C'était également un témoignage de cette pertinence pour la culture identitaire européenne. En effet, le Copa-Cogeca, dont les entités ont été créées avec la politique agricole commune, veille au respect des « intérêts spécifiques et généraux »⁴⁸ des agriculteurs et des coopératives agricoles, toujours selon l'idée de l'union dans la diversité.

En tant que modèle linéaire, le MACE se présente comme suit :

$$Y = c + g + s + e$$

où Y = valeur génétique nationale dé-régressée ; c = effet du pays d'évaluation ; g = effet du groupe génétique du taureau (population et année de naissance) ; s = effet génétique du taureau (relation entre taureaux dans tous les pays participants) ; e = résiduelle. Ainsi, c + g + s représente la valeur internationale estimée du taureau.

L'effet du pays (c) renvoie justement à l'effet d'interaction génotype-milieu, où le milieu est défini comme système national de sélection pour une race donnée. Scientifiquement, comme nous l'avons vu au chapitre 2, les modèles se basent sur des hypothèses et des approximations caractéristiques de toute méthode statistique. Comme me l'a confié Peter Sullivan, généticien canadien impliqué dans la création de modèles pour Interbull, « on a mis autant de mathématiques qu'on a pu pour rendre les choses comparables, mais il y a toujours des choses que les mathématiques ne peuvent jamais prendre en compte ». Selon l'expression de João Dürr, généticien lui aussi et ancien directeur d'Interbull Centre, « on est obligé d'appliquer une "fenêtre de crédibilité biologique" ». Cette « fenêtre de crédibilité biologique », qui exprime une marge d'erreur scientifiquement acceptable lorsqu'il s'agit de quantifier les organismes vivants,

s'élargit, comme nous allons le voir plus loin, aux critères de crédibilité politique, mais aussi économique.

Le modèle a permis de contourner le problème politique de l'impossibilité de partager des données de phénotypes en employant la méthode statistique dite de « dé-régression ». Elle indique que le résultat final d'un calcul (index génétique, ou EBV) impliquant initialement plusieurs « ingrédients » peut être mathématiquement déconstruit pour obtenir un « aperçu » de ses composantes de base. La convention d'équivalence impossible à obtenir socialement et politiquement semblait pouvoir l'être mathématiquement à l'aide de telles méthodes statistiques.

Le modèle MACE était donc presque prêt à servir pour résoudre le problème de comparabilité des valeurs génétiques des taureaux participant aux échanges marchands globalisés. Les index commensurés pouvaient être classés de manière plus objective pour définir la qualité des produits en fonction de leurs valeurs dans chaque pays (figure 15).

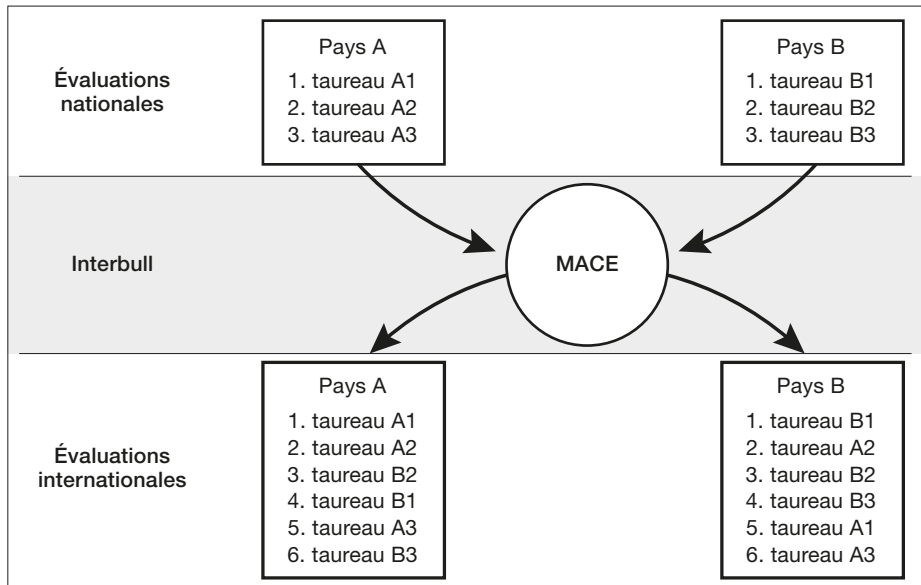


Figure 15. Différenciation des classements des taureaux reproducteurs des pays A et B avec les évaluations internationales. Source : Interbull.

Mais avant que ce standard d'évaluation international ne soit opérationnel, il était nécessaire que la légitimité de MACE soit reconnue par tous les acteurs. Notamment, les acteurs économiques, jusqu'alors formellement exclus des discussions scientifiques et techniques et pourtant acteurs clés sur le marché de la génétique et donc destinataires finaux du service de commensuration, devaient se l'approprier. Il fallait également décider de qui effectuerait les calculs et dans quelles conditions techniques.

Le MACE à la table des négociations

« Il y a donc bien plus qu'une "interaction génotype-milieu". C'est en effet la principale justification scientifique de MACE. Mais nous avons beaucoup de différences dans les définitions des traits, des différences dans les modèles, dans les unités. Tout cela est en quelque sorte résolu par le fait que cette corrélation internationale entre pays constitue la base de MACE. C'est une opportunité pour d'autres populations que les populations dominantes d'avoir un meilleur accès à l'information et aussi d'avoir un moyen objectif de comparer les évaluations génétiques effectuées dans chaque pays. » (entretien avec João Dürr, directeur du Council on Dairy Cattle Breeding [CDCB] et ancien directeur du centre de calcul d'Interbull)⁴⁹

Les avantages technopolitiques de l'outil sont notables :

- il permet de prendre en compte les informations au niveau multilatéral (et pas seulement bilatéral, comme c'était le cas pour les formules de conversion) ;
- il n'exige pas de la part des pays le partage des données brutes des phénotypes de leurs taureaux, qu'ils ne souhaitent pas rendre accessibles à toute la communauté ;
- il différencie les classements des taureaux en fonction de leur « vrai » potentiel génétique dans chaque pays et peut ainsi favoriser un commerce international « juste » ;
- ce processus de standardisation consolide le réseau d'acteurs professionnels aussi bien des pays importateurs qui ont initié le projet que des pays exportateurs qui « préfèrent être dedans que dehors » (entretien avec Marjorie Faust, représentante, au moment de l'enquête, de l'industrie américaine au Comité de pilotage d'Interbull).

Néanmoins, la mise en place opérationnelle de cette méthode était loin d'être acquise. Des négociations très intenses ont continué pendant plusieurs années, et même après le lancement du MACE en 1994, pour convenir des formalités, des règles et des normes qui rendraient opérationnelle l'évaluation internationale, et qui devraient par la suite être codifiées dans les documents juridiques lorsque le service serait officiellement lancé avec la création du centre de calcul. Étant donné que tout au long du travail sur le problème de comparaison des valeurs génétiques entre les pays, les généticiens avaient tout fait pour s'affranchir de l'influence du marché sur un travail qu'ils considéraient relever de l'objectivité technoscientifique, le temps était venu d'en négocier « l'acceptabilité »⁵⁰ avec les acteurs économiques qui produisaient et commercialisaient le progrès génétique. Implicitement, il s'agissait des acteurs de l'industrie américaine, leaders sur le marché mondial. Plusieurs points de désaccord avaient été relevés par les acteurs interviewés. L'un d'eux portait sur la pertinence de différencier les valeurs génétiques entre les pays en tenant compte de l'interaction génotype-milieu.

« La grosse polémique concernait l'existence et l'importance des interactions génotype-milieu, et la nécessité d'en tenir compte dans les évaluations génétiques. C'était la position des scientifiques et d'Interbull. Et la position des commerciaux, c'était de dire que "c'était trop compliqué" et que "si on voulait s'en sortir, on n'avait qu'à se dire que c'était le même milieu partout et comme ça on aura le même classement de tous les taureaux dans tous les pays, et donc comme ça celui qui aura le meilleur taureau, vendra de sa semence partout". Les Américains et les Canadiens se sont beaucoup battus là-dessus, mais on a tenu bon. » (entretien avec Jean-Claude Mocquot)

« Les principales différences sont d'ordre socio-économique. Les différences biologiques ne sont pas très importantes. Ce n'est que lorsque vous appliquez des critères sociaux et économiques différents que les valeurs deviennent significativement différentes. Les États-Unis sont un grand pays avec une évaluation nationale unique, il n'y a pas beaucoup de raisons de mettre les choses sur des bases différentes. » (entretien avec deux représentants de l'industrie bovine américaine)⁵¹

Cette polémique révèle des différences entre une logique scientifique qui insiste sur la nature biologique des produits commercialisés, et une logique commerciale dont l'objectivité relève du registre économique. Même s'ils admettent une certaine pertinence à comparer les valeurs entre les pays (« comme en Europe »), les industriels américains, en tant que grands producteurs et exportateurs de la semence Holstein, sont favorables au principe d'unicité du milieu permettant un même classement des valeurs pour favoriser le commerce. Les acteurs européens, quant à eux, soulignaient souvent la différence d'attitude selon les pays lors des négociations au sein du Comité de pilotage d'Interbull :

« Suivant la structure des pays, on s'est rendu compte que parfois "l'industrie" (au sens anglo-saxon du terme), pour défendre ses intérêts commerciaux, pilotait les évaluations génétiques tandis que d'autres confiaient cette fonction aux instances scientifiques indépendantes. Dans les pays comme les États-Unis ou même le Canada, c'était l'industrie et les commerciaux qui poussaient leurs scientifiques à proposer des solutions qui les arrangeaient. Nous [l'Idèle et l'Inra] on était perçus comme les gens qui donnaient toujours raison à la technique et aux constats scientifiques. On a eu des "bagarres". » (entretien avec Jean-Claude Mocquot)

« De nombreuses entreprises d'insémination artificielle aux États-Unis voulaient vendre de la semence en Europe et pensaient qu'elles pourraient avoir un meilleur marché si elles n'avaient pas Interbull. Interbull était donc considéré comme un obstacle sur le marché de la semence. Mais nous voulions produire des valeurs correctes d'une manière objective et sans but lucratif. » (entretien avec Jan Philipsson)⁵²

Dans la poursuite de désaccords entre la logique scientifique mise en avant par les pays européens et celle plutôt commerciale promue par les États nord-américains, les chercheurs français de l'Inra et de l'Idèle se sont rendu compte que les index

des taureaux nord-américains sortaient d'une manière trop régulière en tête des classements ou, pour le dire dans le langage des professionnels de l'évaluation, étaient « biaisés ». Ils ont alors mis en place des tests de validation du progrès génétique. Ces tests ont été adoptés par Interbull, et chaque pays, avant d'être autorisé à participer aux évaluations internationales, devait s'y soumettre pour vérifier que les évaluations nationales ne surestimaient ou ne sous-estimaient pas le progrès génétique de leurs taureaux. La mise en place de ces tests a pris du temps et a suscité des débats aussi bien techniques que politiques lors des réunions de travail d'Interbull.

« On a eu une période assez chaude au milieu des années 90. On a dit qu'on ne pouvait pas développer les évaluations internationales tant que tout le monde n'avait pas fait le ménage chez soi et n'avait pas prouvé que la méthode qu'il appliquait dans son pays n'allait pas entraver le résultat des évaluations internationales. Le problème c'est que nous devons mettre en place une méthode qui permette de valider les données des évaluations nationales. Ce qui n'est pas facile car quand on est à l'extérieur, on ne possède pas les données de ces pays. Il fallait qu'on trouve une méthode applicable par un organisme neutre. Ça a pris du temps. On a réussi à mettre en place un panel de méthodes qu'Interbull utilise maintenant en standard au niveau des évaluations. »
(entretien avec Sophie Mattalia)

Cette mise en conformité des données nationales qui servaient de données d'entrée à l'évaluation MACE modifiait en profondeur tous les systèmes nationaux de sélection. La commensurabilité des résultats dépendait en effet de toute la chaîne de construction de ces résultats. Rappelons-nous la mise en garde de Desrosières (2014) à ce sujet : ne prêter attention qu'au résultat calculé, c'est courir le risque d'oublier l'importance de tout le processus de quantification.

« J'ai donc beaucoup travaillé avec différents pays sur le côté fiabilité, validation. On s'est rendu compte [...] que c'était bien beau d'avoir des méthodes pour combiner des évaluations au niveau international, mais que si à la base les résultats des évaluations n'étaient pas fiables ou surestimés ou sous-estimés pour certaines catégories de taureaux, ça allait avoir des répercussions au niveau des comparaisons internationales sur les résultats qu'on pourrait avoir dans différentes unités. Si vous utilisez de mauvais ingrédients pour faire la cuisine, au bout vous risquez d'avoir quelques surprises. »
(entretien avec Sophie Mattalia)

Un autre sujet de négociation s'est révélé extrêmement compliqué malgré son importance en apparence secondaire par rapport à tous les problèmes techniques et méthodologiques auxquels les généticiens ont fait face en deux décennies de travail. Il fallait décider du nombre et des dates des évaluations pour leur mise en place en tant que service.

« C'était surtout sur les dates de calculs. On fait des calculs quatre fois par an. Mais il y a l'hémisphère nord et l'hémisphère sud dans Interbull. Et les zones et donc les périodes de reproduction sont décalées de six mois. Et puis il y a les périodes de congés : nous, on ne voulait pas les faire en été, dans l'hémisphère sud ils n'ont rien à faire de l'été, etc. Et donc pour trouver la bonne date de calcul, ce n'était pas facile. C'est là qu'on s'est le plus bagarré en gros [rires]. Et là, il faut trouver des alliés, avec les pays qui ne sont pas trop concernés par les enjeux commerciaux. On a toujours trouvé des compromis. Mais c'est ce qui a duré le plus longtemps avec des discussions, des interruptions de séance, des discussions de couloirs, etc. Parce que les gens qui sont dans le comité, ils sont souvent sous influence de l'industrie. [...] Alors là, souvent on doit interrompre nos séances, parce que les gens veulent reconsulter leur "industrie" sur un compromis. [...] Il y a eu aussi des discussions sur le nombre d'évaluations. Cela coûte plus cher d'en faire quatre que deux par an. Nous, en Europe et en Amérique, on a l'habitude d'en faire quatre, c'est plus utile pour notre industrie. Et Interbull ne peut pas en faire deux pour l'Australie et la Nouvelle-Zélande et quatre pour les autres. Donc des grandes questions : quand et combien de fois. Parce qu'en plus, à chaque fois il faut faire des tests, envoyer des résultats de tests. C'est lourd pour les gens impliqués nationalement. » (entretien avec Jean-Claude Mocquot)

Malgré tous les avantages, l'acceptation du modèle mathématique MACE en tant qu'outil de commensuration a nécessité moult tours de négociations, notamment avec les acteurs économiques. Si les généticiens tenaient les rênes dans ces négociations, s'ils étaient reconnus et soutenus par des organisations internationales de renom (FAO, FIL, FEZ, ICAR) et s'ils se savaient légitimes et forts face au « marché », c'est qu'à cette époque (années 1970-1990) ils détenaient encore un rôle puissant dans l'organisation des agencements bovins nationaux.

C'étaient eux qui disposaient des « centres de calcul », qui selon Bruno Latour (2006) cristallisent le pouvoir des réseaux. Les producteurs de semences qui n'avaient pas encore internalisé les moyens techniques de l'évaluation génétique étaient donc tributaires des centres de calcul adossés aux organismes de recherche publics. Ces derniers, dans la plupart des cas, étaient également responsables de la gestion des bases de données nationales. Les dispositifs informationnels et calculatoires sont en effet nécessaires au marché pour pacifier et qualifier les produits destinés à la commercialisation.

Cette situation allait progressivement changer au profit d'une prise de pouvoir progressive des entreprises industrielles sur les centres de calcul (voir chapitre 6). Mais dans les dernières décennies du xx^e siècle, les généticiens pouvaient encore « imposer » leur vision d'ordre technoscientifique sur le marché de la sélection bovine, alors en pleine globalisation. Il leur fallait donc un tel centre de calcul pour asseoir leur pouvoir de régulation du marché également au niveau supranational.

L'emplacement du centre de calcul : un choix « calculé »

Le choix de l'emplacement du centre de calcul était une affaire aussi bien technique que politique. Plusieurs pays avaient les compétences nécessaires et se sont portés volontaires pour le construire. Un appel officiel à candidatures a été lancé. Aux côtés des critères techniques comme l'infrastructure, l'équipement de calcul, la capacité de stockage de données, etc., demeurait un critère de nature plutôt politico-économique : le pays qui allait accueillir le centre de calcul ne devait pas peser lourd dans le commerce international de la génétique Holstein. C'est la Suède qui fut sélectionnée.

« Beaucoup de pays d'Europe, une fois qu'ils étaient holsteinisés, avaient des ambitions de vendre sur le marché mondial et faire concurrence aux Américains et Canadiens. Alors, que la Suède, bon, ils avaient de la Holstein, mais ce n'était pas vraiment pour vendre à l'extérieur. » (entretien avec Jean-Claude Mocquot)

« Il y a eu une compétition avec un certain nombre d'autres pays qui se sont portés candidats pour avoir ce centre. Mais la Suède est un petit pays qui n'a pas de relations d'affaires avec de nombreux pays [dans le domaine de la génétique bovine], et elle peut être considérée comme neutre, je pense. C'était une partie importante de l'accord. » (entretien avec Jan Philipsson)⁵³

Ces témoignages montrent de nouveau une volonté affirmée des généticiens impliqués dans le projet Interbull de tracer une ligne de démarcation entre la science et le business, entre l'objectivité et la partialité, entre l'« intérêt général » et les « intérêts privés » (selon les verbatims souvent utilisés), le tout inscrit dans l'opposition entre les imaginaires culturels européen et américain.

C'était aussi l'affaire d'une communauté de chercheurs unie par des convictions politiques et épistémiques communes, par des années de travail côte-à-côte, par des engagements professionnels et par des relations personnelles. Soudés entre eux et intégrés dans des cercles professionnels plus larges, les membres de cette communauté ont tissé un réseau de relations stratégiques dans le monde professionnel au-delà de la filière de la sélection animale et au-delà des frontières nationales. Avec le soutien de la FAO et de l'organisation syndicale des producteurs européens, le secrétaire permanent d'Interbull, Jan Philipsson, professeur à la SLU à Uppsala en Suède, convainc alors le recteur de son université ainsi que la Fédération suédoise des producteurs laitiers de s'engager sur le financement du centre de calcul pendant cinq ans, un argument supplémentaire en faveur de la candidature suédoise. De plus, l'adresse du secrétariat d'Interbull est déjà à la SLU. « Tout le monde était content de ne pas devoir la changer », témoigne Jan Philipsson. Ce généticien a d'ailleurs joué un rôle de premier plan à ce moment-là, et des protagonistes de l'époque le présentent comme celui qui a su fédérer les positions de tout le monde dans un consensus technopolitique.

« C'est en grande partie grâce aux efforts du secrétaire d'Interbull, à ce moment-là, qui était le professeur Jan Philipsson. Tous les pays ont donc décidé qu'Uppsala accueillerait le centre et que le mandat du centre serait de développer un service basé sur toutes sortes de technologies qui avaient été développées au Canada, aux Pays-Bas, en Australie, ailleurs. Combiner toutes ces technologies en un service qui serait mis à la disposition de tous les membres d'Interbull. »⁵⁴

Il ne faut surtout pas oublier l'aspect symbolique des choses, même dans cette affaire de calcul. « La Suède est le pays de la classification et du classement, c'est ce qu'on lui doit : Anders Celsius et la mesure de la température, Carl von Linné et la première nomenclature botanique, Alfred Nobel et son classement des grands hommes de la planète. Le pouvoir est là », écrivait Jean-Claude Flamant (2005), zootechnicien et généticien français, à son retour du congrès Interbull-FEZ à Uppsala en 2005. L'esprit de cette ville, scientifique et universitaire par une très ancienne tradition, s'inscrit aussi dans sa devise qui fait une allusion très claire à la culture de l'objectivité : « Grande est la pensée libre, plus grande est la pensée juste. » Symboliquement, l'outil de calcul qui visait à produire un monde « juste » en donnant la possibilité de comparer objectivement les valeurs génétiques des taureaux sur le marché international semblait donc avoir sa place dans ce pays revendiquant les valeurs politiques de neutralité, d'universalisme et de multilatéralisme dans le paysage géopolitique mondial.

L'argument de neutralité associé à l'objectivité scientifique resurgit quelques années plus tard dans la construction de l'espace commun traversé par des tensions techniques, économiques, politiques et biologiques. Le positionnement neutre de la Suède sur le marché mondial de la génétique bovine est remis en question à travers deux événements liés à l'ancrage européen d'Interbull. Il s'agit, d'une part, de l'entrée de la Suède dans la Communauté européenne en 1995 et, d'autre part, du mandat du Laboratoire européen de référence que la Commission européenne a accordé en 1996 à Interbull Centre. Ce deuxième événement s'assortit d'une allocation de fonds européens (20 000 euros la première année, augmentée les années suivantes). À la fin de 1997, le président de HAUSA adresse une lettre au Comité de pilotage d'Interbull en étayant un argument en faveur de la création d'un second centre de calcul aux États-Unis pour contrebalancer la situation de domination européenne.

« Même si nous aimerions croire que les évaluations internationales ne devraient pas être politiques, elles le sont. [...] Tant que des industries nationales sont impliquées dans différents pays, il est impossible d'éliminer la partie politique de la discussion. D'un point de vue européen, la Suède est un pays neutre et elle l'était probablement pour les États-Unis au début d'Interbull en raison de son petit programme d'élevage. Depuis que la Suède a rejoint la Communauté européenne, cette neutralité a fait l'objet d'un examen approfondi de l'extérieur. La Suède ne représente plus la Suède seule, mais

la Communauté européenne dans son ensemble, avec tous les programmes d'élevage européens concernés. » (extrait d'un document d'archive)⁵⁵

Relayée par les membres du Comité de pilotage d'Interbull, cette lettre a créé tout un débat au-delà du comité et de la communauté Interbull *stricto sensu* quant à la revendication d'un deuxième centre de calcul états-unien. Elle est arrivée au moment où il était question d'élargir la gamme de caractères de production laitière évalués au niveau international aux caractères morphologiques. Interbull Centre devait augmenter ses capacités de traitement de données et donc recruter plus de personnel. Cette fenêtre d'opportunité a été utilisée par les partenaires américains pour proposer leurs services en la matière. Après moult négociations aussi bien au sein du Comité de pilotage qu'avec les partenaires nationaux, un contrat de trois ans a finalement été signé au début de 1998 entre Interbull et l'USDA pour calculer les évaluations internationales sur les caractères morphologiques. Le contrat arrivé à son terme, toutes les opérations techniques de calcul ont été regroupées à Interbull Centre à Uppsala, qui a eu le temps d'adapter ses moyens à la charge de travail envisagée.

Dans cette tension, les jeux de domination politique entre deux « clans » – européen et américain – font apparaître les enjeux de compétition économique à travers l'appropriation du standard de race. Que le calcul de la valeur « morphologique » de la race Holstein (= la conformité au standard) soit effectué à l'endroit où le standard a été produit et par les acteurs qui le garantissent a inévitablement une signification symbolique pour HAUSA. Cette revendication passe par l'intermédiaire d'arguments « objectifs » comme la neutralité des évaluations, l'optimisation financière de dépenses liées aux calculs, la disponibilité du personnel compétent, etc. Et sa signification politique se lit entre les lignes.

Un forum hybride international et interprofessionnel

La première évaluation officielle a eu lieu en 1995 dans le centre suédois fraîchement inauguré. En amont, son premier directeur a été recruté : Georgios Banos, un généticien d'origine grecque ayant travaillé dans l'équipe de Larry Schaeffer à l'université de Guelph au Canada, donc très familier de l'outil MACE. Employé par la SLU, il a fait en sorte que les documents nécessaires au fonctionnement du service d'évaluation soient mis en place pour le début de l'activité de service. Il s'agissait de deux documents principaux qui définissaient la place d'Interbull Centre parmi les autres acteurs.

Le premier, les « Terms of Reference » – le document statutaire d'Interbull en tant que sous-comité d'ICAR –, devait être adapté pour une nouvelle entité opérationnelle : le centre de calcul. Il inscrivait donc Interbull Centre et ses

missions dans l'organisation interne d'Interbull parmi ses différentes instances techniques, scientifiques, politiques et économiques.

Interbull est le sous-comité permanent d'ICAR parmi trois autres sous-comités promouvant le « standard global » pour les industries animales en matière d'identification, de mesures de performances, de contrôle laitier et d'évaluations génétiques. Interbull a un positionnement historique à part dans cette organisation, car c'est le seul sous-comité officiellement mandaté pour fournir un service bien précis aux « usagers » (les membres d'ICAR et les organisations associées) : celui de « comparaison internationale » de valeurs génétiques. Ce service est réalisé au nom d'Interbull par son « unité opérationnelle » – Interbull Centre. À ce propos, un accord complémentaire déléguant la réalisation du service est signé entre ICAR et la SLU.

Le Comité de pilotage d'Interbull (ISC, pour Interbull Steering Committee) est l'héritier direct de la communauté épistémique formée dans les années 1970 par quelques jeunes chercheurs. Il est composé de 9 membres délégués par les pays adhérents et nommés par le Comité de pilotage d'ICAR. Depuis la création d'Interbull, le nombre de membres du Comité de pilotage n'a pas beaucoup évolué, contrairement au nombre des pays membres, qui a plus que triplé pour passer de 9 à 34. C'est un point de critique qu'Interbull reçoit très régulièrement de la part des pays non ou peu représentés. Néanmoins, l'ISC conserve un nombre restreint de membres pour faciliter la décision qui se prend traditionnellement à l'unanimité ou, comme aiment à le rappeler ses membres, par « consensus ». Ce n'est pas pour autant le lieu de consensus *a priori*. C'est une arène fermée, avec des débats stratégiques sur des questions de gouvernance internationale de la sélection bovine. Tous les représentants sont employés et délégués par leurs organismes nationaux de recherche ou d'évaluation génétique. Ils portent donc les intérêts politiques de leur pays, les intérêts économiques de leurs producteurs et les engagements épistémiques définis aussi bien par ces éléments de contexte national que par leur mise en perspective globale. Les membres du Comité de pilotage se livrent à des débats aussi bien intérieurs (entre leurs différentes représentations professionnelles) qu'entre eux. Reinhard Reents, président d'Interbull au moment de l'enquête et représentant de l'Allemagne, de l'Autriche et de la Suisse au Comité de pilotage, en témoigne :

« Mon rôle est d'apporter les souhaits et les besoins de ces trois pays. Les autres membres du conseil d'administration ont le même devoir. Mon rôle en tant que président est de faire comprendre que nous avons tous nos intérêts spécifiques qui sont importants, mais que nous avons aussi la responsabilité du bon développement d'Interbull. Il y a donc des décisions que je soutiens qui ne sont pas forcément dans le meilleur intérêt de l'industrie allemande uniquement. Et c'est un véritable défi. [...] J'ai un chapeau

allemand et un chapeau Interbull. Et parfois je me dis “Ok, maintenant j’enlève mon chapeau Interbull et je mets mon chapeau allemand.” Et une autre fois, j’ai mon chapeau autrichien, ou suisse. C’est mon devoir principal, je pense, d’être capable de faire la distinction entre ces choses. Je rappelle toujours à mes collègues qu’ils doivent faire de même. »⁵⁶

Un seul membre du Comité, représentant les États-Unis, est délégué par l’industrie de la sélection. Cette initiative des États-Unis date de 2006. Elle vise à équilibrer la représentation des acteurs au niveau d’Interbull en introduisant les acteurs économiques dans l’instance de prise de décisions stratégiques. En tant qu’utilisatrices finales de services d’évaluation internationale, les entreprises d’insémination artificielle ont été longtemps et délibérément exclues des discussions dont l’initiative revenait aux scientifiques. Le représentant de cette époque explique :

« Les États-Unis exportent du sperme vers 80-85 pays dans le monde. Ainsi, du point de vue des États-Unis, il est très important que nous ayons une représentation qui comprenne le marché de semence et son importance pour les pays exportateurs et importateurs. Tous les autres membres du Comité du pilotage ont un lien avec les centres d’évaluation nationaux. Mais Interbull a un impact sur les entreprises d’insémination artificielle [IA]. Interbull a donc besoin de quelqu’un qui puisse réellement parler de l’impact sur les entreprises d’IA qui utilisent les informations provenant d’Interbull. Personne d’autre au sein du Comité de pilotage n’apporte le point de vue des entreprises d’IA. Il est donc important d’avoir un représentant de l’industrie. Faisons une comparaison. Disons que vous essayez de travailler avec l’industrie laitière et que la seule chose à laquelle vous pensez est l’impact sur la ferme laitière, sans jamais penser à l’impact sur les personnes qui boivent le lait ou mangent du fromage. Si vous ne travaillez qu’avec les transformateurs de produits laitiers dans les exploitations laitières, vous recueillez une partie importante de la chaîne, mais vous passez à côté d’une autre partie énorme. Je pense donc qu’il y a une bonne analogie avec Interbull : si les seules personnes qui siègent au comité sont les représentants des centres d’évaluation, c’est comme si l’industrie laitière ne traitait qu’avec les producteurs laitiers et les transformateurs de lait et jamais avec une personne qui consomme la nourriture. Le besoin d’Interbull est donc d’avoir une perspective des utilisateurs finaux des sociétés d’IA en raison du commerce international de la semence. »⁵⁷

Non moins « plurielle », la déléguée des États-Unis représente les intérêts de son pays à travers les intérêts économiques, nationaux et internationaux, des producteurs de la semence bovine. Elle est également de formation scientifique en génétique quantitative. Sa position n’est donc pas si différente de celle des autres membres du Comité de pilotage, dont chacun est censé défendre les intérêts économiques de son industrie nationale. La différence réside dans la position de domination économique des États-Unis, que les autres pays en position défensive contrebalancent avec des arguments d’ordre

technoscientifique. L'équilibre des forces lors des réunions de l'ISC s'obtient en effet avec un ratio de 1 sur 8 : un représentant des États-Unis comme principal exportateur, contre huit autres membres représentant les pays plutôt importateurs mais avec des ambitions d'exportation, c'est-à-dire les pays actifs sur le marché international.

Mis à part la représentation assurée par les membres du Comité de pilotage, les échanges avec les utilisateurs des services d'Interbull s'effectuent lors des *business meetings*. C'est un espace ouvert une fois par an en marge des congrès internationaux. Toute personne, qu'elle soit représentante d'un pays, d'une entreprise, d'un organisme de recherche ou un éleveur averti, peut venir et poser des questions, exprimer ses besoins ou ses revendications par rapport aux services rendus par Interbull.

Pour affirmer le poids de l'argument technoscientifique, l'activité de l'ISC s'appuie sur deux comités spécifiques – technique (TC) et scientifique (SAC). Le SAC est un organe de consultation stratégique composé de quatre scientifiques de haut niveau qui représentent non pas leur pays, mais le domaine de recherche de la génétique quantitative appliquée aux bovins. Leurs contributions sont peu formelles et les réunions sont organisées surtout à la demande du Comité de pilotage. Le rôle du TC est d'identifier les enjeux techniques importants pour la qualité de service d'Interbull. Les révisions de méthodes, de modèles de calcul, le développement de nouveaux outils relèvent de ses compétences. Le Comité technique est composé de dix représentants d'organismes nationaux d'évaluation, spécialistes techniques et scientifiques de haut niveau qui sont opérationnels dans les calculs d'index génétiques des taureaux dans leurs pays respectifs. Le lien avec le Comité de pilotage est assuré par le président du Comité technique, qui fait aussi partie du Comité de pilotage. Le lien avec Interbull Centre comme unité technique opérationnelle est assuré par son directeur des services, qui siège au Comité technique.

L'Interbull Centre à Uppsala assure quant à lui tout le côté opérationnel d'Interbull : organisation du service, calcul des évaluations internationales en lien avec les centres des pays membres pour le recueil, le contrôle et la diffusion des données. Les généticiens (au nombre de cinq au moment de l'enquête) calculent les évaluations internationales à l'aide du modèle MACE et participent au développement des outils de calcul. Les informaticiens (au nombre de trois) assurent le support des infrastructures et des interfaces *ad hoc*.

Le directeur d'Interbull Centre est recruté depuis 2008 sur un profil managérial – mais avec une formation scientifique liée au domaine de la sélection animale. Il a remplacé le profil de scientifique chercheur afin qu'Interbull se positionne pleinement en tant qu'organisme de service sur le marché global de l'amélioration génétique bovine.

« Lorsque je suis arrivé, ils étaient déjà à leur troisième directeur, mais il s'agissait toujours d'une vision de recherche, car la façon dont les gens traitaient l'évaluation n'était pas vraiment une opération de service. Donc, ce qu'on m'a dit : "Nous vous avons engagé pour faire la transition entre la recherche et le service." Mes compétences en matière de gestion [...] étaient donc plus importantes que ma formation universitaire uniquement. » (entretien avec João Dürr, ancien directeur du centre de calcul d'Interbull)⁵⁸

En dehors des responsabilités liées aux calculs des évaluations internationales, l'équipe d'Interbull Centre est chargée de tous les aspects organisationnels de la vie d'Interbull, qui garde son rôle de *forum hybride* (Callon *et al.*, 2001) international où se croisent des acteurs et des éléments hétérogènes du monde de la sélection bovine. Les réunions du Comité de pilotage, des Comités technique et scientifique, les congrès, les colloques, les *workshops* et d'autres événements sous l'égide d'Interbull sont préparés par les membres de l'équipe du Centre. Le caractère très international de l'équipe est notable. Au moment de mon séjour à Interbull Centre en 2017, elle était composée d'un Allemand, d'une Italienne, d'une Tunisienne, d'une Polonaise, d'un Iranien et de quatre Suédois (dont trois informaticiens). Il est de coutume également d'y accueillir régulièrement des étudiants, des thésards et de jeunes chercheurs envoyés par des laboratoires de recherche en génétique quantitative et des centres de calcul des différents pays afin qu'ils s'imprègnent des enjeux internationaux du métier pour lequel ils sont formés. Cette internationalisation de l'équipe est une volonté affirmée de la part de l'ISC, faisant référence à la globalisation de l'activité de sélection et de ses problématiques. Le monde professionnel international de l'évaluation génétique des bovins est après tout très restreint. Les spécialistes rencontrés à Interbull Centre portent en eux des connexions qui se croisent souvent. Une généticienne du Centre a été formée à l'université de Guelph dans l'équipe du professeur Larry Schaeffer, une autre a travaillé en France à l'Idèle dans l'équipe d'évaluation génétique coordonnée par la représentante de la France au Comité de pilotage. Un des anciens directeurs avait réalisé sa thèse en collaboration avec un généticien de l'Inra membre du Comité scientifique et a quitté Interbull Centre pour devenir directeur du centre de calcul américain, le CDCB.

De telles interconnexions et circulations de spécialistes entre les instances professionnelles nationales et internationales sont révélatrices du phénomène de globalisation des techniques et des pratiques d'évaluation génétique. Le concept de *profession globale* développé par Marion Fourcade (2006) aide à comprendre certains mécanismes de globalisation liés notamment aux interactions entre les États et les marchés au-delà des frontières nationales. L'enquête menée au sein d'Interbull Centre ainsi que pendant des événements connexes (trois congrès et un *workshop* technique) m'a permis d'assister à des

débats et à des confrontations entre les professionnels ayant différents intérêts à défendre ; d'observer le travail de routine pour organiser ces débats et pour appliquer les décisions prises ; de voir des acteurs circuler entre leurs différents rôles et entre les différents lieux de l'action. Au même titre que les circulations marchandes des doses de semence bovine, la dynamique professionnelle des spécialistes d'évaluation génétique participe à la globalisation de la vache.

The (big) data hub

Actuellement, 34 pays bénéficient des évaluations internationales pour une variété plus grande de races et de caractères évalués. Six races laitières (Holstein, Jersiaise, Guernsey, Simmental-Montbéliarde, Ayrshire et Brune) peuvent y être évaluées pour 40 caractères. La base de données d'Interbull Centre contient des informations sur 28 millions d'animaux, tous reliés par leur généalogie. Toutes ces métadonnées, y compris leurs valeurs calculées cinq fois par an (trois fois pour les valeurs génétiques et deux fois pour les valeurs génomiques depuis 2011), représentent un volume d'environ 50 gigaoctets (inférieur à la capacité de certains smartphones à usage personnel). À ma question si ce volume de données représente ce qu'on appelle les « big data », le responsable information d'Interbull Centre m'a répondu :

« Si vous le comparez à Google, ce n'est pas tant que ça. Google représente une quantité folle de données – je n'appellerais même pas ça des “big data”, mais plutôt des “great data” ou quelque chose comme ça. Mais peu importe, 28 millions d'animaux, c'est énorme. C'est une énorme base de données. Et c'est seulement pour les bovins, seulement pour les bovins laitiers. »⁵⁹

En effet, imaginer que cette infrastructure et cette capacité de calcul sont dédiées aux seules données des taureaux de quelques races laitières rend les choses impressionnantes. Que représente alors le travail d'analyse de toutes ces données qui se retrouvent au même endroit en provenance de différents pays ? Dès 1994, année de la création d'Interbull Centre, un guide des bonnes pratiques a été élaboré par le premier directeur et amélioré par la suite par les membres de l'équipe. Il est mis à disposition des utilisateurs – les centres nationaux d'évaluation génétique – afin d'harmoniser l'envoi de leurs données. Les procédures d'adhésion aux services d'Interbull y sont également décrites en matière de respect des prérequis techniques (certifications, tests) et des formalités administratives et juridiques (contrats de service, paiement des cotisations). Les évaluations de routine sont produites trois fois par an (avril, août et décembre). Les généticiens d'Interbull Centre font tourner des programmes

informatiques plus ou moins automatisés (« scripts ») pendant environ deux semaines pour produire les index internationaux.

Cette étape implique un travail de traduction de données à plusieurs niveaux. En amont, les correspondants d'Interbull Centre au sein des centres nationaux d'évaluation génétique récupèrent les index génétiques fournis par les services qui calculent les évaluations génétiques nationales, et les transforment en format *ad hoc* établi selon le standard d'Interbull. Deux correspondantes d'Interbull en France, responsables de la transmission des informations pour l'évaluation internationale des taureaux français, témoignent :

« Donc, en pratique, moi, je récupère les infos, les fichiers, je les mets en forme. Mettre en forme veut dire les recodifier comme Interbull le souhaite avec des formats de fichiers comme Interbull les a définis. »

« Ce qu'on nous demande d'envoyer c'est très carré, très précis, si ce n'est pas dans le bon format, tu ne peux pas charger tes données, [...] s'il te manque une virgule, ton fichier est rejeté. »

Les généticiens d'Interbull Centre récupèrent les index nationaux accompagnés des informations transmises dans les formulaires *ad hoc*, les intègrent dans le programme MACE, qui effectue des opérations de calcul statistique en dé-régressant les index nationaux afin d'obtenir une valeur approchée des informations phénotypiques⁶⁰ sur les animaux. On y intègre également les estimations des corrélations entre les valeurs génétiques des différents pays. Cette opération est en quelque sorte une « décontextualisation » ou une « dénationalisation » des index intégrés dans un pool global de données. Ensuite, les généticiens d'Interbull retraduisent les index de tous les taureaux de ce pool global en unités de mesure de chaque pays et transmettent l'ensemble de ces index à leurs correspondants nationaux. Ces derniers s'occupent de relayer l'information auprès des personnes ou des organisations chargées de la publication des classements nationaux à destination des professionnels du secteur (entreprises de sélection et organisations d'éleveurs). L'information sur tous les taureaux participant au marché global de la génétique se retrouve ainsi commensurée et potentiellement accessible à tous les intéressés.

L'engagement pour la publication des évaluations internationales au sein des pays membres est également inscrit dans le guide des bonnes pratiques d'Interbull. Ces informations doivent en effet être rendues publiques et sans tenir compte d'un effet avantageux ou désavantageux pour les taureaux locaux. Mais cette règle n'est pas toujours strictement respectée par les pays membres. Il y a ceux qui ne publient les valeurs calculées par Interbull Centre que si elles mettent en avant les taureaux des entreprises de sélection locales. D'autres conditionnent la publication à un indice de fiabilité élevé. La conséquence

de cette mesure restrictive est que des taureaux de qualité peuvent être exclus du classement dans un pays donné parce que la corrélation génétique estimée entre ce pays et le pays d'origine du taureau est faible.

Ces problèmes d'ordre déontologique sont généralement résolus sans conflit majeur par des négociations entre le Comité de pilotage d'Interbull et les représentants de l'industrie nationale concernée. En revanche, il n'y a pas d'obligation pour les pays de reconstituer leur index national de synthèse (TMI) à partir des index unitaires calculés par Interbull. Ces derniers sont donc publiés en l'état et subissent la concurrence des TMI nationaux, souvent plus familiers aux éleveurs. Mais, de manière générale, la publication des évaluations est un événement très attendu au sein de la profession de l'insémination artificielle. C'est à ce moment-là que les différentes valeurs génétiques nationales et internationales sont examinées, comparées, et que la décision de la semence à proposer à l'export ou, à l'inverse, à importer pour l'inclure dans les schémas de sélection est prise.

« Alors, ces palmarès étaient LE truc attendu par tout le monde : les éleveurs, [...] les organismes de sélection, la presse. On voyait fleurir les palmarès dans la presse. On connaissait tous par cœur les dix premiers taureaux. Dès qu'il y en avait un qui bougeait un peu, c'était annoncé partout. Il y avait une pression monstrueuse... » (entretien avec Sophie Mattalia)

La pression qu'évoque Sophie Mattalia, impliquée à plusieurs niveaux dans le monde de la sélection bovine, est liée à l'exigence des professionnels en matière de fiabilité, de précision et de complétude des informations publiées. La compétition économique internationale entre les propriétaires des taureaux reproducteurs se base dorénavant sur ces index commensurables, et non plus sur les compétences rhétoriques des vendeurs de doses de semence. Selon les témoignages des personnes en charge des publications, les entreprises de sélection sont assez intransigeantes en cas d'erreurs, surtout si elles les désavantagent. Ainsi, le travail de vérification de la qualité des données à chaque étape de leur échange et de leur transformation a toujours été primordial pour Interbull Centre et pour ses correspondants dans les centres de calcul nationaux. Premièrement, l'espace virtuel des tests de validité est ouvert pour que les pays membres puissent vérifier l'absence de biais dans leurs évaluations nationales. Ce sont des tests obligatoires pour les nouveaux pays utilisateurs du service Interbull et pour ceux qui ont apporté des modifications dans leurs méthodes d'évaluation nationale, et ont ainsi besoin de vérifier l'aptitude à la « commensurabilité » de leurs index locaux. Une généticienne d'Interbull Centre en parle :

« C'est là où il faut qu'ils décrivent, qu'ils nous disent ce qu'ils ont fait. Et là pareil, on regarde, on compare, on voit les changements, on compare par rapport à ce qu'ils

disent et on voit si ça concorde ou pas et si on voit les choses qui ne vont pas, on leur dit. Et ça arrive souvent qu'ils découvrent des erreurs dans leurs évaluations suite à l'utilisation du test, parce que ce logiciel est mis à disposition des pays pour l'utiliser même avant d'envoyer leurs données. Comme ça, ils peuvent l'utiliser comme outil de contrôle de leurs données aussi. »

Le pays qui ne passe pas le test ne peut pas participer à l'évaluation suivante. Ses classements ne seront donc pas réactualisés et les nouveaux taureaux n'y seront pas inclus, ce qui impacte plus ou moins fortement son industrie nationale ainsi que les échanges internationaux et provoque de fait des tensions entre les industriels et les centres d'évaluation.

Ensuite, chaque évaluation de routine impose des étapes obligatoires de vérification de la cohérence des données qui sont généralement comparées à celles des évaluations précédentes. Ces vérifications sont faites aussi bien au niveau des centres nationaux qu'au niveau d'Interbull Centre. La chaîne de l'évaluation génétique animale repose sur un flux de données enregistrées dans chaque élevage jusqu'à l'index final. Il y a des validations à chaque étape. Si une erreur est faite au début de la chaîne et remarquée seulement à la fin, il est difficile de la corriger rapidement. Selon une des correspondantes françaises d'Interbull, le traitement de ces erreurs se fait au cas par cas en fonction de leur impact potentiel sur l'évaluation internationale :

« Au moment où j'envoie les données, l'objectif est de vérifier qu'il n'y a pas de grosses variations par rapport à la fois d'avant. Une grosse variation voudrait dire que quelque chose a changé : soit c'est une erreur dans l'indexation, soit ça veut dire que l'indexeur a peut-être modifié son programme, et pour Interbull c'est une modification majeure qui nécessite de repasser par ce processus de test. Cela veut dire qu'ils ne vont pas accepter mes données en routine. [...] Donc je vérifie simplement que les données restent cohérentes par rapport à ce qu'on envoyait d'habitude et qu'il n'y a pas de fortes variations où Interbull me dirait "non, ça varie trop". Ce sont des statistiques basiques, des corrélations entre les index nouveaux et ceux que j'avais envoyés la fois d'avant, normalement elles doivent être presque de 1. »

Les correspondants nationaux d'Interbull Centre sont organisés en réseau et peuvent communiquer entre eux pour des questions de validation, d'incohérence ou de manque de données.

« Le nombre de fois où j'ai contacté untel pour savoir si c'était bien le même taureau que j'avais vu avant avec un autre numéro, sachant qu'apparemment c'était la même date de naissance. Ou alors il y a eu des cas où le pays A disait qu'il était né en 88, le pays B disait qu'il était né en 80. Qui avait raison ? J'interrogeais donc le pays B en disant : "Est-ce que vous pouvez vérifier sa date de naissance, parce que si je dis qu'il est né en 80, ça fait beuguer nos bases de données, parce que ce n'est pas compatible

avec, par exemple, les parents ou je ne sais pas quoi, et donc c'est 88 ou 80 ?" Après on traitait directement avec les pays concernés. »

Toute cette chaîne d'échanges et de transformations de données qui mène des éleveurs nationaux à Interbull Centre et qui fait le chemin inverse procure une place stratégique à Interbull Centre dans le réseau international de la sélection bovine. La position d'Interbull Centre comme « data-hub » en fait effectivement un « centre de calcul » au sens latourien du terme, en tant que lieu de concentration d'informations et donc de pouvoir.

Les échanges commerciaux s'internationalisent, les ressources génétiques produites par les industries nationales circulent entre les pays, créant un espace marchand transfrontalier. La création d'une organisation supranationale chargée de définir la valeur de ce qui circule dans cet espace marchand en fait un espace *global* doté de « capacité de décontextualisation et de recontextualisation » (Ong et Collier, 2008). Ce que les acteurs de la sélection bovine appellent le « pool global » (*global pool*) de ressources génétiques d'où s'effectue le « recrutement global » des reproducteurs est devenu possible grâce à l'outil de commensuration incorporé dans l'infrastructure technique d'Interbull Centre.

Le pouvoir d'inclusion et d'exclusion

« Les formes globales sont limitées ou délimitées par des infrastructures techniques spécifiques, des appareils administratifs, [...] et non par les aléas d'un champ social ou culturel. » (Ong et Collier, 2008, p. 11)⁶¹

La vocation d'Interbull étant de construire un espace global pluriel dans lequel différents standards d'évaluation peuvent coexister et interagir, une infrastructure technique et un encadrement administratif ont été jugés nécessaires pour rendre cet espace fonctionnel. Interbull se dote ainsi d'un double pouvoir d'inclusion et d'exclusion. Les procédures d'adhésion mises en place exercent ce pouvoir aussi bien par des critères institutionnels que techniques qui s'entremêlent en rejoignant les causes politiques.

D'une part, les critères institutionnels autorisent l'adhésion à Interbull aux seules organisations reconnues par une autorité publique nationale comme un ministère de l'Agriculture. Il s'agit, selon les pays, d'organisations publiques ou privées comme des centres d'évaluation, des instituts de recherche, des organisations d'éleveurs, des organismes en charge du contrôle des performances des ruminants, etc. Ainsi, les entreprises privées non reconnues par l'État sont pour l'instant exclues de l'espace international de commensuration, même s'il

y a des demandes en provenance de tels acteurs relativement nouveaux dans le paysage de la sélection bovine.

D'autre part, l'adhésion à Interbull est conditionnée par l'adhésion à ICAR, sa maison-mère, l'objectif étant d'encourager une démarche systémique des pays vers un certain standard de qualité dans l'organisation de leur sélection. La devise d'ICAR étant « Le standard global pour les données de l'élevage » (*"The global standard for livestock data"*), ses pays membres suivent *a priori* la démarche qualitative d'identification et de contrôle de performances et correspondent ainsi à un certain standard de qualité quant aux données utilisées par les centres d'évaluation génétique. En rendant obligatoire l'adhésion à l'ICAR, Interbull obtient une certaine homogénéité des données en production animale, ou du moins une intention affichée de ses membres d'y parvenir. Il n'exige pas de certification stricte de qualité de données, jugée trop exclusive. S'organisant en deux sous-espaces – l'un pour des pays déjà « aptes » à bénéficier du service d'évaluation internationale et l'autre, tel un « sas d'entrée », destiné aux pays qui entament leurs démarches structurées de mise en place du système national de sélection –, il assure une circulation d'informations et de bonnes pratiques au sein de son réseau.

« Dans l'esprit d'Interbull on essaie de drainer le maximum de pays, et il y a des pays qui n'ont pas les capacités pour passer toutes les étapes de certification. Et puis pour des petits pays, ou des pays en voie de développement, c'est un moyen de bénéficier des informations pour se mettre au niveau. Donc on ne peut pas mettre la certification d'ICAR en condition. Sinon, ce serait un club de gros pays. Ce n'est pas l'objectif. Le but c'est d'harmoniser le maximum de choses. Il y a des pays qui sont adhérents à Interbull et qui ne participent pas aux évaluations internationales. Le but toujours est de les intégrer dans ce réseau, de créer des liens entre les pays. » (entretien avec Sophie Mattalia)

Le passage d'un pays donné du « sas d'entrée » à la « cour des grands » est en revanche conditionné par la réussite aux tests techniques qui valident la qualité et l'aptitude à la commensurabilité des données fournies. Le *Code of Practices*, l'un des documents fondateurs d'Interbull précise la procédure d'adhésion.

Une fois que le pays est passé par l'épreuve des tests et l'a réussi, l'étape finale consiste à signer le contrat de service avec Interbull et à payer une cotisation dont le montant est fixé par un calcul sophistiqué prenant en compte une partie fixe destinée à financer le service fourni par Interbull Centre et une partie variable dépendant de la taille de la population en contrôle laitier du pays. D'après les témoignages des acteurs, les cotisations ne sont pas contraignantes, même pour les plus petits producteurs, car la formule de calcul a été justement conçue en fonction de la taille du cheptel de manière à ne pas créer d'obstacle financier à l'adhésion à Interbull.

Avec un affichage inclusif de l'espace où la pluralité des standards et des valeurs est préservée, Interbull touche à la problématique complexe de la relation dichotomique entre la standardisation et la diversité, qui se fait d'autant plus ressentir avec la globalisation et qui fait l'objet d'un nombre croissant d'analyses sociologiques (Chavinskaia et Loconto, 2020). Le pouvoir inclusif et exclusif de tout processus de standardisation (Busch, 2013) pose effectivement des limites à l'ambition de servir « l'intérêt général » dont se prévalent les acteurs d'Interbull. Leur volonté de réguler le marché global des ressources génétiques revient à fusionner l'espace technique de commensuration et l'espace marchand, et donc à réserver l'accès au marché global aux pays techniquement et institutionnellement conformes à une certaine idée du monde « juste ». Il se révèle néanmoins extrêmement compliqué, voire impossible, de coordonner une diversité croissante d'agencements bovins propres aux différents pays, surtout compte tenu de la dynamique d'innovation technologique inégalement répartie dans le monde. Ainsi, une régulation à peine établie par Interbull et mise sous l'égide du « centre de calcul » se voit rapidement déstabilisée par de nouveaux éléments techniques dont l'intégration politique dans l'ensemble s'est révélée plus compliquée qu'elle ne l'avait été initialement pensée par les acteurs.

Chapitre 6

La révolution génomique dans l'organisation mondiale de la sélection

Dans la première partie, j'ai présenté au lecteur un certain changement de paradigme méthodologique dans la sélection bovine induit par les avancées technoscientifiques dans le domaine de la génomique. Ces changements systémiques ont été ressentis non seulement dans la sphère technoscientifique de calcul des index, mais également dans toute l'organisation de sélection nationale, qui a vu ses acteurs changer de rôle, de place, de liens (Labatut *et al.*, 2014 ; Tesnière *et al.*, 2019). Comment alors cette révolution se traduit-elle aux niveaux inter- et transnational ? Comment le changement de méthodes d'évaluation redistribue-t-il les cartes du pouvoir entre les acteurs impliqués dans l'organisation internationale d'équivalence autour d'Interbull ? Comment ces acteurs utilisent-ils ces cartes pour repenser cet espace ?

Avec la mise en place de l'évaluation génomique dans quelques pays membres, Interbull voit forcément des changements en son sein et à l'extérieur. L'agencement bovin « se réagence » en reconfigurant ses connexions globales. De nouvelles formes d'organisation entre les pays dits « génomiques » apportent de nouveaux enjeux dans l'espace globalisé de la sélection bovine et déplacent son centre de pouvoir calculatoire. Entre la création des consortiums génomiques concurrentiels, les tentatives d'Interbull de sauver sa position centrale par la mise en place d'un nouvel outil calculatoire, et un déplacement important dans la logique européenne de la préservation de diversité des valeurs génétiques entre les pays vers leur unification, le lecteur comprendra alors le caractère systémique d'un changement technologique dont l'impact sur l'agencement bovin globalisé n'a pas été anticipé par les acteurs.

L'avenir d'Interbull en question

La sélection génomique des bovins a été promue et mise en place par les mêmes acteurs – les généticiens – qui ont œuvré à l'établissement de l'ordre technoscientifique de la sélection génétique au niveau global. Ce sont eux qui ont développé des méthodes d'évaluation génomique et ont convaincu les acteurs des filières bovines nationales de la pertinence du déploiement de ces méthodes au niveau industriel au nom de l'efficacité économique de la sélection. Et ce sont ces mêmes acteurs qui disent avoir été dépassés par les événements, tant les changements générés ont été importants et rapides.

L'avenir d'Interbull s'est vu compromis. Des protagonistes de ce tournant dans la vie de l'organisation en témoignent :

« C'était une grande question. Je me souviens qu'au début du mois de juin 2008, nous étions aux chutes du Niagara [pour la réunion Interbull] et à cette époque, les Américains avaient un grand nombre d'animaux génotypés et ils disaient "Oh, avec ces données génomiques et ces évaluations génomiques, nous n'avons pas besoin de participer à l'évaluation internationale". Et les pays européens disaient "Que se passera-t-il s'ils réussissent ?" Ensuite, vous pouvez imaginer ce couloir avec toutes ces personnes des pays européens qui se déplacent tout le temps entre les petits groupes et discutent, discutent, discutent... » (entretien avec un généticien à Interbull Centre)⁶²

« La question principale était : avons-nous encore besoin d'Interbull ou la génomique est-elle la fin d'Interbull ? » (entretien avec João Dürr)⁶³

En 2009, Interbull a organisé une réunion de crise. Le *workshop* qui a eu lieu à Uppsala avait pour objectifs de « repenser le cadre scientifique d'utilisation des données génomiques dans l'évaluation génétique nationale et internationale, ainsi que de promouvoir l'idée et les avantages de la collaboration internationale sous l'égide d'Interbull » (Dürr, 2009, p. 1). Il a été ouvert à un nombre limité de représentants des pays membres d'Interbull et de ses comités (101 personnes de 26 pays).

Pourquoi une telle remise en question d'un ordre en apparence bien établi ? Du point de vue technique, l'information génomique fournie par l'évaluation du potentiel génétique de l'animal remplace avec succès l'information généalogique, constituée depuis le début de l'industrialisation de la sélection à grande échelle dans des livres généalogiques et des bases de données informatisées. Dorénavant, il est possible d'établir le lien généalogique entre les animaux à partir de leur ADN. « C'est déjà énorme comme progrès », reconnaît un des généticiens interviewés. Mais est-ce suffisant pour remettre en cause toute l'organisation internationale ? Le rôle d'Interbull n'était pas limité au simple établissement de liens généalogiques entre les animaux. La disponibilité des données génomiques ne suffit donc pas à expliquer qu'on puisse

s'en passer. Mais ce nouveau paradigme technologique apporte une promesse très importante qui expliquerait (du moins en partie) tout le bouleversement du dispositif de commensuration : une fois qu'on dispose du génotype de l'animal, on connaît sa valeur et il n'est donc plus nécessaire de phénotyper ses descendants. « Avec le génotype de l'animal, nous pouvons prédire sa valeur génétique pour n'importe quel pays indépendamment de son pays de naissance », a annoncé Michael E. Goddard, un des pères de la sélection génomique au *workshop* d'Interbull en 2009 (Dürr, 2009). Malgré les efforts ultérieurs déployés par les scientifiques pour démentir cette proposition et pour insister sur l'importance du phénotype dans l'évaluation génomique, c'est cette promesse qui a été retenue par les industriels, ravis d'une telle « décontextualisation » de la valeur de leurs produits, permettant de les vendre partout sans contraintes.

Comme nous l'avons vu brièvement dans le chapitre 2, les industriels de la semence, ayant massivement investi dans le génotypage, ont acquis un droit de propriété sur ces informations. Ils ont ainsi récupéré le pouvoir des centres de calcul en internalisant leurs compétences d'évaluation génétique. La partie informationnelle séparée de la partie biologique de la ressource génétique est devenue privatisable (Labatut, 2009 ; Allaire *et al.*, 2018). Les ajustements organisationnels effectués au sein des systèmes nationaux des pays « génomiques » ont doté les mêmes acteurs des compétences de sélection et d'évaluation, fonctions auparavant réparties entre, d'un côté, les différents types de producteurs et distributeurs du progrès génétique (sélection, production de semence, service d'insémination artificielle) et, de l'autre, les centres nationaux de calcul (évaluation). Ce changement est survenu très tôt dans le système de sélection américain et a été suivi progressivement par d'autres pays, notamment ceux de l'Union européenne, qui l'a entériné dans son nouveau Règlement zootechnique entré en vigueur en novembre 2018.

Le paradoxe produit par cette réforme organisationnelle est qu'une fois formellement réunies aux mêmes endroits chez les mêmes acteurs, les deux parties de la ressource – informationnelle et biologique – se retrouvent plus que jamais éloignées l'une de l'autre. D'une part, leurs statuts sont fondamentalement différents (respectivement bien privé et bien commun). D'autre part, calculée à partir d'un extrait d'ADN, la valeur génétique a de moins en moins de lien avec les informations phénotypiques des animaux réels, en chair et en os, intégrés dans les différents systèmes de production des différents pays. Elle est de moins en moins contextualisée. Les circulations des ressources informationnelles semblent dorénavant se déconnecter des circulations des ressources biologiques. Même si pour l'instant Interbull continue à jouer son rôle de centralisation des informations phénotypiques (statistiquement reconstituées), sur lesquelles se basent les populations de référence et sur lesquelles sont fondées

les évaluations génomiques au niveau national, le lien entre l'animal réel intégré dans son milieu et sa valeur génétique est de plus en plus ténu. Les calculs perdraient en fiabilité et donc en confiance des utilisateurs ou des éleveurs. Souvenons-nous de la mise en garde des généticiens sur la baisse de qualité des évaluations qui impacterait le marché global des ressources génétiques, en l'absence prolongée du testage sur descendance et de l'échange de ces informations phénotypiques au niveau international (Patry, 2011).

Les conclusions du *workshop* de crise en 2009 étaient rassurantes pour Interbull :

« Interbull comme facilitateur des programmes de sélection globale est plus que jamais nécessaire ! » (Dürr, 2009, p. 6)⁶⁴

Le rôle et les actions d'Interbull devaient être certes reconsidérés au regard du nouveau type de données et des nouvelles méthodes d'évaluation génomique, mais les participants du *workshop* ont été unanimes sur le besoin de poursuivre les échanges et le partage des informations génétiques entre les pays pour un fonctionnement plus durable du marché globalisé des ressources génétiques. La continuité des évaluations génétiques au niveau international avec le MACE a été jugée cruciale, compte tenu des préconisations apportées par les recherches de Clotilde Patry sur l'importance du biais créé par l'utilisation des seules évaluations génomiques. Ce besoin a été également réitéré par les pays « non génomiques », pour qui les évaluations génétiques restent la principale référence marchande. La mise en place d'un modèle équivalent du modèle MACE pour la comparaison des valeurs génomiques (GEBV) – GMACE – a également été actée lors de ce *workshop*. Dans le document de synthèse rédigé par le directeur d'Interbull Centre, de nombreuses raisons ont été invoquées pour justifier l'existence d'Interbull comme espace d'équivalence internationale entre les différents standards de sélection (Dürr, 2009). Néanmoins, l'apparition, avec l'arrivée de la génomique, d'une strate supplémentaire d'organisations internationales dans le domaine de la sélection bovine sous la forme de divers consortiums a clairement dilué le pouvoir détenu auparavant par Interbull. Le curseur des priorités dans l'organisation globale de la sélection s'est déplacé de la logique scientifique vers la logique marchande.

C'est d'autant plus vrai que la génomique a introduit une séparation nette entre les pays grands producteurs de la génétique Holstein qui ont investi dans des technologies d'évaluation « modernes » et les pays principalement importateurs (les « petits pays ») qui ne possèdent pas les moyens d'un tel investissement. Les deux « clans » font toujours partie d'Interbull, mais les premiers se sont affirmés d'autant plus comme producteurs et exportateurs de la génétique et les derniers ont entériné leur position d'importateurs dépendant des premiers. « Le fossé se creuse », peut-on entendre souvent dans les discours des généticiens inquiets

du sort des « petits pays » (voir chapitre 7). Sachant que ce sont les premiers qui gardent la majorité des sièges au Comité de pilotage, on n'est pas loin du « club des grands pays » (selon l'expression qu'on peut entendre régulièrement) dont la philosophie et le fonctionnement s'éloignent de la raison d'être qu'affiche traditionnellement Interbull.

Le GMACE : nouvel outil de commensuration des valeurs génomiques

« La question de la commensurabilité s'est tout de suite posée : comment comparer les résultats génomiques de tous ces différents pays ? » (entretien avec Peter Sullivan, généticien canadien, un des auteurs du GMACE)⁶⁵

Dans les faits, le problème de commensurabilité sur le marché international de la génétique bovine s'est dédoublé : d'un côté, les valeurs génomiques des différents pays ne sont pas comparables entre elles et, de l'autre, les valeurs génétiques (EBV) ne sont pas comparables aux valeurs génomiques (GEBV). Seules les EBV sont comparables grâce au MACE, mais c'est la génomique qui règne dorénavant sur le marché. Après la réflexion sur l'avenir d'Interbull engagée lors du *workshop* technique de 2009, deux généticiens de renom, un Américain et un Canadien, ont décidé de se pencher sur la question de l'outil permettant de répondre à cette double problématique de comparaison des valeurs des taureaux commercialisés. Comme aux débuts d'Interbull, la même contrainte est apparue : l'indisponibilité des informations primaires nécessaires à la mise en place d'outils *ad hoc*. Les industriels devenus propriétaires des données génotypiques des animaux ne voulaient pas les partager, du moins pas avec n'importe qui. De nouveau, il fallait trouver une solution technique à ce problème de nature politico-économique de partage d'une information considérée comme secrète. L'information facilement accessible était celle des index génomiques calculés par les pays. Il fallait donc construire un outil de commensuration sans avoir accès aux données de base. Cette tâche s'est révélée plus complexe que les généticiens ne le croyaient au début. Ils espéraient utiliser le même principe que dans MACE et reconstituer les informations avec une méthode statistique de dé-régression. Mais un problème est apparu avec les index génomiques par rapport aux index génétiques : les premiers sont calculés en utilisant l'information fournie par le MACE et, puisqu'ils utilisent les mêmes données, cette seconde couche de commensuration créait des doublons d'information. Les généticiens travaillant sur le modèle ont fini par trouver une solution mathématique à ce problème, et le modèle GMACE a vu le jour comme version génomique du modèle MACE. Mais la précision de l'évaluation

GMACE est bien moindre que celle de MACE, et surtout moindre que celle des évaluations génomiques effectuées au niveau national avec des données phénotypiques locales.

« GMACE avait tellement d'approximations. Déjà au niveau national, nous avons des hypothèses que nous faisons dans nos modèles nationaux. Puis nous avons des hypothèses de MACE [...]. Et puis vous passez à l'évaluation génomique nationale où vous avez également des hypothèses. Vous utilisez MACE comme une entrée pour l'évaluation génomique au niveau national. Ensuite, vous partagez les valeurs génomiques dans GMACE et vous devez avoir encore plus d'hypothèses. C'est comme si on bidouillait les données en plusieurs étapes. » (entretien avec João Dürr)⁶⁶

Le « bidouillage » de données qu'évoque cet ancien directeur d'Interbull Centre est visuellement exprimé par l'un des créateurs du GMACE en personne (figure 16).

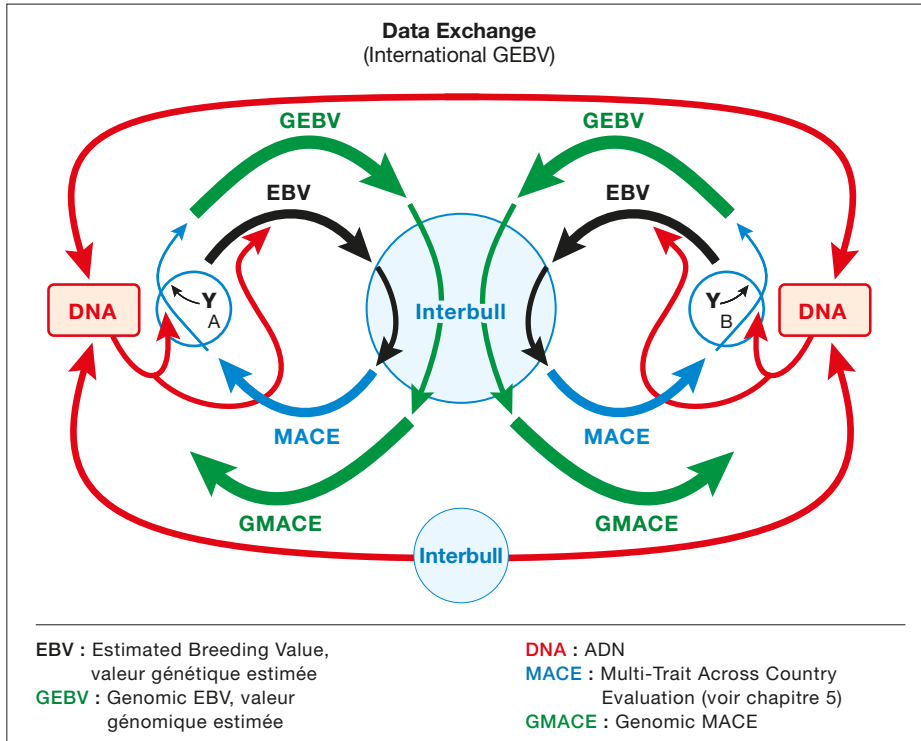


Figure 16. Une complexité de circuits de données d'évaluation génomique au niveau international. D'après la présentation de Peter Sullivan lors d'un *workshop* technique organisé par Interbull en février 2017.

La complexité de l'évaluation génomique internationale était en même temps la cause et la conséquence techniques de son « échec » et donc de la limitation du rôle d'Interbull comme espace unique de commensuration génomique. Les

États-Unis, pays leader sur le marché de la Holstein, ont pris dès le début la décision de ne pas participer aux évaluations GMACE. Cela revenait à ne pas partager les index génomiques nationaux et à ne pas publier les évaluations internationales sur son territoire. Le généticien américain ayant travaillé sur la mise en place du GMACE a même été exclu du projet et appelé par l'USDA à d'autres tâches scientifiques jugées plus pertinentes pour l'industrie de la sélection américaine. Les index génomiques nationaux, GTPI (version génomique du TPI™ américain) en tête, concurrencent sans aucune équivoque l'évaluation génomique internationale GMACE calculée par Interbull Centre. Même du point de vue des méthodes statistiques, les gens ont du mal à croire en la fiabilité de cette dernière, puisqu'il lui manque une masse considérable de données du fait de la non-participation des États-Unis au dispositif commun. Bien que le modèle GMACE ait donné vie à l'idée d'une commensuration répondant à la double problématique de comparabilité des index génomiques et génétiques, sa mise à l'échec politique précédait son existence.

Consortiums génomiques : stratégies de coopération

Comme nous l'avons vu précédemment, convaincus pas les généticiens de la pertinence technique et économique de la sélection génomique, les industriels de la production de semence ont massivement investi dans le génotypage des taureaux, devenant ainsi propriétaires des données génomiques et de ce fait décideurs de la stratégie de déploiement des programmes de sélection. Néanmoins, pour que la sélection génomique soit opérationnelle au niveau national, la taille des populations de référence nécessaire à l'application la plus efficace des méthodes statistiques d'évaluation génomique devait largement dépasser les frontières des pays. Cette contrainte liée à la fiabilité des futures évaluations a obligé les industriels à adopter différentes stratégies de coopération pour réunir les données génotypiques de leurs populations respectives. Différents consortiums génomiques internationaux ont ainsi vu le jour, témoignant d'actions collectives qu'Elinor Ostrom (1990) aurait pu donner en exemple dans ses travaux sur les méthodes de gestion des biens communs. Pour la race Holstein, qui, en tant que race phare dans ses effectifs au niveau mondial, a été la première à accueillir l'innovation génomique, cette nouvelle organisation collective internationale a fortement impacté celle qu'avait instaurée Interbull, jusqu'à la remettre complètement en question. L'hégémonie commerciale des États-Unis sur le marché international de la Holstein s'est davantage renforcée dans la mise en place de la sélection génomique. L'ancienne rivalité entre les États-Unis et l'Europe, masquée et contenue par Interbull pendant deux bonnes décennies, s'est réactivée.

En s'associant avec le Canada, les États-Unis ont été les premiers à prendre l'initiative de réunir les génotypes des deux pays pour obtenir une meilleure qualité de prédiction. Ainsi le consortium nord-américain est né en 2008 et a constitué une population de référence d'environ 16 000 taureaux génotypés. Juste après, les pays européens ont suivi en créant le consortium EuroGenomics. En France, en Allemagne, aux Pays-Bas et dans les pays nordiques (Danemark, Finlande et Suède), les industriels ont convenu de partager également les génotypes de leurs populations de référence respectives, égalant ainsi et même dépassant la taille de celle du consortium nord-américain⁶⁷.

Les fonctionnements respectifs de ces deux consortiums concurrents, différents sur les plans juridique et administratif, se rejoignent dans la volonté de partager les informations avec des partenaires politiquement et économiquement choisis dans une stratégie que j'appellerai de « coopération choisie ». La concurrence y est le premier facteur influençant le choix des « coopétiteurs », qui partagent un certain nombre d'informations comme le strict minimum nécessaire à la poursuite de la compétition économique. Ainsi, les génotypes sont partagés pour arriver à construire la valeur du produit au niveau national et le mettre sur le marché international, où il entre dans les mécanismes de la concurrence libre. Chaque pays membre de chacun des deux consortiums calcule les valeurs génomiques de ses animaux indépendamment des autres, mais en utilisant le pool de données mis en commun d'un côté au sein d'Interbull (évaluations génétiques fournissant l'information phénotypique reconstituée) et de l'autre au sein des consortiums (génotypes). EuroGenomics va même plus loin dans le partage compétitif des données : il sépare les données que tous les membres ont le droit d'utiliser et celles qui restent « privées », c'est-à-dire appartenant à chaque pays et cachées aux autres. Ce partage s'effectue au niveau de la puce génomique, qui contient une partie dédiée à des marqueurs SNP spécifiques à chaque pays. André Eggen, qui a participé à la création de la puce génomique pour EuroGenomics, témoigne :

« C'est là où c'est très intéressant, le modèle EuroGenomics, parce qu'il y a une partie commune où les gens partagent, donc coopèrent quand même, ils collaborent sur environ 10 000 SNP et puis il reste quand même 2-3-5 000 SNP qui sont privés à chacun et que chacun peut utiliser pour concurrencer l'autre sur certains aspects. »

Par la suite, les deux consortiums se sont élargis. EuroGenomics a inclus d'autres pays européens comme l'Espagne et la Pologne. Le consortium nord-américain a également reçu de nouveaux membres en dehors de son continent d'origine, comme le Royaume-Uni, l'Italie, le Japon. Ce dernier point est souvent considéré par les Européens comme une nouvelle offensive économique des États-Unis sur d'autres continents, surtout lorsqu'il s'agit

de l'Italie, située en plein cœur de l'Europe. Même si la raison première de ces alliances était plutôt d'ordre technique – augmenter le nombre de données⁶⁸ disponibles pour une évaluation génomique plus fiable –, leurs configurations témoignent évidemment d'autres raisons d'existence, hautement politiques cette fois. Le nombre de données est un facteur important, certes, mais il a ses limites⁶⁹. Ce n'est pas le nombre de données détenues qui compte pour asseoir pleinement la puissance d'un acteur, mais son savoir-faire dans leur utilisation pour construire une stratégie de relations et d'actions qui permette d'acquérir une position dominante. Comme en témoigne notamment Enrico Santus, représentant de l'Italie au Comité de pilotage d'Interbull, son pays avait en effet plus de raisons de rejoindre le consortium nord-américain plutôt que le consortium européen, compte tenu des conditions historiques du développement de l'élevage activement soutenu par les États-Unis après la Seconde Guerre mondiale :

« La domination des États-Unis sur le marché n'est pas due au nombre de vaches qu'ils possèdent. Si vous comptez le nombre de vaches, il y a beaucoup plus de vaches Holstein en Europe qu'aux États-Unis. Mais si l'on remonte dans l'histoire, à la Seconde Guerre mondiale et aux périodes qui ont suivi, toute l'Europe a été détruite et les Américains ont mis en avant beaucoup de choses : le plan Marshall et les vaches. Et les vaches ont fait une énorme différence dans la production. Je veux dire que certains pays d'Europe ont reçu plus d'aide et d'influence des États-Unis que d'autres. Par exemple, en Italie, c'était plus fort qu'en Allemagne. Et ce n'est pas un hasard si l'Italie a rejoint le consortium nord-américain et pas le consortium européen. Je veux dire qu'en Italie, le plan Marshall était très fort. Parce que l'intérêt politique des États-Unis était de garder l'Italie de leur côté. Ils ont donc investi beaucoup d'argent, ils ont établi des liens et, vous savez, le point de référence, la référence des animaux est américaine en Italie. Pour de nombreux éleveurs, le point de référence en matière de génétique reste l'Amérique du Nord, et non l'Allemagne ou la Hollande, qui sont plus proches et qui ont un plan de race très intéressant. Mais ils considèrent toujours l'Amérique du Nord comme la principale source de génétique. »⁷⁰

Compte tenu du fait que les « grands pays » producteurs de la génétique Holstein se sont réunis d'une part en deux consortiums concurrents et d'autre part en « club » des pays génomiques au niveau d'Interbull, les « petits pays », bien que membres d'Interbull, se sont retrouvés à l'écart de la dynamique internationale organisée dorénavant autour de la génomique. Les deux grands consortiums ne souhaitent pas intégrer ces petits pays car ils estiment que les contributions au pot commun de génotypes doivent être à la hauteur des bénéfices que les pays membres peuvent en retirer. Or les bénéfices économiques de la génomique pour les systèmes de sélection des petits pays peuvent largement dépasser leurs capacités de contribution par l'adjonction de leurs génotypes à la population de référence commune. Certains petits pays, privés

ainsi de la possibilité de mettre en place leur propre sélection génomique faute des effectifs nécessaires à la constitution de la population de référence, ne souhaitent pas pour autant rester dépendants des importations de la génétique provenant des « grands pays ». En 2016, la Slovénie (membre d'Interbull, mais « petit pays ») a lancé une initiative pour réunir d'autres pays non génomiques autour du projet d'un nouveau consortium. Ce projet est porté par la représentante de la zone des pays d'Europe de l'Est au Comité de pilotage d'Interbull. Au moment de l'enquête, le projet en était à ses débuts : des réunions annuelles adossées à des événements internationaux sous l'égide d'Interbull, des discussions informelles dans des couloirs lors de ces mêmes événements, un soutien des uns et des critiques des autres.

Le modèle de ce consortium est pensé différemment par rapport aux deux consortiums déjà existants avec la race Holstein. Appelé « InterGenomics-Holstein », il reprend le modèle du consortium Intergenomics créé en 2009 par les producteurs investis dans la race Brune et qui a construit une stratégie que j'appelle de « coopération d'opportunité ». Les besoins de collaboration y semblent primer sur la concurrence économique, et tout participant est de fait le bienvenu pour contribuer au projet collectif autour du bien commun.

Intergenomics (Brune) est souvent cité par des acteurs d'Interbull comme modèle idéal de la coopération internationale. Les professionnels de la sélection (scientifiques, universitaires, évaluateurs nationaux, producteurs de semence) investis dans la race Brune se sont organisés à l'initiative de l'Association italienne des éleveurs de race Brune (Anarb) d'abord au niveau européen, puis en intégrant les États-Unis et le Canada, en mettant en place des modalités institutionnelles de gestion des ressources génétiques de la race au niveau international. C'est Interbull qui a servi de cadre institutionnel et technique à ce projet en mettant en place le service d'évaluation génomique internationale et en devenant un lieu de dépôt des données en provenance des différents pays. Enrico Santus, impliqué dans l'Anarb, coordinateur d'Intergenomics et représentant de l'Italie, de l'Espagne et du Portugal dans le Comité de pilotage d'Interbull, croit beaucoup en une stratégie de partage d'information pour une gestion efficace des biens communs que sont les races. Pour lui, la différence entre les modèles des consortiums de la Holstein et de la Brune réside dans les poids respectifs que les acteurs donnent (compte tenu des différences de configuration des réseaux construits historiquement) à la coopération et à la compétition. Il explique la démarche d'Intergenomics :

« L'idée est que la race [Brune] est trop petite au niveau national et que la seule façon de rivaliser au niveau international est de rassembler les forces. La coopération était donc beaucoup plus importante que la concurrence. Nous étions concurrents sur le marché, mais nous reconnaissons que la coopération était plus importante dans ce cas.

Nous avons donc commencé par coopérer avec nos concurrents. Et la première idée était de demander à Interbull de faire le travail. Pas un de nous, mais Interbull. Je pouvais proposer : "Ok, l'Italie pourrait faire le travail." Ou l'Allemagne, ou la Suisse. Mais je sais que ce n'était pas possible parce qu'à l'époque, la confiance n'était pas suffisante et qu'il était absolument impossible d'envoyer des génotypes en Allemagne ou aux États-Unis. La seule solution à l'époque était donc d'intégrer la gestion des données au sein d'Interbull en tant qu'organisation neutre. Il s'agissait de dire "Ok, envoyons les génotypes à Interbull et personne d'autre qu'Interbull n'y aura accès". En gros, c'est comme envoyer de l'argent à la banque. Vous ne partagez pas votre argent. Vous le gardez, même s'il n'est pas sous votre lit, mais à la banque. »⁷¹

La race Brune est la deuxième race bovine dans le monde (après la Holstein), avec environ 14 millions de têtes dont 8 millions sont officiellement enregistrées auprès des différentes associations de race. Ce qui la distingue de la race Holstein, c'est qu'il n'y a pas vraiment eu un leader sur le marché mondial (comme les États-Unis pour la Holstein). Même si les populations de la Brune ne sont pas toutes de la même taille et même si la sélection est aussi passée par la spécialisation laitière aux États-Unis, modifiant ainsi le standard initial de la race originaire des Alpes suisses, il n'y a pas de prédominance prononcée d'une population particulière sur les autres. Les voies d'organisation entre les acteurs pour faire face à la globalisation du marché des ressources génétiques diffèrent donc. Le consortium Intergenomics suit la voie tracée par Interbull en intégrant les changements liés à la génomique dans les modalités d'évaluation internationale. Le partage des génotypes par les pays membres d'Intergenomics (qui sont en même temps membres d'Interbull) permet de calculer les valeurs génomiques commensurées sur la base des évaluations génétiques également commensurées avec MACE. Mon enquête n'a pas spécifiquement porté sur la race Brune. Je me contente donc d'en présenter quelques éléments en contrepoint de l'organisation mondiale autour de la race Holstein. Il y a certainement des parties immergées de l'iceberg à étudier concernant Intergenomics comme modèle idéal-typique de la gestion globale des ressources génétiques bovines. Il est clair que les négociations qui ont permis d'aboutir au fonctionnement d'Intergenomics tel que présenté par son coordinateur ont été longues et mouvementées. Il aura fallu cinq ans avant que les acteurs n'acceptent de partager les génotypes des animaux (et surtout des jeunes taureaux), considérés comme des informations hautement confidentielles par les organisations nationales de sélection. Néanmoins, le fait qu'Intergenomics dans son fonctionnement soit pris en exemple par d'autres acteurs de la sélection bovine mondialisée comme un moyen efficace de distinguer les valeurs génétiques entre les pays, tout en utilisant le pool global de ressources génétiques, est un signe de l'existence d'une alternative à l'assemblage global avec et autour de la race Holstein.

Le consortium des petits pays de la Holstein – InterGenomics-Holstein – essaie de suivre le même modèle. Va-t-il y arriver ? Au moment de l'enquête, entre 2016 et 2019, les négociations en cours démontraient d'ores et déjà l'émergence d'un nouveau leader parmi les « petits » – l'Irlande – qui, au regard de la taille de population et donc du nombre de données en sa possession, commençait à dicter ses règles. La race Holstein présente décidément un cas exemplaire de la marchandisation du vivant selon le modèle néolibéral caractérisé par Aihwa Ong (2006) comme instrument de domination économique soutenu par la technoscience.

EuroGenomics et le projet d'évaluation européenne unique : comment ignorer l'effet d'interaction génotype-milieu ?

EuroGenomics a été créé en 2009, aux débuts du nouveau paradigme génomique de la sélection bovine sur initiative française. Son objectif était de concurrencer les pays nord-américains sur la précision des évaluations génomiques. Didier Boichard de l'Inra, un des protagonistes directs du moment, raconte le démarrage de cette initiative de coopération :

« Là, on est en 2009, les index génomiques sont officiels, ils ne sont pas extrêmement précis, mais pas mal. [...] Et c'est là qu'on voit le consortium américain qui arrive avec ses 10 000 taureaux et en France on n'en a que 4 000... Et on se dit qu'on va être pulvérisé. Et donc à ce moment, on est plusieurs à l'Inra à dire à l'Unceia : "Il faut que vous fassiez un contrepoids européen." Ce n'est pas forcément facile, parce que les Européens c'est les Allemands avec qui on s'entend bien d'habitude, mais c'est aussi les Hollandais qui sont vraiment les grands compétiteurs et puis c'est les Scandinaves, mais qui étaient à l'époque assez en retard sur la sélection génomique. Et puis après, l'Italie, mais qui est inféodée au Canada... On s'est dit, on va cibler. Donc, il y a eu un séminaire, organisé à Roissy avec des collègues du Danemark, des Pays-Bas et de l'Allemagne. Et donc moi, j'ai expliqué l'importance de la taille de la population de référence. Et puis, c'est à peu près tout ce que j'ai fait. Le reste du temps c'était des discussions entre professionnels. Et à ma grande surprise, ils sont devenus grands copains. Parce qu'ils n'étaient pas du tout copains avant. Et d'un coup, à l'automne 2009, ils ont décidé la création d'EuroGenomics et ce gros échange de données. Chacun fournissait 4 000 taureaux. Donc on est passé de 4 000 à 16 000, comme il y avait les quatre pays, comme ça, presque du jour au lendemain. Et du coup, au début 2010 on a eu un gain de précision assez considérable. »

Aujourd'hui, la population de référence européenne est constituée de 35 000 taureaux, ce qui dépasse celle des pays du consortium nord-américain, qui en possède 33 000. Huit membres fondateurs et seize membres associés représentent neuf pays d'EuroGenomics. Il s'agit notamment de CRV pour les

Pays-Bas et la Flandre, d'Évolution pour la France, de Viking Genetics pour les trois pays nordiques, de Conafe pour l'Espagne, d'une dizaine d'organisations de sélection associées en Allemagne. Ses membres sont des coopératives historiques d'insémination artificielle qui ont dorénavant le statut d'organisme et/ou d'entreprise de sélection (OES) en accord avec le nouveau Règlement zootechnique européen. Ce nouveau statut suppose que les OES réunissent en leur sein des fonctions liées aussi bien à la responsabilité des livres généalogiques, au contrôle de performances, à la certification de parenté, à l'évaluation génétique/génomique qu'au schéma de sélection, c'est-à-dire des missions aussi bien de sélection que de commercialisation. Le Règlement zootechnique européen entérine ainsi le passage du secteur de la sélection d'« un modèle très régalien, administré par l'État, à un modèle libéral », selon l'expression de Jean-Luc Chauvel, président de Races de France, qui fédérait l'ensemble des organismes de sélection français avant l'entrée en vigueur de ce nouveau règlement. La France est en effet le pays européen qui a gardé le plus longtemps ce système régalien et qui a subi de ce fait le plus gros bouleversement dans l'organisation de son système national de sélection. Le Règlement zootechnique européen exprime également la volonté d'uniformisation organisationnelle de la sélection au sein de l'Union européenne, motivée par la concurrence que l'industrie européenne continue de subir au niveau mondial de la part des entreprises américaines. Son texte, publié au *Journal officiel de l'Union européenne* en 2016, stipule dans son introduction :

« Dans le cadre de leurs politiques agricoles, les États membres se sont constamment employés à encourager, parfois au moyen d'investissements publics, la production d'animaux d'élevage dotés de qualités génétiques particulières en fixant des normes. Les disparités entre ces normes sont susceptibles de créer des entraves techniques aux échanges et à l'entrée dans l'Union d'animaux reproducteurs et de leurs produits germinaux. [...] Le but de ces directives est aussi bien de favoriser le développement de l'élevage dans l'Union que de réglementer les échanges et l'entrée dans l'Union d'animaux reproducteurs et de leurs produits germinaux, maintenant ainsi la compétitivité du secteur de l'Union relatif à l'élevage d'animaux. »

Le fait d'inclure officiellement la fonction d'évaluation génétique au sein des OES, dont le nombre a augmenté au sein des pays, a dans les faits démultiplié les échelles d'évaluation existantes en Europe. Les cinq index officiels historiques des pays membres d'EuroGenomics sont aujourd'hui complétés par des index mis en place par des OES, comme celui de Gènes Diffusion en France, le GD Merit, qui précède l'index officiel français ISU dans le catalogue de l'entreprise. Même si le statut d'évaluation « officielle », c'est-à-dire reconnue par un organisme d'État, demeure, la question de la gestion de la diversité des index et donc de leur comparabilité se pose plus que jamais.

Subissant la pression croissante de la concurrence économique sur le marché international de la génétique Holstein, les membres d'EuroGenomics considèrent la stratégie commerciale américaine comme offensive. Non seulement certains pays du continent européen comme l'Italie et l'Angleterre ont rejoint le consortium nord-américain, mais des entreprises privées américaines commencent à racheter des coopératives historiques situées sur le territoire européen. C'est notamment le cas du rachat en 2017 de l'entreprise d'insémination artificielle britannique Cogent par le leader mondial de la production de semence sexée Sexing Technologies. À moyens équivalents en effectif du cheptel laitier, en taille de population de référence et en animaux génotypés, les entreprises des pays d'EuroGenomics vendent 3 à 4 fois moins de doses de semence sur le marché mondial que les entreprises américaines. EuroGenomics, avec la diversité de ses schémas de sélection – perçue, selon les industriels, comme une disparité par les acheteurs de la génétique sur le marché mondial –, se sent plus faible au niveau commercial, et entend procéder à la création d'un espace européen homogène avec un seul schéma de sélection pour la race Holstein. L'index européen unique opposé à l'index hégémonique américain TPI™ jouerait alors le rôle de la monnaie commune inspirée de l'euro, qui a jusqu'à un certain point égalé le dollar américain dans l'espace économique mondial.

Dans cette démarche concurrentielle contre l'Amérique du Nord et dans le but d'asseoir la sélection Holstein européenne, le consortium EuroGenomics (à la différence du consortium nord-américain) s'est institutionnalisé en prenant un statut de coopérative internationale. Il possède également une structure technique en son sein, Eurogenetics, qui réunit des experts européens pour un travail commun sur les aspects techniques et scientifiques des évaluations génomiques.

Avec le nouveau Règlement zootechnique européen, les discussions autour de la construction de l'évaluation unique de la race Holstein en Europe reviennent de manière de plus en plus insistante dans les réunions des membres d'EuroGenomics. Du point de vue de la génétique quantitative, le passage à l'évaluation européenne unique suppose d'ignorer l'effet d'interaction génotype-milieu et d'estimer que les corrélations génétiques entre les pays membres sont égales à 1. Pour les industriels, la prise en compte de l'effet de cette interaction est effectivement superflue et n'a que très peu d'impact dans la pratique de vente et de sélection, comme l'exprime notamment un des représentants de l'industrie française :

« De toute façon, c'est très peu pris en compte. À part quelques pays qui ont une démarche un peu particulière où ils savent qu'il y a une réelle interaction et qu'il faut essayer de la mesurer pour savoir quelle peut être la génétique la plus adéquate pour faire des choses. Mais ce sont des choses extrêmement confidentielles. Le gros de la troupe

ne prend pas en compte cette dimension, regarde le classement américain : si le taureau est bon dans le classement américain, c'est qu'il est bon pour moi et voilà. »

Les entreprises commerciales membres d'EuroGenomics mettent alors depuis 2017 la pression sur les généticiens investis dans Eurogenetics pour trouver une solution technique *ad hoc*, simple, rapide et efficace, qui s'exonérerait de l'effet d'interaction génotype-milieu. Les scientifiques impliqués sont réticents : d'une part, cela va à l'encontre de leur objectivité et du travail de longue haleine effectué avec Interbull, et, d'autre part, le retrait de $G \times E$ des modèles nationaux d'évaluation génétique signifierait une refonte de ces systèmes en profondeur. Le réarrangement des liens au sein des agencements sociobiotechniques est un processus aussi complexe lorsqu'on y introduit un nouvel élément que lorsqu'on en retire un. L'harmonisation doit commencer en premier lieu bien en amont du domaine de compétences scientifiques, avec une révision des objectifs de sélection, des pratiques de mesure par les éleveurs, les vétérinaires, le contrôle laitier, etc. Pour certaines mesures comme la quantité de lait produit ou la taille de l'animal, qui sont définies et évaluées de manière relativement homogène dans tous les pays, il est possible de reconnaître que l'effet de $G \times E$ sur la valeur génétique est assez faible, et donc que l'effort d'harmonisation est minime. En revanche, pour d'autres caractères plus complexes comme la fertilité, qui n'a pas la même définition partout, et qui est de fait mesurée de cinq manières différentes selon les pays, l'harmonisation est difficile. Elle est même inenvisageable en toute rigueur scientifique lorsque l'on prend en compte les différences des zones climatiques entre le nord et le sud de l'Europe, car l'effet du climat (notamment la température et la luminosité) sur la fertilité des animaux est très fort. Bref, c'est un processus long et coûteux.

L'expérience des trois pays nordiques (la Suède, la Finlande et le Danemark) en témoigne : ils ont mis près de huit ans pour réunir leurs schémas de sélection et leurs systèmes d'évaluation génétique entre 2002 et 2010. En attendant que le nouveau système se stabilise, une perte de fiabilité des évaluations avantagerait les concurrents sur le marché mondial. Les industriels d'EuroGenomics restent néanmoins fermes sur leur volonté de réunir des systèmes d'évaluation pour avoir un seul et même index européen face à la concurrence américaine. Cette volonté est également motivée par l'optimisation des coûts de *back-office* (dont l'évaluation fait partie), secondaires par rapport à ceux de production et de commercialisation des produits génétiques. Ce genre de dialogue témoigne du désaccord entre les scientifiques et les industriels au sein d'EuroGenomics :

Scientifique : « Pourquoi ne pas discuter des améliorations communes en marketing ? »

Représentant des industriels : « Le marketing est surtout opéré au niveau national. Il y a trop de différences. »

Scientifique : « Vous devriez l'harmoniser aussi. »

Représentant des industriels : « Oui... mais ce n'est pas possible. »

Scientifique : « Et puis, si vous pouvez arrêter d'acheter systématiquement vous-même des taureaux américains... »

(extrait d'une observation à EuroGenomics en 2018)

En dehors de l'axe concurrentiel États-Unis *vs* Europe, il y a la dichotomie industrie coopérative *vs* industrie privée comme conséquence de la libéralisation du marché de la génétique animale. Avant l'avènement de la génomique, c'est-à-dire avant 2009, le poids des acteurs privés dans le domaine de la sélection bovine était faible. Depuis, on constate une montée en puissance d'acteurs privés (American Breeders Service, Sexing Technologies, Data Genetics, Zoetis) qui investissent le marché de la sélection en privatisant les ressources informationnelles. L'enjeu pour les industriels des coopératives, qui sont soutenus également dans cette démarche par les scientifiques, est de garder entre les mains des éleveurs la maîtrise ainsi que la valeur ajoutée de la génétique.

Le Règlement zootechnique européen joue également en faveur d'une harmonisation maximale des systèmes nationaux de sélection génétique animale en Europe pour améliorer la compétitivité du marché européen dans le reste du monde. L'Europe, de ce fait, s'aligne sur le modèle américain tout en continuant à s'y opposer dans le discours. En continuant à défendre la rigueur scientifique, la complexité des dispositifs technologiques impliquant des organismes biologiques et la diversité nécessaire à la durabilité de la sélection, les généticiens européens, ayant perdu le pouvoir de décision, acceptent de s'engager avec les industriels d'EuroGenomics dans un projet technopolitique commun qui vise à retirer le facteur d'interaction génotype-milieu – savoir devenu inutile et même gênant – de la qualification des produits génétiques européens et à admettre le même « milieu » partout : de la Suède à l'Espagne, et de l'Espagne à la Pologne.

Chapitre 7

Les enjeux de la vache globale dans les pays en développement

Mes réflexions sur les relations entre pays développés et pays en développement⁷² dans des domaines hautement technologiques et en même temps impliquant des organismes vivants ont commencé lors de mon expérience professionnelle au sein du service des relations internationales de l'Inra. J'ai notamment pu participer au projet GenoSouth, initié et coordonné par Vincent Ducrocq, généticien à l'Inra, qui assistait les pays émergents comme l'Inde, l'Afrique du Sud, le Brésil et le Kazakhstan dans la mise en place de la sélection génomique. Sur le terrain, les vaches et les taureaux me sont apparus, de manière très surprenante, porteurs de tant d'enjeux – économiques, politiques, scientifiques, culturels, écologiques, sociaux – autour desquels s'affrontaient différents intérêts nationaux et différentes logiques d'acteurs.

Aujourd'hui, l'espace global de la sélection Holstein se trouve sous le paradigme technologique de la génomique et est régi de ce fait par quelques grands pays développés précurseurs en la matière. Néanmoins, les circulations internationales des ressources génétiques vont bien au-delà de ce cercle restreint des « grands » pays, et sont problématisées par un nombre de pays bien plus important qu'au milieu des années 1970, quand a débuté le projet d'Interbull. Certains pays en plein développement de leurs productions animales veulent participer au marché global sans subir les importations. Ils souhaitent connaître la valeur locale de la vache globale.

Dans le domaine de la génomique humaine, on voit surgir des revendications identitaires nationales ou ethniques. Des pays et des régions du monde non occidental – en Asie (Ong, 2016), dans le monde arabe (Moulin, 2018) ou chez les Amérindiens (Stolz, 2009) – utilisent la technologie du séquençage du génome pour valoriser leurs spécificités génétiques, notamment dans leurs implications médicales. Dans le domaine de la sélection bovine, les enjeux identitaires s'expriment aussi. L'expansion du marché de la génétique bovine des pays développés vers les pays en développement place ces derniers devant

plusieurs options : adopter le standard génétique et le système de valeurs d'un des pays producteurs sans tenir compte des différences du contexte ; choisir sa génétique ailleurs mais selon un critère de milieu jugé similaire ; donner une place prépondérante aux critères du milieu et de la souveraineté nationale et opter pour la construction d'un système local d'évaluation. Aussi, à l'ère de la génomique, fédérer des acteurs aux convictions différentes pour construire un projet national ou régional dans le domaine de l'élevage devient-il de plus en plus important et de plus en plus compliqué en même temps (Labatut *et al.*, 2014). Regardons de plus près différentes stratégies adoptées par des acteurs de quelques pays en développement face aux enjeux portés par la sélection génomique globale.

Enjeux économiques : une diversité d'intérêts

Les enjeux économiques de la sélection animale dans les pays en développement sont ancrés dans ce que la FAO a appelé dans son rapport sur l'élevage de 2009 « la révolution de l'élevage » :

« L'explosion de la demande d'aliments d'origine animale des pays enregistrant les taux de croissance les plus élevés a entraîné d'importantes hausses de la production animale, soutenues par de grandes innovations technologiques et d'importants changements structurels dans ce secteur. » (FAO, 2009, p. 7)

Les pays émergents dont les systèmes agricoles sont soumis aux pressions des besoins alimentaires en protéines animales sont en effet à la recherche de moyens pour augmenter leurs productions. La sélection fondée sur de hautes technologies est considérée comme un moyen efficace pour accélérer le progrès génétique et ainsi améliorer les productions.

Trois types d'acteurs porteurs d'intérêts économiques différents, tantôt divergents, tantôt complémentaires, me sont apparus sur le terrain des pays en développement.

Les acteurs étatiques ou publics pensent « intérêt national », augmentation des productions par la filière dans son ensemble, autosuffisance alimentaire nationale, positionnement du pays sur le marché international. Au Kazakhstan, le programme national de redressement de la filière des productions bovines, défini en 2011 par le ministère de l'Agriculture, visait avant tout une amélioration de la compétitivité du pays sur le marché mondial et surtout une augmentation des exportations de viande vers le marché russe.

Les acteurs associatifs, coopératifs, non gouvernementaux et souvent les scientifiques du secteur public défendent l'« intérêt social » et le bien commun

en visant les avantages socio-économiques des éleveurs. L'acteur exemplaire en la matière est l'ONG indienne BAIF, qui se positionne dans le cadre et à contre-courant de la Révolution verte. Héritière de l'œuvre de Gandhi, la BAIF, s'investissant auprès des petits producteurs, qui sont majoritaires en Inde, se donne pour mission de développer l'agriculture du pays en privilégiant la production par les masses et non la production de masse⁷³. Au Kenya, ce sont les chercheurs de l'ILRI (International Livestock Research Institute, un des instituts du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale, CGIAR) qui s'impliquent dans le programme de sélection au niveau de quelques pays d'Afrique de l'Est en faisant profiter les éleveurs locaux des technologies modernes comme l'évaluation génomique (Brown *et al.*, 2016 ; Ducrocq *et al.*, 2018).

Les acteurs économiques, entreprises de semence, grandes fermes-firmes qui fleurissent dans de nombreux pays émergents, mais aussi éleveurs individuels de troupeaux plus ou moins grands, ont leurs propres ambitions de développement économique basé sur l'« intérêt privé », l'approche individuelle de rentabilité à court terme dans une logique de libre concurrence. Ainsi par exemple, les gros éleveurs des pays comme l'Afrique du Sud, le Brésil ou le Kazakhstan gèrent leurs fermes comme des entreprises, s'impliquent difficilement dans les programmes collectifs nationaux, décident individuellement de leurs orientations de développement et mettent en place leurs propres schémas de sélection.

Cette configuration d'acteurs et leurs intérêts et demandes est coconstruite avec les stratégies économiques des pays développés. Les entreprises de production et de commercialisation de semence proposent un large choix de ressources génétiques évaluées selon différentes échelles nationales, en passant ou non par l'espace de commensuration d'Interbull. Une représentante de l'industrie américaine me le confirme :

« Pour la semence, les sociétés d'IA [insémination artificielle] donnent les informations que le client souhaite. Dans certains pays, les clients veulent le TPI parce qu'ils essaient de sélectionner le bétail par le TPI élevé et ils veulent donc trier sur le TPI. Dans d'autres pays, ils peuvent vouloir faire de la sélection pour le classement national. Dans ce cas, nous utiliserons l'indice Interbull, qui correspond à la valeur MACE. »⁷⁴

Certaines entreprises de semence proposent sur le marché international des doses produites dans leur pays, accompagnées de la valeur du taureau établie selon leur échelle nationale. C'est majoritairement le cas des entreprises nord-américaines. D'autres font un pas commercial vers le pays ciblé et s'y installent en élevant localement des animaux reproducteurs. Mais ils gardent néanmoins leur échelle nationale d'évaluation ou celle des États-Unis. C'est notamment le cas du CRV néerlandais qui développe cette stratégie de « glocalisation » au

Brésil et en Afrique du Sud. En localisant physiquement les animaux, on leur donne toujours une valeur « délocalisée », définie et calculée ailleurs. De temps en temps, pour certains taureaux et en fonction des pays, les entreprises font apparaître dans leurs catalogues des valeurs traduites *via* Interbull à l'échelle locale, mais ce n'est pas systématique.

Reconnu presque partout, l'index (G)TPI™ reste omniprésent dans les catalogues des entreprises commercialisant des ressources génétiques bovines. Les entreprises du monde entier sont prêtes à payer pour faire évaluer leurs reproducteurs selon ce standard américain, car c'est celui qui fait vendre le plus sur le marché international. Ce qui indignent certains généticiens, c'est que l'évaluation sur l'échelle TPI™ étant payante, les entreprises américaines doublent leurs gains en commercialisant d'une part la ressource génétique chez les importateurs, et d'autre part l'évaluation chez d'autres exportateurs. Les États-Unis arrivent ainsi à payer leurs programmes de sélection nationale presque entièrement grâce à leurs revenus à l'export et aux évaluations produites, tandis qu'en Europe notamment les éleveurs sont obligés de contribuer financièrement aux programmes nationaux de sélection. Mais la tension entre cet index hégémonique et les autres n'est pas uniquement une affaire de marketing plus ou moins bien mené. Elle est révélatrice d'autres tensions qui se sont accumulées dans l'histoire de la sélection bovine depuis au moins deux siècles, liées au désancrage de la valeur de l'animal.

Certains généticiens, conscients de ces problèmes, continuent alors à défendre des idées alternatives à celles des promoteurs du marché libre et insistent sur la régulation des circulations marchandes par des outils d'évaluation génétique et génomique. Héritières du projet d'Interbull, les intentions des généticiens qui s'impliquent dans le *capacity building* sur le terrain des pays en développement vont dans le sens de ces acteurs locaux qui ont des ambitions pour leur système de sélection national ou régional et optent pour la mise en place de leur propre évaluation génomique. Ils soutiennent ainsi l'idée de la diversité des valeurs accordées à la vache selon les milieux ainsi que de la souveraineté politique et économique de chaque pays et de l'autonomie des éleveurs dans leurs choix de la génétique. L'importance du lien entre la valeur génétique de l'animal et le milieu, qui va au-delà du système technologique de production, appelle ces acteurs à intégrer la notion d'interactions génotype-milieu ($G \times E$) dans les stratégies locales de sélection en mettant en place des systèmes d'évaluation *ad hoc*. Des projets de couplage entre la vente de la génétique et le *capacity building* sont en théorie possibles. À ma connaissance, au moment de mon implication professionnelle au sein du projet GenoSouth et de mon enquête sociologique, le seul pays qui a tenté une telle stratégie à l'export est la France, où une des plus grandes entreprises d'insémination, la coopérative Évolution, envisageait dans son développement international d'investir localement dans la production

des ressources génétiques, tout en s'associant avec des généticiens de l'Inra pour développer l'évaluation locale. L'idée était d'éviter la concurrence directe des entreprises nord-américaines dans les pays émergents en créant un nouveau modèle économique dans le secteur. Mais en 2017, au moment de mon enquête, cette stratégie était déjà caduque. Au Kazakhstan, l'achat des parts dans le centre local d'insémination n'a pas pu se faire ; et en Afrique du Sud, où Évolution a racheté le centre national Taurus en 2015, la politique de l'entreprise a radicalement changé face à la concurrence sur place. Taurus-Évolution a dû adopter la stratégie des entreprises nord-américaines sur la génétique Holstein et abandonner son plan de contribution au développement local.

Enjeux technologiques : la génomique comme technologie sociale

Certains pays émergents considèrent l'accès à la génomique dans l'agriculture comme un facteur de croissance capable de les mettre sur un pied d'égalité avec les pays les plus développés. Mais la compréhension de ce qu'est la sélection génomique est très variable parmi les acteurs des différents pays que j'ai pu rencontrer.

Compte tenu de la fascination générale des pays émergents devant les hautes technologies, l'évaluation génomique appliquée à l'élevage ne fait rêver les agences d'innovation que par ses implications biotechnologiques. La sélection génomique est ainsi vite réduite dans l'imaginaire des acteurs à la technique de séquençage ou de génotypage effectuée avec un équipement *ad hoc*. Cette vision, souvent trop optimiste quant à la facilité et à la rapidité de sa mise en place au niveau national, omet les exigences de structuration sociale du secteur de l'élevage et la coopération rapprochée entre la recherche et les éleveurs qu'exige cet appareillage technique.

Pourquoi une telle réduction ? Dans le chapitre 2, j'ai montré combien la publication de Larry Schaeffer (2006) est emblématique de la construction de la promesse technologique. Parmi de nombreuses promesses, une en particulier a été retenue par les acteurs économiques : l'arrêt du testage des taureaux sur descendance. L'autosuffisance de l'analyse génomique dans le processus de sélection permettrait de réduire considérablement les coûts liés au contrôle de performances. Selon Web of Science et Google Scholar, ce texte a connu un second souffle en matière de consultations et de citations à partir de 2017, lorsque les pays en développement ont entamé leurs démarches vers la sélection génomique et ont eu besoin de justifier leurs dépenses auprès des acteurs locaux et des organismes de financement nationaux et internationaux. Les promesses de réduction des coûts pour une fiabilité égale des évaluations, de simplicité

et de rapidité d'opérationnalisation et d'utilisation sont alors devenues des arguments essentiels pour diffuser l'innovation génomique, que ce soit dans les pays développés ou dans les pays en développement. Les spécialistes des pays développés annoncent clairement que la mise en œuvre de la sélection génomique dans les pays en développement est plus simple que le déploiement du testage des taureaux sur descendance :

« La sélection génomique, bien qu'elle constitue une technologie de pointe, est en fait plus facile à mettre en œuvre. Pour ce qui est de l'extension des technologies dans les pays en développement, je pense qu'il faut un changement radical dans notre façon de concevoir les choses. On peut imaginer un système assez simple. Pour la sélection génomique, vous avez besoin d'une population de référence. Vous pourriez avoir un projet d'aide qui finance sa création. » (entretien avec Michael E. Goddard)⁷⁵

C'est là qu'un problème apparaît dans la prise en compte des différences entre les pays développés et les pays en développement vis-à-vis d'une technologie telle que la sélection génomique. Très peu des nouveaux promoteurs de la génomique qui se réfèrent à la « stratégie d'application » de Larry Schaeffer dans les pays en développement ont conscience que la technologie telle qu'explicitée dans la publication s'adresse à des entreprises de sélection intégrées dans des systèmes de sélection anciens, bien rodés et surtout fondés sur un principe coopératif, notamment en ce qui concerne le contrôle des performances et la gestion des bases de données. Lorsque les démarches sont entreprises sur un socle neuf ou lorsqu'une refonte du système est en cours, la sélection génomique se révèle finalement aux acteurs locaux comme une technologie bien plus complexe que la technique du génotypage, et sa mise en place bien plus longue que l'achat de l'équipement biotechnologique. Même en changeant la « façon de penser les choses », comme le suggérait mon interlocuteur Michael E. Goddard, la mise en œuvre des outils génomiques dans les pays en développement reste une affaire compliquée (Ducrocq *et al.*, 2018).

Lorsque les adoptants potentiels réalisent cela, beaucoup abandonnent leurs projets, faute de moyens financiers, de connaissances et/ou de volonté d'investir dans le développement humain et social nécessaire pour établir toute la chaîne d'évaluation des conventions de mesure au calcul des index. Telle était notamment la situation au Kazakhstan, où le projet a été abandonné au bout de quatre années pendant lesquelles le génotypage de 3 000 animaux a été financé par l'État, sans que le problème de l'identification et du contrôle de performances de ces animaux ait été résolu et sans que la population de référence locale ait pu être établie. Tel est le cas de l'Afrique du Sud, où il est devenu plus facile de demander de l'aide à la communauté internationale pour constituer une population de référence suffisante à l'évaluation génomique que de trouver des données fiables localement. Et ce non par manque d'animaux dans l'absolu,

mais faute d'une organisation du secteur de l'élevage conforme aux standards internationaux de contrôle des performances.

L'innovation génomique se montre bien plus sociale dans les pays en développement qu'elle ne nous est apparue dans les pays développés. Dans ces pays à l'élevage « moderne », la génomique s'est posée sur le socle historique ancien de la sélection fondée sur les liens de coopération entre acteurs déjà dans un contexte industriel. Des bases de données fiables et bien gérées existaient déjà pour que la technologie de génotypage puisse rapidement porter ses fruits et pour finalement s'affranchir des liens sociaux sur le terrain en les transférant vers une sphère de valeurs numériques bien plus utiles aux « politiques des grands nombres » et au marché global. Dans les pays en développement, les liens sociaux sont d'abord à construire au niveau local dans une perspective d'industrialisation de l'élevage, mais l'espace global déjà constitué contribue à ignorer cette étape cruciale des conventions sociales.

Enjeux politiques : le biopouvoir des vaches

En incluant une perspective de développement social dans la mise en œuvre de la sélection génomique, l'exemple indien nous rappelle l'importance des conventions sociales inhérentes à tout processus de quantification. La fondation indienne BAIF participe à la construction d'une telle convention au niveau national en couvrant 16 régions sur 28 et en touchant 5 millions de petits producteurs indiens pour recueillir des données fiables et produire une évaluation génétique/génomique adaptée aux besoins locaux. Son objectif, comme en témoigne sa devise déjà citée, est de développer une production par les masses et non une production de masse. La dualité du paysage social des productions bovines est en effet très forte en Inde comme dans les pays émergents en général⁷⁶. Elle paraît même extrême, avec une répartition des productions de 99 % pour les petites fermes et l'agriculture de subsistance, et seulement 1 % pour les grandes fermes-firmes. Si l'État indien reconnaît et soutient la mission de la BAIF (ou du moins ne l'empêche pas), c'est qu'elle répond à ses ambitions politiques, qui se situent entre le protectionnisme national et une image à véhiculer à l'étranger. En soutenant les petits producteurs, l'Inde fait plutôt exception dans les pays émergents, où la priorité est souvent donnée à l'appui économique des grands producteurs.

Les vaches zébus indiennes, considérées comme sacrées et qui produisent aussi du lait, sont adaptées au climat tropical. Elles représentent donc des ressources génétiques précieuses pour l'élevage dans les pays du Sud. D'un côté, extrêmement fier de ses races indigènes, l'État indien les protège en rendant les conditions d'exportation des races locales et d'importation des races exotiques extrêmement

complexes. Le Brésil, par exemple, qui a importé il y a plusieurs décennies les races indiennes Gir, Sahiwal et Ongole pour créer des races locales plus productives, n'a plus accès aux apports en génétique en provenance de l'Inde. Ainsi la race Girolando, issue du croisement de la Gir et de la Holstein et devenue la race laitière majoritaire au Brésil, souffre d'une variabilité génétique faible compte tenu d'un nombre limité d'individus initialement importés et de l'impossibilité d'injecter du « sang neuf » de la race Gir en provenance de son pays d'origine. L'Inde a également bloqué l'importation de ces races améliorées sur son territoire. Dans le cadre de cette politique protectionniste, le gouvernement indien, au travers des organismes nationaux de recherche, investit dans la caractérisation de la moindre différence au sein des populations bovines pour en faire une nouvelle race⁷⁷ et l'inclure dans le patrimoine génétique et culturel national. D'un autre côté, le gouvernement indien promeut ses races à l'étranger. En témoigne un acte de diplomatie bovine de 2018, lorsque le Premier ministre indien Narendra Damodardas Modi a offert 200 têtes de vaches à son homologue rwandais comme « symbole d'amitié entre deux peuples » et en guise d'aide humanitaire aux paysans pauvres du pays, comme le rapporte la revue indienne *Dhaka Tribune*⁷⁸. Cela questionne la stratégie indienne à moyen et à long terme sur le marché international des ressources génétiques bovines. Le positionnement potentiel du pays comme plaque tournante de la génétique bovine tropicale est tout à fait plausible. Les projets actuels de développement des puces génomiques portés par les organismes d'État – le NDDB et l'ICAR – ont pour l'instant vocation à servir le marché interne. Mais une fois que la puce customisée sera scientifiquement et technologiquement validée et contiendra les marqueurs moléculaires utiles et utilisables pour les races locales, pures et croisées, adaptées aux conditions de l'agriculture tropicale, l'Inde pourra la commercialiser à l'étranger et devenir exportateur de ressources génétiques vers les pays tropicaux.

Le Kazakhstan nous donne un autre exemple d'une (bio)politique bovine. L'ambition de développer les productions bovines à l'aide des technologies les plus modernes a été inscrite dans la construction identitaire nationale de ce pays, indépendant de l'Union soviétique depuis la fin du xx^e siècle. Le Programme national du développement avançait entre autres un argument relevant de la construction d'un imaginaire culturel collectif : les peuples du Kazakhstan sont des éleveurs traditionnels, et l'art de l'élevage est inscrit dans leur mémoire ethnique.

En Afrique du Sud, les généticiens, en lançant en 2016 le projet national de sélection génomique des bovins laitiers (DGP, pour Dairy Genomic Project), avaient pour ambition de réunir les éleveurs autour d'un objectif commun et d'améliorer collectivement le positionnement économique du pays dans le domaine des productions laitières. Cela n'a pas été dit explicitement, mais on

pouvait lire entre les lignes des discussions entre acteurs que, dans la situation politique post-apartheid, il s'agissait aussi de réunir les éleveurs majoritairement blancs issus des immigrations européennes pour réaffirmer leur place dans un pays en pleine crise raciale rejetant les acquis du passé occidental.

En fonction de sa situation, de ses ambitions et de ses traditions, chaque pays mobilise ainsi les vaches et les technologies qui les accompagnent pour exercer son « biopouvoir » dans le sens foucauldien du terme élargi au contrôle des processus de la vie toute entière.

Enjeux biologiques : la poursuite du combat des généticiens pour l'interaction génotype-milieu

Quid de la vache comme organisme vivant ? Comment sa nature biologique se manifeste-t-elle dans ces jeux politico-économiques ? Comme je l'ai montré dans la première partie de ce livre, elle reste bien présente, malgré toutes les tentatives de réduire l'animal à une série de chiffres et de l'extraire de son milieu, que ce soit physiquement ou au niveau du calcul de sa valeur. Il faut juste savoir y porter son regard. Elle se manifeste lorsque le bétail importé ne s'adapte pas et tombe malade ou meurt, ou simplement ne produit pas assez ou nécessite un environnement artificiel proche de celui des pays exportateurs. Elle se manifeste lorsque les prédictions de l'amélioration génétique annoncées dans les index ne se réalisent pas, comme en témoignaient les éleveurs au Kazakhstan et en Afrique du Sud. Elle se manifeste encore lorsque les généticiens, au terme de savants calculs, se rendent compte une fois de plus de l'importance de l'effet d'interaction génotype-milieu dans la performance des animaux. Ainsi, en Afrique du Sud, comme nous le verrons plus en détail dans le dernier chapitre, l'enjeu pour les généticiens est de modifier la méthode d'évaluation génétique actuelle en y intégrant cette notion d'interaction génotype-milieu.

Certains acteurs des pays en développement sensibles aux questions de biodiversité et de préservation des ressources biologiques locales prennent souvent eux-mêmes des initiatives, notamment en recherche, pour faire avancer ces questions en matière de sélection bovine. En 2018, au Congrès mondial de génétique appliquée aux productions bovines (WCGALP, pour World Congress on Genetics Applied to Livestock Production), plusieurs chercheurs de pays en développement sont venus présenter leurs projets sur ces enjeux d'importance. Parmi eux, un chercheur de l'université de Zambie m'a fièrement montré son poster électronique sur la diversité génétique des bovins indigènes. Il m'a confié son inquiétude sur la globalisation des races très productives et sur la menace qu'elles représentent pour les races locales africaines. D'où l'importance, a-t-il insisté, pour les pays africains d'avoir leurs propres programmes

de sélection et de mettre en avant la diversité génétique de leurs races et la capacité des animaux à s'adapter aux conditions extrêmes des pays tropicaux. Il cherchait aussi des partenariats avec des scientifiques des pays développés pour l'aider à légitimer ses recherches sur l'effet d'interaction génotype-milieu des vaches locales.

Que devient alors la vache globale auprès de tous ces acteurs locaux, aux enjeux et intérêts différents et souvent divergents ? La Holstein représente-t-elle toujours le rêve de l'animal moderne, productif et standardisé selon les paramètres technologiques ? Les calculs si valorisés dans les pays développés ont-ils le même poids et la même signification pour objectiver la valeur de l'animal dans les pays en développement ? Une enquête approfondie auprès des acteurs sud-africains nous éclairera là-dessus.

Chapitre 8

Les connexions locales de la vache globale. Le cas de l'Afrique du Sud

Parmi les pays dits « en développement » ou « émergents », l'Afrique du Sud peut se targuer de sa très longue histoire avec la vache Holstein-Frisonne depuis la colonisation des Boers venus d'Europe. Elle a donc été témoin et protagoniste des changements structurels du pays. Membre d'Interbull depuis 1994, l'Afrique du Sud possède en théorie les outils et les connaissances nécessaires au bon fonctionnement de la sélection nationale. Sauf que la fameuse révolution génomique, avec tout le réagencement de l'espace global, l'a cantonnée au statut de « petit pays » non génomique. En corollaire de la globalisation du marché des ressources génétiques, le pays a perdu en même temps son seul et unique centre national d'insémination artificielle et est devenu de ce fait importateur net de semence bovine.

Très contrasté par sa position hybride entre les pays du Nord et du Sud, industrialisés et non industrialisés, par son passé colonial et son régime d'apartheid hors du commun dont l'écho se prolonge dans la situation politique actuelle, le pays l'est aussi du point de vue de ses systèmes de production bovine. Ses productions animales sont principalement orientées vers la production de viande, et le nombre de races allaitantes est important : 33 races constituent le patrimoine génétique et culturel de l'Afrique du Sud telles que Nguni, Bonsmara ou Brahman. Le cheptel laitier est officiellement représenté par seulement 3 races internationales : la Holstein (environ 40 %), la Jersiaise (environ 40 %) et la Ayrshire (10 %). La Guernsey et la Brune sont également présentes sur le territoire, mais sont très minoritaires et n'ont pas d'associations d'éleveurs. La production laitière sud-africaine représente 0,5 % de la production mondiale, loin des géants en la matière comme l'Inde et les États-Unis. Et la consommation interne se concentre dans les quatre grandes villes du pays : Johannesburg, Pretoria, Le Cap et Durban – les grands centres historiques de l'installation des

ressortissants européens. Les systèmes de production laitière sont représentés par deux types d'exploitations bien distincts : extensif en pâturage dans les régions du Cap-Oriental et de KwaZulu-Natal ; intensif en TMR dans le reste du pays. Le pays propose ainsi une stratégie d'application de la notion d'interaction génotype-milieu, au cœur de mon analyse de la construction de la vache globale par des outils de génétique quantitative au service de la sélection. Mais cette stratégie chère aux généticiens n'est pas partagée par tous les acteurs. Le marché global des ressources génétiques a en effet quasiment éliminé leur production locale. Les géants exportateurs nord-américains (comme World Wide Sires, American Breeders Service ou Semex), européens (comme le néerlandais CRV) et néo-zélandais (comme Livestock Improvement Corporation) couvrent globalement le marché local de la semence bovine. L'Afrique du Sud est devenue importateur net de ses ressources génétiques.

La diversité et l'instabilité caractéristiques de cet État (comme de bien d'autres parmi les pays en développement) en font un terrain favorable pour une analyse des visions et des positionnements contrastés des acteurs de l'élevage bovin vis-à-vis des questions d'amélioration génétique. Ce dernier chapitre est donc l'occasion de présenter les connexions globales (Tsing, 2011) en œuvre sur le terrain.

Brève histoire de la sélection en Afrique du Sud racontée à travers la vache Holstein⁷⁹

La vache Friesland, comme on la nomme à ses débuts en Afrique du Sud avant qu'elle ne devienne Holstein, arrive avec les colons européens à l'extrémité sud du continent africain au cours du XIX^e siècle, parmi d'autres races à vocation laitière (Jersey, Guernsey, Ayrshire). Les bovins sont très politisés dans l'histoire de l'Afrique du Sud, et plus particulièrement à cette période où l'expansion coloniale cherche à imposer la domination européenne sur les peuples autochtones (Glover, 2018). Le remplacement du cheptel local, dont le culte constitue la vie spirituelle des ethnies, fait partie de cette politique. L'épisode historique du Cattle-Killing Movement est emblématique de l'histoire des conflits coloniaux du pays. En 1856-1857, le peuple autochtone Xhosa abat la quasi-totalité de son cheptel (de 150 000 à 200 000 animaux). Des chefs spirituels ont largement répandu la croyance selon laquelle, en tuant toutes les vaches sans exception, on ferait revenir les ancêtres de l'au-delà avec de nouveaux troupeaux qui aideraient à vaincre les Anglais et à libérer le peuple Xhosa. Cette tuerie, qui a provoqué une famine et la mort de plusieurs dizaines de milliers de personnes, affaiblissant considérablement la résistance des Xhosa aux Anglais, a été encouragée, ou du moins n'a pas été empêchée, par

les gouverneurs britanniques, qui l'auraient considérée comme potentiellement profitable à la politique de la colonie.

Plus tard, après la seconde guerre des Boers (1899-1902) et la signature de l'acte d'union, les Britanniques déploient différentes stratégies pour construire un État unifié. Les vaches sont de nouveau appelées à jouer leur rôle « diplomatique ». En 1905, un groupe d'éleveurs crée le premier livre généalogique d'Afrique du Sud (SA Stud Book) et une association pour gérer les inscriptions des animaux. Cette première institution bovine sur le continent africain cherche à appliquer la doctrine de Bakewell, qui se répand dans tout l'Empire britannique. Elle répertorie dans un premier temps tous les bovins, quelle que soit leur race, avec l'objectif politique de réunir tous les éleveurs blancs sous l'égide d'un projet national. À la même époque, on commence à officialiser les ventes aux enchères des animaux. En 1910, J.W. Roderick, fondateur de la première maison de vente, lance la tradition des ventes aux enchères annuelles. Les premières années, les taureaux de race Friesland obtiennent les meilleurs prix parmi d'autres taureaux, et la réputation de la race commence à monter. Roderick est également à l'origine des concours de troupeaux qui prennent en compte les généalogies des animaux et leurs productions. En 1912, la première compétition organisée récompense le troupeau des Friesland. La même année, des éleveurs de la race décident de créer leur propre association pour mieux gérer son développement et protéger leurs intérêts. La première Association sud-africaine d'éleveurs de race pure – la Friesland Cattle Breeders' Association of South Africa – voit ainsi le jour, établissant son siège à Bloemfontein où il se trouve encore aujourd'hui. Deux ans plus tard, sur le conseil d'un expert néerlandais invité, l'association décide d'éditionner son propre livre généalogique spécifique à la race. Ainsi, le standard de la race Friesland sud-africaine est progressivement mis en place et géré au sein de sa propre association, la seule association de race à se séparer de l'organisation SA Stud Book.

En 1922, l'association estime la race Friesland sud-africaine suffisamment mûre pour défendre son standard à une vente aux enchères en Grande-Bretagne. Sont ainsi envoyés par bateau en Angleterre 39 mâles et 64 femelles avec les meilleures généalogies. Leur vente sera un succès. Parmi eux, le taureau Terling Malthus, déjà mentionné, devenu célèbre pour avoir contribué à 6 % du patrimoine génétique de la race dans tout le Royaume-Uni.

À partir de ce moment, la race Friesland est considérée comme race nationale et fait la fierté du pays. En 1924, le premier numéro du *South African Friesland Journal* énumère ses mérites :

« Les Friesland sont de loin la race laitière la plus nombreuse en Afrique du Sud. Les Friesland détiennent tous les records de production de matière grasse et de lait dans tous les classements reconnus.

Les Friesland sont la race dont 81 % des vaches a produit plus de 1 000 livres de matière grasse en une année.

Les Friesland sont la seule race qui a produit 30 000 livres de lait en un an.

Elles se distinguent complètement des autres races. »⁸⁰

La race Friesland SA fait l'objet d'une promotion aussi bien à l'intérieur du pays qu'à l'étranger. Les critères du standard et leurs évolutions sont revalidés annuellement lors des assemblées générales de l'Association Friesland SA. Les concours et les ventes aux enchères deviennent des moments récurrents et importants, qui développent visuellement, institutionnellement, professionnellement et économiquement le standard national de la race. La profession des juges de concours comme garants de ce standard connaît une grande popularité ainsi qu'une sélection très stricte. Les portraits d'animaux champions aussi bien que de leurs propriétaires fleurissent dans la presse nationale. Dans la seconde moitié du xx^e siècle, l'école des juges de la race Friesland commence à dispenser des cours dans d'autres pays africains. Des cadeaux sous forme d'animaux Friesland sont offerts aux gouvernements des bantoustans et aux pays voisins comme le Lesotho ou l'Angola.

En 1977, une législation sur les activités de sélection animale se met en place sous le titre d'Animal Improvement Act⁸¹. Dans cette loi, l'association Friesland reçoit le statut officiel d'organisation responsable de toute évolution de la race en Afrique du Sud. Elle occupe encore aujourd'hui une place à part parmi d'autres associations de races enregistrées de leur côté sous le chapeau de SA Stud Book. SA Holstein prend ainsi ses propres décisions quant aux modalités d'évaluation et de sélection et se retrouve souvent à l'avant-garde des innovations technologiques susceptibles faire « progresser » la race. Les tensions politiques entre ces deux institutions persistent jusqu'à présent et traduisent leurs divergences de vue sur les modalités de gestion et d'évaluation génétique des animaux.

Malgré le positionnement national de la race, les importations des animaux frisons en provenance des Pays-Bas, de l'Angleterre, des États-Unis ou du Canada n'ont jamais cessé et ont même été encouragées par l'Association Friesland SA. Ainsi, la Friesland locale suit, avec un décalage dans le temps, les mêmes tendances d'évolution que d'autres branches de la Frisonne, et notamment la holsteinisation. De ce processus témoignent les changements de nom de l'Association des éleveurs de cette race. En 1990, la Holstein s'est ajoutée à la Friesland pour former le nom composé SA Holstein-Friesland Society (SAHFS). Et en 1998, elle a complètement destitué la Friesland et l'association s'appelle dorénavant « SA Holstein ».

Le développement technologique et scientifique pour l'amélioration génétique en Afrique du Sud suit, à une dizaine d'années près, les évolutions des grands pays occidentaux. Comme partout, c'est la Friesland qui accueille en premier

les innovations importantes. Selon les comptes rendus des assemblées générales de l'Association Friesland, ses représentants sont régulièrement invités par leurs homologues d'autres pays et assistent aux événements professionnels nationaux et internationaux, organisés notamment par la World Holstein Friesian Federation (WHFF). Ils en rapportent des informations sur les innovations qu'ils présentent à leurs confrères.

Au fur et à mesure, le contenu scientifique des réunions des assemblées générales de l'association s'affirme, jusqu'à créer son propre espace sous la forme d'un congrès annuel où interviennent les chercheurs reconnus sur des questions liées non plus seulement aux critères morphologiques du standard de la race, mais également à la physiologie et progressivement à la génétique des animaux. Les pratiques d'élevage et de sélection sont de plus en plus regardées au prisme des connaissances scientifiques. Un comité de diffusion des connaissances et des bonnes pratiques (Propaganda Committee) est créé auprès de l'association dès 1966 pour impliquer plus largement les éleveurs dans le progrès des troupeaux du pays.

L'arrivée de l'insémination artificielle, accompagnée de la cryoconservation, motive la création en 1955 de la banque de semence bovine (future Taurus) avec la première clientèle de race Friesland. Vers 1960, une mise en place du contrôle laitier et des tests de parenté à partir d'échantillon sanguin forge une base de plus en plus solide pour les évaluations par le testage sur descendance. S'ensuit l'informatisation, subventionnée par l'État, de tout le système de contrôle de performances. Et lors de la réunion du bureau de l'association en 1972, le président s'enthousiasme du début de « l'ère la plus importante dans l'industrie de l'élevage de race en Afrique du Sud ».

Néanmoins, il aura fallu attendre presque vingt ans pour que les méthodes de calcul des valeurs génétiques soient élaborées et validées par les scientifiques de l'Agricultural Research Council (ARC) et de l'université de l'État-Libre. En 1993, la méthode BLUP (voir chapitre 2) est adoptée par l'association pour évaluer les caractères morphologiques chez les animaux Holstein-Friesland. L'année suivante, le pays devient membre d'Interbull et, à partir de l'année 2000, après avoir passé les tests techniques nécessaires, intègre l'espace international de commensuration des valeurs génétiques.

Le changement radical du régime politique en 1994 et ses conséquences sur la dérégulation des dispositifs publics de la recherche, mais aussi la crise économique qui touche les éleveurs éteignent progressivement la dynamique collective nationale engagée dans l'amélioration génétique des bovins laitiers. Le marché global, *via* les distributeurs de semence étrangers, fait disparaître le seul centre national d'insémination artificielle, et avec lui le marché de la génétique sud-africaine en tant que « marque de fabrique » nationale internationalement reconnue.

L'organisation du marché de la semence en Afrique du Sud

En Afrique du Sud, 60 % des vaches laitières enregistrées officiellement auprès des associations de races sont inséminées artificiellement (*vs* 4 % de vaches allaitantes). Bien que cela représente un faible taux, surtout en comparaison avec les pays développés où la quasi-totalité des vaches laitières sont issues d'inséminations artificielles, la reproduction et l'amélioration génétique dépendent en grande partie du marché de la semence. La production nationale de semence ayant quasiment disparu depuis quelques années (non sans pression des exportateurs étrangers), ce sont les paillettes importées qui fournissent les ressources génétiques au marché local. La semence bovine vendue dans le pays, qui porte surtout sur les races Holstein et Jersiaise, provient principalement d'Amérique du Nord, d'Europe du Nord et de Nouvelle-Zélande. Le néerlandais CRV, au travers de sa filiale XSeed, l'américain World Wide Sires et Genimex, distributeur officiel de Viking Genetics, coopérative nord-européenne (Danemark, Suède et Finlande), sont les leaders incontestés et se partagent environ 90 % du marché sud-africain. XSeed et Genimex représentent également la coopérative néo-zélandaise LIC. D'autres pays exportateurs sont très marginaux, mais beaucoup cherchent bien sûr à gagner leurs parts du marché local.

C'est le cas d'une des grandes coopératives françaises, Évolution. Elle a racheté en 2015 l'entreprise de semence locale Taurus, alors en faillite, pour développer un modèle commercial alternatif à celui d'autres pays exportateurs présents sur place : celui de la sélection locale avec un apport de la génétique européenne riche en diversité. Taurus était jusque-là la seule entreprise coopérative sud-africaine qui commercialisait la semence locale. Depuis sa disparition, les quelques gros éleveurs locaux qui sélectionnent encore des taureaux reproducteurs le font principalement pour leurs propres troupeaux ou vendent de la semence directement à d'autres éleveurs de leur réseau professionnel. La plupart des distributeurs étrangers refusent d'acheter de la semence localement, motivant ce choix par la faible qualité génétique locale en comparaison de celle des taureaux des pays développés. Avant ma mission en Afrique du Sud, les représentants de la direction internationale d'Évolution m'avaient confié avoir remis en question leur stratégie initiale orientée vers la production de semence locale et sa valorisation sur le marché, après avoir comparé le potentiel génétique des meilleurs taureaux locaux à ceux élevés en Europe. Même avec une équivalence calculée *via* le système d'Interbull, la valeur génétique des reproducteurs sud-africains était jugée moins bonne pour le progrès génétique local.

L'existence d'un marché global oblige à aligner les exigences de qualité sur les « meilleurs » produits et les « meilleurs » producteurs. Les leaders du marché global de la semence sont aussi leaders en Afrique du Sud. Ils font plonger les plus petites entreprises dans l'« océan rouge » de la concurrence. Cette

référence à l'ouvrage de W. Chan Kim et Renée Mauborgne, *Stratégie océan bleu. Comment créer de nouveaux espaces stratégiques* (2010), a été utilisée par l'ancien directeur international d'Évolution au moment de la constitution de la stratégie du développement international de la coopérative : éviter la concurrence directe des nord-américains dans les pays émergents en investissant le créneau de la production de la semence locale. Mais, au moment de mon enquête en Afrique du Sud, Évolution a dû adopter la stratégie des entreprises nord-américaines sur la génétique Holstein et abandonner son plan de contribution au développement des ressources génétiques locales.

La génétique vendue en Afrique du Sud suit la spécialisation des types de production. Les éleveurs de l'est du pays pratiquant l'élevage en pâturage achètent principalement de la génétique néo-zélandaise. Le standard de vache néo-zélandaise est considéré comme optimal pour ces régions : petite, capable de marcher de longues distances, son estomac « en accordéon » s'adapte aux variations saisonnières de l'alimentation tout en permettant une production stable de lait. L'utilisation des valeurs génétiques néo-zélandaises en Afrique du Sud est critiquée par les généticiens, car, d'un point de vue scientifique, les climats et les objectifs de sélection font apparaître un effet important d'interaction génotype-milieu dans les calculs. Mais peu d'éleveurs de ce système de production en pâturage se soucient des détails du potentiel génétique des animaux qu'ils achètent. Ils privilégient clairement la quantité d'animaux à leur qualité génétique. De plus, utilisant le croisement entre races, principalement entre la Jersiaise et la Holstein, ils évitent naturellement les problèmes de consanguinité des troupeaux.

La génétique pour les productions TMR provient principalement d'Amérique du Nord et d'Europe du Nord. Ici, les éleveurs travaillent traditionnellement en race pure, se préoccupent de ce fait du respect des standards de race et valorisent l'environnement et l'alimentation contrôlés en complément de la génétique, bien choisie pour maximiser la production par animal. Beaucoup d'entre eux regardent les valeurs génétiques et génomiques des animaux à l'échelle américaine TPI™, qu'ils considèrent comme la plus universelle et efficace. Un éleveur de troupeaux commerciaux, dont une partie en Holstein, en est convaincu : « Un bon taureau américain est toujours bon en Afrique du Sud. » Son confrère et voisin poursuit : « Et le TPI est le meilleur ! »

Mais certains éleveurs Holstein (plus rares) préfèrent malgré tout la valeur locale des produits. Niccol, agriculteur multi-activités qui a un troupeau de 250 vaches Holstein, a l'habitude de faire de la sélection. Du temps de Taurus, le centre d'insémination local, il commercialisait la semence de ses taureaux dans le pays. Désormais, il continue à sélectionner, mais seulement pour les besoins de son propre troupeau. Pour lui comme pour son père – tous deux agriculteurs autodidactes –, la valeur locale de l'animal est la chose la plus

importante dans la sélection. « Nous avons toujours voulu soutenir le marché local, me confie-t-il, mais maintenant c'est surtout une question de disponibilité et de qualité de la semence. » Comme la plupart des éleveurs, il achète de la semence produite à l'étranger (Pays-Bas et États-Unis), mais dans les catalogues il regarde toujours la valeur sud-africaine obtenue par la conversion *via* Interbull : « Même si la fiabilité n'est pas très élevée, c'est de toute façon mieux que d'utiliser le TPI. »

Les catalogues des distributeurs de semence proposent en effet le plus souvent plusieurs échelles de valeurs des taureaux, mais les conseillers-commerciaux font rarement la promotion de l'échelle sud-africaine, jugée peu fiable car obtenue par un truchement statistique de données que j'expliquerai plus loin. Enfin, quelques grands éleveurs-sélectionneurs du pays organisent leur propre marché local. Ils continuent à produire leurs propres semences et embryons bien sélectionnés, et les commercialisent directement auprès des éleveurs qui, selon les paroles de Kobus, y « comprennent quelque chose en sélection génétique ». Ce dernier, éleveur-sélectionneur Holstein scientifiquement avant-gardiste, a même développé sa propre échelle d'évaluation génétique et génomique (SESI, pour Spitsvuur [le nom de la ferme] Economic Selection Index). Pour ce faire, il a adapté l'échelle d'évaluation américaine Fluid Merit Dollar (FM\$)⁸² à ses propres besoins de sélection. Il est en effet convaincu de l'importance de l'évaluation locale adaptée au contexte, et regrette l'absence d'un marché sud-africain capable de donner sa juste valeur à la génétique locale. Cette « juste valeur » d'après lui se mesure à hauteur de 200 000 rands (environ 10 000 euros au taux de conversion 2017) pour l'un de ses taureaux vedettes, alors que la station nationale d'insémination artificielle Taurus ne souhaitait pas le payer plus de 20 000 rands, c'est-à-dire dix fois moins. Il n'a donc jamais mis ses taureaux dans le pool génétique du marché national. Mais le marché évolue, et très rapidement, surtout dans ce pays qui continue à subir les conséquences du bouleversement politique et l'effet des changements climatiques. Les standards de race changent, la demande et l'offre des produits génétiques s'adaptent. Les deux types de production existants – TMR et pâturage – impliquent traditionnellement deux types d'animaux assez différents sur des caractères physiologiques et morphologiques. Les fermes en pâturage privilégient les vaches de petite taille capables de marcher de longues distances et résistantes aux variations nutritionnelles saisonnières, tandis que les exploitations intensives du type TMR demandent des vaches conformes au standard américain : grandes, maigres, dont la productivité est renforcée par un apport d'aliments concentrés. Mais dans le système TMR, la vache est moins productive si l'éleveur ne peut lui fournir une alimentation adéquate. Or cette alimentation est de plus en plus coûteuse, compte tenu d'une part des conditions climatiques changeantes avec des sécheresses à répétition, et d'autre

part de la crise économique dont le pays a du mal à sortir. Beaucoup de fermes TMR sont en faillite et disparaissent du circuit. Afin de pallier ces difficultés, les éleveurs agrandissent et diversifient leurs exploitations pour optimiser les dépenses, notamment en fourrage. Et la tendance générale du développement des productions bovines du pays va vers une migration progressive des systèmes TMR vers les pâturages (dans les régions où c'est possible), ou du moins vers les systèmes mixtes, car moins coûteux. Mais transférer la vache adaptée aux systèmes TMR vers le système de pâturage est impensable, car, très fragile, elle y sera peu productive. D'après les représentants des entreprises de semence que j'ai eu l'occasion d'interviewer, le standard américain de la vache Holstein est de moins en moins demandé par les éleveurs, qui privilégient dorénavant les vaches plus petites, moins exigeantes en aliments, plus résistantes à la chaleur et aptes à passer une partie de l'année en pâturage.

Les exigences des acheteurs de lait changent également en déplaçant progressivement la priorité du volume de lait produit, dont la vache Holstein issue de la sélection nord-américaine était championne, vers le taux de matières grasses dans le lait. Cela tient notamment au fait que le marché des produits laitiers cherche à répondre à la demande des consommateurs locaux noirs, souvent peu tolérants au lactose, et à proposer des produits gras fermentés (*maas* en afrikaans, ou *amasi* en zulu et en xhosa) traditionnellement consommés en Afrique. Cela oblige les éleveurs laitiers à faire des choix génétiques *ad hoc* pour augmenter la teneur en matières grasses dans le lait de leurs troupeaux. La race Jersey, dont le lait est plus riche en matières grasses, prend d'ailleurs de plus en plus de valeur. Et même les fidèles adeptes de la Holstein orientent leur sélection vers ce critère qualitatif du lait.

Comment est alors calculée la valeur de la vache laitière sud-africaine, dans cette période de transition politique et climatique vécue aussi bien par les humains que par les bovins ?

Le « centre de calcul » : une pomme de discorde technique et politique

À partir de la mise en place des méthodes statistiques BLUP appliquées à l'évaluation bovine, des formations ont été dispensées dans différentes universités sud-africaines. Au début des années 1990, une équipe a été montée au département animal de l'ARC par un jeune généticien, Japie van der Westhuizen, formé à la génétique quantitative à l'université de l'État-Libre. Les modèles d'évaluation génétique tels que décrit dans la première partie de ce livre se basaient sur le testage sur descendance et utilisaient les données fournies par les éleveurs, ainsi qu'en grande partie par le Centre national d'insémination

artificielle Taurus. Néanmoins, comme le lecteur l'a compris, le changement radical du régime politique du pays ainsi que la fameuse révolution génomique ont constitué le facteur de bouleversement du système de sélection national, qui bénéficiait jusqu'alors d'une dynamique collective et d'une routine relativement bien rôdée. Même les calculs, en apparence robustes, objectifs et apolitiques, en ont forcément pâti.

Au moment de mon enquête à Interbull (2016-2017), l'Afrique du Sud était le seul de ses membres à disposer d'une double adhésion au travers de ses deux organisations officielles, ARC et SA Stud Book, ce qui est contraire aux règles établies qui exigent l'adhésion d'un seul opérateur national reconnu par l'État. L'explication de cette exception est la suivante. En 2011, pour des raisons politiques, l'équipe de généticiens qui avait mis en place l'évaluation génétique quitte l'ARC. Cette équipe, montée par Japie van der Westhuizen, constituait le « centre de calcul » national : elle avait toutes les compétences nécessaires en modélisation et assurait le lien, d'un côté, avec les éleveurs, fournisseurs de données et destinataires de l'évaluation, et, de l'autre, avec l'espace international de la sélection bovine représenté par Interbull. En quittant l'ARC, elle a rejoint SA Stud Book, l'organisation responsable des livres généalogiques des races sud-africaines. Organisation coopérative historique des éleveurs, SA Stud Book a ainsi acquis une nouvelle compétence en devenant le centre de calcul national. Dorénavant, c'était à lui d'assurer, au travers des chiffres et de ses acteurs humains, des connexions entre les espaces local et global de la sélection bovine. Japie van der Westhuizen est toujours très activement impliqué dans les groupes de travail d'ICAR et d'Interbull, secondé par sa collègue Bernice Mostert. Je les ai rencontrés dans un premier temps lors des réunions d'Interbull. Avec ce déplacement de l'équipe, la base de données nationale Intergis s'est dédoublée, provoquant un conflit entre l'ARC et SA Stud Book.

Souvenons-nous de l'analyse des centres de calcul comme centres de pouvoir de Bruno Latour (2006) et décrite sur l'exemple d'Interbull dans le chapitre 4. Dans cette lutte de pouvoir, le procès engagé en justice par l'ARC a duré trois ans, pour se terminer en décembre 2017 en donnant raison à l'ARC et en obligeant SA Stud Book à partager ses données dans la base nationale commune dont l'ARC est l'unique responsable. Les compromis faits par les parties ont été validés par la décision du tribunal « dans l'intérêt de l'industrie sud-africaine de l'élevage dans son ensemble, afin de garantir une croissance et un développement durables et, en fin de compte, la sécurité alimentaire ». Ce conflit politique a été perçu par les acteurs de la sélection interviewés comme un problème technologique qui, d'après eux, a beaucoup ralenti le développement des productions bovines au niveau national, a retardé la mise en place de la sélection génomique et a mis en péril la participation de l'Afrique du Sud au marché international de la génétique bovine.

Par ailleurs, le Centre national d'insémination artificielle Taurus ayant disparu, racheté par une entreprise française, le secteur laitier, dépendant des fournisseurs de ressources étrangers et en l'absence du contrôle laitier organisé localement, n'alimente plus la base de données nationale à la hauteur des besoins dictés par le paradigme génomique de la sélection pour créer une population de référence *ad hoc*.

Les généticiens du centre de calcul sont de nouveau là pour trouver des solutions techniques. Ils appliquent diverses méthodes mathématiques utilisant les données et les outils disponibles pour évaluer les animaux locaux. « *Blending* » (mélange, mixage), disent-ils. Nous avons déjà rencontré une caractéristique semblable lors de la création du nouveau modèle d'évaluation internationale génomique dans le cadre d'Interbull. Un acteur interviewé l'a appelé « *massaging data* », ce que j'ai traduit par « bidouillage ». La situation était en effet similaire : un manque de données phénotypiques d'entrée. En utilisant le réseau international d'Interbull et de consortiums génomiques, les généticiens de SA Stud Book ont mis en place la chaîne de « traduction » suivante. Ils envoient des échantillons biologiques (poils, sperme ou sang) des animaux à évaluer dans des laboratoires de génotypage du monde entier : aux États-Unis, en Irlande, en France, etc. – là où le coût est plus faible qu'en Afrique du Sud. Ensuite, les résultats de ces génotypages sont envoyés au CDN (Canadian Dairy Network), avec lequel ils ont signé un contrat d'analyse de données sur l'échelle canadienne. Enfin, les valeurs canadiennes des animaux sud-africains sont traduites en échelle locale à l'aide des formules de conversion d'Interbull (voir chapitre 4).

« J'ai parlé à beaucoup de gens d'Interbull et j'ai demandé : "Est-ce que ça peut marcher ?" Et ils ont répondu : "Oui, pourquoi ne pas essayer ça ?" Évidemment, vous savez, c'est un compromis. » (entretien avec Japie van der Westhuizen)⁸³

Les généticiens de SA Stud Book proposent ce service aux éleveurs qui commencent à génotyper leurs animaux. Si cette méthode n'est pas parfaite, c'est déjà bien pour débuter. Les éleveurs et les sélectionneurs d'autres races que la Holstein se disent satisfaits, comme en témoigne notamment le directeur de l'Association de race Jersiaise. En effet, ils n'ont pas connu l'excellence technologique des évaluations que la race modèle a connues en matière de précision et de fiabilité des prédictions dues au grand nombre de données disponibles. Le compromis calculatoire fait évidemment baisser la fiabilité des évaluations, comme c'était le cas de GMACE d'Interbull. Les éleveurs qui font partie de l'Association SA Holstein n'adhèrent pas à ce « bidouillage » et préfèrent les valeurs génomiques annoncées par les entreprises de semence étrangères, aux coefficients de fiabilité élevés, même si l'échelle d'évaluation est construite avec des critères propres aux pays exportateurs.

« Nous ne croyons pas aux chiffres produits par BLUP. Nous ne pensons pas qu'ils sont justes, nous pensons qu'ils sont incorrects, nous n'avons pas confiance... Il y a peut-être 2 % des agriculteurs qui utilisent les chiffres locaux de BLUP. »⁸⁴

Pour remédier à ce problème systémique de fiabilité des évaluations, de confiance des éleveurs et de mise en place de la sélection génomique dans le pays, les généticiens sud-africains envisagent différentes stratégies. Celle de SA Stud Book, portée par Japie van der Westhuizen, est de faire partie du consortium international des « petits » pays InterGenomics-Holstein (voir chapitre 6). Le partage de phénotypes et de génotypes des animaux Holstein de plusieurs pays permettrait de bénéficier d'une population de référence assez conséquente et de mettre en place des évaluations génomiques fiables. Une autre stratégie, portée cette fois-ci par les universitaires, et notamment par le professeur Frederick Naser de l'université de l'État-Libre, est double : améliorer les évaluations génétiques locales en y intégrant le fameux effet d'interaction génotype-milieu, et gagner ainsi la confiance des éleveurs pour les enrôler dans la construction du système de sélection génomique locale.

L'interaction génotype-milieu dans la construction de la sélection génomique locale

Comme c'est le cas d'autres pays cherchant à développer leurs productions animales et végétales, l'enjeu actuel pour la sélection bovine sud-africaine est de mettre en place les outils génomiques. Du moins, c'est la conviction des acteurs scientifiques sud-africains investis dans le réseau international. « Nous voulons nous faire entrer dans l'ère de la génomique. C'est vraiment important pour nous sur le plan commercial et politique. Pour notre pays, je veux dire »⁸⁵, me confie sur un ton ferme le professeur Frederick Naser à Bloemfontein. Il en fait sa cause. En 2012, avec d'autres généticiens et quelques éleveurs avant-gardistes et influents, il a monté le programme génomique pour les bovins à viande (BGP, pour Beef Genomic Project) pour financer les génotypages. La portée économique nationale et continentale du projet a pu convaincre l'Agence de l'innovation technologique (TIA, pour Technology Innovation Agency) :

« L'Afrique du Sud possède un avantage concurrentiel en Afrique, car elle a adapté les races aux conditions et aux parasites qui prévalent en Afrique. À mesure que les pays d'Afrique investissent dans le développement de leur secteur agricole, l'Afrique du Sud peut jouer un rôle stratégique en fournissant au marché africain du matériel génétique et des technologies appropriées. L'Afrique du Sud a la possibilité de développer

considérablement son industrie de l'élevage et pourrait, à terme, devenir un exportateur net de ressources génétiques de haute qualité. »⁸⁶ (extrait de la description du DGP sur le site de la TIA)

Le programme BGP a été retenu pour le financement à condition qu'un projet symétrique soit monté pour les bovins laitiers. Mais les éleveurs laitiers ne se sont pas montrés aussi motivés que leurs confrères. Beaucoup d'entre eux ne voient aucun intérêt à la mise en place de la technologie génomique au niveau national. À la différence des éleveurs du secteur viande, qui travaillent en priorité avec des races allaitantes locales et même constituant un patrimoine national, les éleveurs laitiers ont accès à des ressources génétiques et à leurs valeurs génomiques sur le marché global.

« L'Afrique du Sud n'a pas besoin de sa propre évaluation génomique. Pas assez de population, pas assez de fiabilité, pas de marché pour la génétique locale. L'importation est la meilleure solution. Et les meilleurs taureaux sont définitivement en Amérique du Nord. » (discussion avec un éleveur-sélectionneur du Cap-Est)⁸⁷

« Avec cet argent, ils peuvent construire des milliers de maisons, des hôpitaux. Construire des chemins de fer. Les gens seront occupés. Ce serait un bien plus grand bénéfice pour les gens, pour le pays, qu'avec votre foutue génomique. Pour faire quoi ? Pour dire que dans vingt ans, je ne regarde plus les chiffres néerlandais, mais les chiffres sud-africains ? Je pense aux meurtres d'agriculteurs. Les agriculteurs sud-africains ont le taux de meurtres le plus élevé au monde⁸⁸. Investissez dans la sécurité enfin ! » (entretien avec un distributeur local de semence bovine étrangère)⁸⁹

Pourtant, enrôler les éleveurs et les fournisseurs de service d'insémination artificielle qui possèdent les informations nécessaires à la constitution de la population de référence nationale est indispensable à la réussite du projet génomique. Le paradoxe de cette innovation globalisée est en effet, comme l'affirment Julie Labatut et ses collègues (2014), qu'il est devenu crucial et en même temps plus que jamais compliqué de fédérer des acteurs. Le marché global des ressources génétiques devient quelque part un obstacle à la mondialisation de la technologie de leur évaluation. Les industries nationales des « petits pays » disparaissent, comme c'est le cas en Afrique du Sud, au profit des importations massives de semence en provenance des grands pays producteurs. L'ancrage local de la valeur génétique et le marché entretiennent une relation dichotomique. Les scientifiques généticiens sud-africains, dans la continuité de ceux qui depuis le début de l'histoire d'Interbull militent pour la valeur locale des animaux, essaient de démontrer objectivement par les calculs l'existence réelle de l'effet d'interaction génotype-milieu pour la valeur de leurs troupeaux laitiers. De plus, selon eux, il est nécessaire de tenir compte de l'existence d'un tel effet à l'intérieur du pays, qui possède deux systèmes de production laitière très contrastés tant du point de vue géoclimatique que

socio-économique : intensif en TMR et extensif en pâturage. L'ignorance de l'existence de l'effet $G \times E$ par la méthode actuelle d'évaluation génétique locale joue sur la confiance des éleveurs, qui critiquent la non-adéquation des index sud-africains à la réalité observée de leurs troupeaux. Un autre acteur interviewé, représentant d'une entreprise d'insémination artificielle, s'indigne en criant presque :

« Je vais me battre contre le Stud Book. Ils utilisent mal les chiffres sud-africains. Je n'utilise pas les chiffres sud-africains ! Ils sont faux ! »⁹⁰

Les généticiens sud-africains de l'université de l'État-Libre, dont le professeur Nesor, ont sollicité Vincent Ducrocq, généticien à l'Inra que nous resituons par le projet GenoSouth, pour une collaboration scientifique. Ensemble, ils sont convaincus que l'intégration de la mesure $G \times E$ dans les modèles d'évaluation est le point de passage obligé pour regagner la confiance des éleveurs, faire renaître l'industrie de la semence locale et construire la sélection génomique nationale afin de participer au marché global de la sélection sur un pied d'égalité avec les pays développés. Le DGP a finalement vu le jour un an après son équivalent pour les bovins viande. Un projet doctoral a été mis en place dans ce cadre pour approfondir l'implication de l'effet de l'interaction génotype-milieu dans le système national d'évaluation génétique. Michiel van Niekerk, doctorant à l'université de l'État-Libre, recruté en 2013 et co-encadré par Frederick Nesor et Vincent Ducrocq, explique :

« Mon projet vise à étudier comment inclure les variables climatiques pour calculer les valeurs de reproduction des animaux pour différentes régions. Les animaux ont peut-être une valeur de reproduction pour un environnement et une valeur de reproduction différente pour un autre environnement. Je sais que les prestataires de services en Afrique du Sud ne veulent pas du tout de cela. Ils ont peur de la façon dont cela sera reçu par les agriculteurs. »⁹¹

Son encadrant, le professeur Nesor, poursuit :

« J'espère que les recherches que nous menons actuellement permettront de convaincre les différents prestataires de services de distinguer fondamentalement les différents environnements de production. Et de fournir à ces différents environnements des valeurs de reproduction différentes. »⁹²

Outre ce doctorat, quelques milliers de génotypages de taureaux et de vaches laitières (3 000 environ au moment de mon enquête en 2018) ont été financés par l'Agence de l'innovation dans le cadre du DGP. Mais les résultats tardent à se concrétiser en population de référence. D'une part, ce n'est toujours pas

suffisant, car la part des taureaux testés sur descendance est minime et, d'autre part, une fois de plus, les génotypages seuls ne font pas tout. L'innovation génomique consiste à (re)construire tout un réseau sociobiotechnique et à (re)négocier les conventions de mesure à plusieurs échelles de l'espace professionnel de l'élevage, du plus local au plus global. Cela prend du temps, coûte cher, et la question des perspectives de la démarche se pose. Le partage des populations de référence entre les pays est matière à négociations longues et peu fructueuses, comme je l'ai observé durant mes trois ans de présence régulière lors des réunions internationales organisées par Interbull. Les éleveurs laitiers, ayant accès aux ressources sur le marché international et n'ayant pas l'ambition de soutenir l'idée nationale de production de ses ressources génétiques propres, ne sont toujours pas convaincus par la pertinence de participer à un tel projet de longue haleine. Obtenir donc des données phénotypiques bien mesurées et enregistrées en faisant participer les éleveurs au dispositif national du contrôle laitier relève également de négociations très ardues.

« Les agriculteurs s'en fichent. Mais encore une fois, c'est le manque de connaissances et d'éducation. Le problème est que, je pense, ils perdent parfois la perspective quand ils achètent la semence. Et ensuite, ils écoutent les gens qui ont intérêt à vendre plus de semence. Ils ne pensent pas à long terme. » (entretien avec Fredrick Nesor, professeur à l'université de l'État-Libre)⁹³

« C'est très difficile dans le monde laitier. Je pense que le marketing des sociétés d'IA [insémination artificielle] est en contradiction avec la science réelle. » (entretien avec Japie van der Westhuizen, directeur de SA Stud Book)⁹⁴

« Ils doivent se convaincre que vous avez raison. Vous devez donc leur fournir les bons outils pour qu'ils pensent que ce que vous croyez est juste. Ne les combattez pas, éduquez-les. » (entretien avec un ancien directeur de Taurus)⁹⁵

Le modèle linéaire de diffusion des innovations entre la science et les utilisateurs est toujours bien ancré dans les esprits et maintient la distinction entre les créateurs et les promoteurs « sachants » et les utilisateurs « ignorants », qu'il faut éduquer et convaincre d'accepter l'innovation. Regardons maintenant les pratiques des éleveurs qui participent inéluctablement à la construction de ce réseau de connexions bovines.

L'œil de l'éleveur pour préciser les chiffres... et *vice versa*

Les acteurs sud-africains de l'élevage bovin parlent beaucoup de l'appréciation visuelle ou de la visualisation « physique » (« regarder, voir physiquement », *seeing physically*), c'est-à-dire du jugement de l'évolution des performances (ou de la valeur phénotypique) en observant directement les animaux. Ils l'opposent

aux pratiques calculatoires des scientifiques généticiens. En effet, aucun calcul, aussi sophistiqué soit-il, ne remplace ce fameux coup d'œil de l'éleveur. Des études de terrain d'élevage menées par des sociologues et des anthropologues en témoignent. Que ce soit le cas de la Brune en Italie (Grasseni, 2005 ; 2007) ou de la Montbéliarde en France (Mougenot *et al.*, 2020), les pratiques de valuation visuelle et morale des éleveurs aident à faire « atterrir », selon l'expression de Bruno Latour (2017), la valeur abstraite de la vache globale dans un milieu donné. On retrouve ces mêmes pratiques de valuation visuelle chez les éleveurs sud-africains, où elles restent ancrées dans des traditions de concours vieilles de plusieurs décennies. La différence entre ces pratiques en France et en Italie d'un côté et en Afrique du Sud de l'autre, est que les deux premiers possèdent leur propre marché national de ressources génétiques, leur propre système de sélection et leurs propres échelles d'évaluation génétique et génomique, commensurées à d'autres échelles *via* Interbull. Autrement dit, en achetant la génétique à l'étranger, les éleveurs connaissent (ou du moins peuvent connaître) sa valeur sur l'échelle locale.

L'Afrique du Sud est en revanche importateur net de ressources génétiques des bovins laitiers, ne possède pas d'évaluation génomique et son système d'évaluation génétique est jugé très peu fiable en Holstein. Comment la « culture de l'œil » (Latour, 2006) intervient-elle ici dans le développement des méthodes modernes d'évaluation bovine ? Les pratiques observées de sélection locale en Afrique du Sud, combinant des bouts de valeurs génomiques en provenance des systèmes d'évaluation étrangers, des « bidouillages » calculatoires de données par les modélisateurs locaux et l'évaluation visuelle des éleveurs et des conseillers commerciaux, interviennent tantôt en complément tantôt en opposition aux méthodes calculatoires d'évaluation génétique et génomique. Dans ce sens, l'appropriation de la sélection génomique tant souhaitée par les acteurs des pays en développement, mais chassée gardée pour le moment de quelques pays développés, leur ouvre la voie à des chemins de traverse et à de possibles « bricolages » des valeurs locales à partir de ce qui se trouve sur le marché global. La tradition des concours, comme lieux et moments dédiés à leur valuation, est en effet toujours très présente en Afrique du Sud et est promue et animée par les associations de races.

J'ai eu l'occasion d'assister à l'un de ces « rituels » collectifs lors du concours régional des troupeaux Holstein de la région du Cap-Oriental en novembre 2017. Il a duré deux jours, et six fermes travaillant en système TMR ou mixte y ont participé. Comme tout se passait en afrikaans, ma compréhension des échanges se limitait aux traductions et aux explications en anglais que me donnait ponctuellement Mirtelize, l'employée de l'association SA Holstein. Quelques discussions avec les participants m'ont éclairée sur leurs motivations, leurs positionnements professionnels et certaines pratiques. Mais l'importance

de la perception visuelle « physique » dans la sélection des animaux était pour moi bien réelle.

Le concours est un événement convivial, chaleureux et professionnellement utile pour les éleveurs, mais aussi pour les entreprises sponsors (différentes entreprises d'insémination, de service et d'équipement). Les commerciaux de ces dernières sont d'ailleurs largement majoritaires dans le public.

Les juges (dont le directeur de l'association SA Holstein) regardent les vaches principalement par derrière (figure 17). Si nous nous rappelons la représentation de la vache pour les démonstrations de l'insémination artificielle (voir figure 3), l'existence technoscientifique de la vache limitée à sa partie postérieure est frappante. Les experts apprécient ainsi visuellement les caractères morphologiques principaux : la conformation des pattes et de la mamelle. Ils échangent entre eux, prennent des notes, remplissent des formulaires et annoncent à voix haute devant le public leurs conclusions pour chaque vache. Le fractionnement de l'animal lors de l'analyse visuelle fait partie de ce qu'on appelle l'« évaluation linéaire » (*linear evaluation*) des traits fonctionnels.

Introduit aux États-Unis dans les années 1980, le système d'évaluation apprécie les qualités morphologiques de la vache selon leur écart par rapport à un standard de référence. C'est comme si on prenait un mètre linéaire et qu'on mesurait. Sauf qu'en pratique, l'expert entraîné à voir à l'œil nu – qui, entraîné et professionnel, n'est pas si nu, mais « habillé », selon Latour (2006), avec des références, des normes et des protocoles qui constituent la pratique d'étalonnage – n'en a pas besoin. Ainsi, sur une échelle d'évaluation de 1 à 10, le 1 correspond à un écart minimum et donc à la note la plus élevée, et le 10 signifie que le caractère considéré de l'animal s'éloigne beaucoup du modèle idéal. Le directeur de l'association SA Holstein critique ce système d'évaluation, le jugeant économiquement peu efficace par rapport aux techniques génétiques et génomiques plus modernes, mais il fait état de l'attachement fort des éleveurs à ce type de visualisation physique des caractères morphologiques fonctionnels.



Figure 17. Coup d'œil expert lors du concours régional des troupeaux Holstein en Afrique du Sud.

Andrew, le gagnant de ce concours, éleveur et sélectionneur de plusieurs races – Holstein, Jersiaise et Angus (race allaitante) –, me confie qu’il croit beaucoup à l’importance des traits morphologiques sur lesquels il s’appuie pour sélectionner. Il approuve entièrement l’index américain TPI™ qui leur donne un poids important. Il est persuadé que, sous l’œil d’un spécialiste, la morphologie peut révéler tous les autres caractères importants.

En évoquant le regard du spécialiste, Andrew touche un point important dans la construction du marché des promesses génétiques : la confiance. Comme lui, certains éleveurs-sélectionneurs ne font pas confiance aux vendeurs de semence sud-africains. Ils veulent voir « physiquement » par eux-mêmes d’où vient la génétique. Andrew achète de la semence nord-américaine pour ses troupeaux, et va régulièrement aux États-Unis et au Canada depuis des années pour « voir et choisir le meilleur ». Une fois la lignée génétique vue et choisie, il peut passer commande *via* le distributeur local, mais pas avant. D’autres pratiquent ce que j’appellerais la « visualisation physique par procuration ». Ils font confiance à « celui qui a vu ». Tel est le cas de Jacobus, éleveur commercial de 1 200 vaches Holstein en système TMR dans la région du Cap-Ouest, qui fait confiance à Renée-Pierre, le commercial-conseiller représentant de l’entreprise italienne SemenZoo en Afrique du Sud. Ce dernier dit passer plusieurs mois de l’année en Italie à visiter les producteurs de semence et les fermes où cette semence est utilisée. Jacobus reconnaît alors son savoir-faire d’expert et lui confie le progrès génétique de son troupeau laitier. Comme l’exprime un expert d’une autre entreprise :

« Beaucoup d’agriculteurs n’ont pas vraiment besoin de s’impliquer dans les programmes génétiques et génomiques, car nous faisons beaucoup pour eux. Nous les conseillons. C’est suffisant. Ils n’en ont pas besoin. »⁹⁶

Pendant notre entretien de deux heures, ce dernier a été appelé trois fois par des éleveurs pour des conseils. Il répondait à chaque fois sans même regarder ses fichiers de taureaux disponibles à la vente et connaissait par cœur les noms ou numéros et les caractéristiques des vaches dans les troupeaux de ses clients. Il m’a dit qu’il « voyait » les animaux dans sa tête jusqu’à dix générations. Beaucoup me parlent de l’importance de la connaissance des lignées génétiques (les vaches et les taureaux descendants des mêmes parents). En effet, l’expertise s’acquiert par la visualisation répétée (Latour, 2006). Pour Andrew, il faut surtout suivre dans le temps les lignées, comparer les index numériques et les performances physiques et apprendre ainsi à « voir ». C’est ainsi qu’il est entré dans l’ère génomique. Méfiant au début, il a acheté ses premiers taureaux génomiques dans des lignées qu’il connaissait bien. Donc, comme il dit, il « n’a pas vraiment laissé la place à la surprise, les résultats étaient bons ».

Un autre éleveur participant du concours régional Holstein, surnommé Bull, donne ses préférences aux taureaux traditionnels, c'est-à-dire évalués après testage sur descendance, car « c'est plus sûr ». Néanmoins, il cède aux arguments marketing des entreprises d'insémination qui vendent les taureaux génomiques un peu plus cher : la génomique est une technologie du futur. Il dit qu'il croira tant qu'il verra le résultat concret sur son troupeau l'année suivante.

Un patron d'une entreprise d'insémination me parle des débuts de la génomique :

« Nous étions très enthousiastes. Et les agriculteurs l'étaient aussi. Notre génomique tournait autour de la morphologie. »⁹⁷

En effet, la visualisation physique chez ces éleveurs vient comme preuve de la fiabilité des valeurs quantifiées des traits invisibles. Beaucoup tiennent à l'index TPI™, car il est orienté vers les caractères perceptibles « physiquement » par l'éleveur. L'éleveur voit rapidement le résultat et fait confiance à cette échelle d'évaluation. Si la promesse de la conformation des pattes (longueur, forme) est tenue, on peut aussi certainement faire confiance à la prédiction pour d'autres caractères, moins visibles, comme la fertilité ou la résistance aux mammites. Souvent, en effet, on me parle des pattes chez les vaches. C'est un caractère qu'il est facile d'apprécier à l'œil nu et qui, d'après les acteurs, ne dépend pas (ou très peu) de l'environnement. Traduit dans le langage de la génétique, l'effet d'interaction génotype-milieu est minime. Ce caractère sert ainsi à étalonner en quelque sorte toute l'échelle d'évaluation.

La science de l'évaluation génétique locale n'a pas la confiance des éleveurs ni des conseillers commerciaux en insémination, car, d'après eux, elle ne regarde et ne voit pas « physiquement » les animaux. « Ils ne travaillent pas avec les vaches, ils travaillent seulement sur leurs ordinateurs »⁹⁸, critique haut et fort le représentant d'une entreprise d'insémination.

Néanmoins, les attentes des éleveurs envers le progrès génétique vont au-delà des traits morphologiques appréciables « physiquement » sur une échelle linéaire. Et là, ils sont bien obligés de s'en remettre à la science. La génomique permet notamment, d'après les scientifiques, de sélectionner efficacement sur certains caractères d'importance économique tels que la longévité ou la fertilité, que les méthodes de sélection antérieures ne permettent pas d'approcher. Nous avons déjà constaté que la quantification de la valeur de l'animal le rend en apparence totalement abstrait, virtuel, mais peut permettre de rendre bien visibles ses différentes valeurs. Il faut juste avoir les bons codes. Ce qui n'est pas une affaire facile. C'est dans ce sens que le directeur de SA Holstein tente d'« éduquer » les adhérents de l'association.

« Nous nous sommes rendu compte que la race Holstein posait un certain nombre de problèmes : la longévité, par exemple, nous l'avons toujours su. Mais comment faire pour la sélectionner ? Lorsque la génomique a commencé, nous avons pu essayer de sélectionner de nouveaux caractères, les caractères génomiques. Surtout pour la vie productive, la longévité, la fertilité, la facilité de vêlage. Nous avons eu beaucoup de critiques à ce sujet. Nous sommes la seule société à l'avoir fait, et nous ne sélectionnons toujours que sur les chiffres génomiques, quels que soient ceux que nous recevons du pays. Puis avec les résultats que nous avons vus, comment la race en Afrique du Sud s'est améliorée, je pouvais le voir en cinq ans, je pouvais physiquement le voir dans les fermes. Je pouvais physiquement voir... dans la première génération, je pouvais voir qu'il y avait une différence. »⁹⁹

Le standard mondialement promu et reconnu de la vache Holstein américaine portée par le fameux index TPI™ est finalement un bon moyen pour faciliter le rapprochement de la perception visuelle et des index calculés. Les éleveurs sud-africains regardent d'ailleurs non pas l'index de synthèse, mais plutôt des index unitaires qui correspondent chacun à un caractère qui les intéresse. Ils sélectionnent ainsi des taureaux améliorateurs pour tels caractères, non améliorateurs pour tels autres. Par exemple, ceux qui sélectionnent sur les critères du standard de vache américaine, grande et angulaire, choisissent (ou les conseillers commerciaux choisissent pour eux) dans les catalogues les taureaux porteurs du potentiel génétique au-dessus de la moyenne (index positif) sur le critère de la taille (*stature*). Ceux qui suivent la tendance sud-africaine des animaux plus petits, en particulier pour le pâturage, choisissent les taureaux porteurs du potentiel génétique en dessous de la moyenne (index négatif) sur ce caractère. Cette méthode de sélection sur des index unitaires est moins efficace en toute rigueur scientifique que la sélection sur un index combinant plusieurs caractères. Mais cette différence de précision est totalement négligeable pour un éleveur ou tout autre acteur économique pour lequel elle n'est pas visible « physiquement ».

Les éleveurs des systèmes extensifs en pâturage, qui regardent généralement très peu du côté de la génétique quantifiée, utilisent une méthode encore plus visualisable : le marquage sur le mur. Si une vache est plus petite que le trait tracé à une certaine hauteur, elle est inséminée avec la semence du taureau dont l'index est positif sur ce caractère. Si elle est plus grande, le choix tombe sur un taureau avec un index négatif. Encore plus simple dans la pratique du croisement génétique, les vaches les plus petites reçoivent la semence du taureau Holstein (race dont le standard porte sur les animaux de grande taille) et les vaches les plus grandes, celle du taureau Jersiais (race plus petite).

Certains des éleveurs-sélectionneurs – et c'est dire qu'ils ne sont pas nombreux, sur le terrain, on m'en a indiqué seulement deux pour tout le pays – ont des démarches plus complexes et suivent une stratégie à plus long terme.

Plus ils ont acquis de connaissances sur la génétique/génomique, plus leurs pratiques visuelles se déplacent vers les pratiques analytiques des calculs. C'est le cas de Kobus, le patron d'une grande ferme située au cœur du pays des Boers, dans l'État-Libre. Avec plus de 1 000 vaches Holstein, sa ferme a remporté à plusieurs reprises depuis 1989 le titre de la meilleure ferme de troupeaux élites¹⁰⁰ du pays, avec les meilleures productions et le meilleur niveau génétique. Reconnu comme éleveur le plus « progressif » et « moderne » du pays (selon les verbatims des acteurs), il est effectivement porté dans son activité par la science génétique :

« Je suis orienté vers la science et je ne veux pas faire de suppositions. Vous devez obtenir quelque chose à mesurer et quelque chose que vous mesurez doit avoir un sens, vous savez. Il faut que ça rapporte de l'argent, parce qu'on ne fait pas de l'agriculture si on ne fait pas d'argent. Donc, finalement, vous devez obtenir quelque chose que vous pouvez mesurer, et ensuite vous pouvez le mettre sur un papier et vous pouvez le faire scientifiquement de manière fiable. »¹⁰¹

Il ne m'a pas accueillie dans sa ferme comme les autres éleveurs que j'ai eu l'occasion de rencontrer, mais dans son bureau, avec ses quatre ordinateurs, situé dans sa maison à une vingtaine de kilomètres de la ferme. Il ne m'a pas proposé de regarder ses vaches, mais plutôt les chiffres et les graphiques sur les écrans de ses ordinateurs. « Je gère ma ferme d'ici, sans la voir de mes yeux », m'a-t-il appris pendant l'entretien.

Kobus a été le premier à commander des génotypes et l'analyse des données de ses vaches et taureaux à l'étranger (États-Unis, Canada, France, Allemagne, Pays-Bas) et localement *via* le laboratoire privé Unistel et SA Stud Book. Gêné par le manque de cohérence entre les données reçues, il a fini par créer sa propre échelle d'évaluation, son propre index SESI sur la base de l'index américain FM\$. Kobus fait ainsi sa propre sélection selon sa propre échelle d'évaluation et constitue ses propres classements. Il ne sélectionne pas, contrairement à beaucoup de ses confrères, sur l'échelle TPITM qui correspond plus aux critères des concours :

« Les gens parlent de TPI dans le monde entier. Mais [...] il met en avant beaucoup de traits qui sont seulement physiques, agréables à voir, et pas vraiment importants économiquement. »¹⁰²

Il a cessé de participer aux concours, mais il conserve des photos encadrées de ses vaches championnes qui témoignent de ce passé, comme il dit, d'avant la génomique. Ne plus participer aux rituels de visualisation physique ne l'empêche pas de savoir que son troupeau de vaches et ses taureaux sont porteurs du meilleur potentiel génétique du pays, ce dont il est extrêmement fier.

Comme j'ai pu le constater, les façons de pratiquer la sélection en Afrique du Sud sont multiples. Elles sont fondées sur des croyances et des méthodes plus ou moins scientifiques, sur des pratiques plus ou moins conscientes et intentionnelles. Mais ce qui est sûr, c'est que chacun les construit de manière à mieux répondre à ses besoins au niveau de sa propre ferme, de son système de production, des exigences économiques du moment, etc. En l'absence d'un dispositif d'évaluation *ad hoc* capable de donner aux animaux une valeur locale objective et acceptée par tous, ils se débrouillent pour en fabriquer une à partir des moyens accessibles, qui constituent ce qu'Anna Tsing (2011) appelle « connexions globales ».

Conclusion de la partie II

Nous avons bien noté l'intentionnalité des acteurs qui ont problématisé la globalisation marchande de la Holstein et ont mené un travail technopolitique vers le monde global de la sélection basé sur la diversité des systèmes de valeurs. Nous avons également constaté la matérialité du résultat de ce travail. Interbull, comme centre d'évaluation génétique internationale, comme outil de régulation des circulations marchandes, comme lieu de débat et de partage d'information, existe bel et bien et impressionne par l'envergure de son action dans le monde des bovins. En pratique, l'unicité recherchée des espaces technique et marchand n'est pas si stricte. Beaucoup de choses échappent au contrôle de la communauté et des outils technoscientifiques. Notamment, la domination de la génétique fournie par les taureaux américains évalués sur l'échelle TPI™ se révèle difficile à contrer sur le marché de la Holstein-Frisonne et, comme nous l'avons vu, la diversité génétique de la race continue d'en pâtir.

Pendant que la controverse sur la valeur génétique/génomique globale des taureaux reproducteurs est traitée dans les sphères technopolitiques internationales, les vaches, quant à elles, se trouvent physiquement dans des contextes spécifiques des différents pays et régions du monde. Elles témoignent bel et bien de l'existence de l'effet d'interaction génotype-milieu, où le « milieu » est pris dans le sens large du terme, incluant aussi bien des aspects biologiques que sociaux, politiques, économiques, technoscientifiques. L'agencement bovin est complexe par ses liens hétérogènes et dynamiques. Dans ces conditions, chacun a tendance à appliquer à la vache une valeur en accord avec ses propres imaginaires et avec son propre système de valeurs. Comme en Afrique du Sud, où les éleveurs préfèrent pratiquer la visualisation physique de leurs animaux plutôt que regarder des chiffres abstraits. Les généticiens préfèrent manipuler les chiffres et les formules plutôt que regarder les animaux physiquement. La nature des pratiques de ces deux mondes – marchand et scientifique – nous apparaît toujours en tension : matérielles d'un côté et abstraites de l'autre. Mais, si cette tension est ressentie, c'est bien parce que ces deux mondes et leurs pratiques sont intrinsèquement liés. Comme nous le rappelle Bruno Latour (2006), les opposer serait oublier l'importance des pratiques de visualisation et d'inscription dans toute production des savoirs. « L'esprit du savant ne quitte à aucun moment ses yeux et ses mains », affirme-t-il en tant qu'anthropologue du laboratoire. Au sein de notre immense laboratoire de la sélection bovine, nous l'avons aussi

constaté : l'abstraction calculatoire de la valeur génétique commence bien par des pratiques concrètes et visuelles d'appréciation physique et de mesures linéaires de l'animal. Un bon modélisateur spécialiste de la génétique animale est reconnu par ses pairs précisément sur sa capacité de voir ces pratiques physiques derrière les calculs abstraits (voir chapitre 2).

Pour Latour (2006) comme pour bien d'autres chercheurs en *science and technology studies* (Porter, 1995 ; Bowker et Star, 2000), la construction d'un savoir qui reflète le mieux possible la réalité passe par d'innombrables « allers-retours entre les objets et leurs images abstraites. [...] L'idéal pour une théorie c'est, avec quelques éléments et quelques opérations, de retrouver tous les objets du monde, déformés aussi peu que possible » (Latour, 2006, p. 61). La vache qui a servi de point de départ à la construction d'une chaîne de quantification est censée revenir à l'identique ou « améliorée », mais du moins reconnaissable par l'éleveur : ancrée dans un milieu donné et porteuse d'une culture particulière. Il est donc extrêmement important que l'éleveur possède les bons codes pour déchiffrer la valeur de son animal lorsqu'elle a été rendue abstraite par des calculs savants.

Les pratiques de visualisation physique, comme nous l'avons vu en Afrique du Sud, servent ainsi à mettre à l'épreuve les chaînes d'évaluation génétique et génomique. Elles redeviennent d'autant plus importantes que le système d'évaluation génétique est défaillant. Et *vice versa*, la chaîne d'évaluation peut apparaître comme défaillante parce que la visualisation physique par les éleveurs est une pratique importante. Ces défaillances peuvent tenir à l'absence d'une convention sociale de mesure en amont de chaque processus de quantification, à des erreurs de calcul ou à un « bidouillage » trop important des données dans les procédures calculatoires. Elles peuvent enfin tenir à la perte de lien social entre les maillons de la chaîne d'évaluation, comme lorsque les généticiens choisissent les industriels de l'insémination artificielle avec leur logique marchande comme destinataires finaux de leurs travaux, et non les vaches elles-mêmes comme organismes biologiques, ou au moins les éleveurs comme représentants de ces vaches dans leurs milieux.

Conclusion générale

En partant de la question de ma fille de 10 ans sur les différences entre les vaches noir et blanc qu'on peut observer partout dans le monde, j'ai construit ma narration en essayant de rendre intelligibles les enjeux scientifiques, technologiques, économiques et sociaux de la sélection bovine au niveau global. Ma fille s'est pour le moment satisfaite de ma réponse sur les paillettes, mais (qui sait ?) elle s'intéressera peut-être un jour aux questions plus larges et plus complexes que soulève la circulation de plus en plus facile de la matière vivante autour du monde. En tout cas, le travail dont je rends compte dans ce livre me prépare à lui apporter quelques éléments de réponse le moment venu, peut-être dans quelques années, quand la situation évoluera et quand l'enjeu du vivant dans la société humaine se fera plus visible, lisible et questionnable.

En attendant, je m'adresse aux lecteurs d'aujourd'hui, en mettant en lumière la globalisation de la sélection bovine au travers des constructions socio-biotechniques dans lesquelles des organismes biologiques, en l'occurrence les vaches et les taureaux, sont parties prenantes. Les transformations qui ont motivé ce travail couvrent une période assez longue du point de vue de l'analyse sociologique, mais très courte du point de vue de l'histoire de l'élevage bovin : un demi-siècle allant du milieu du xx^e à ce début du xxi^e siècle où le monde est devenu (d'un coup ?) « global ».

Pour rendre compte de l'« économicisation » de la vie, la sociologue Michelle Murphy (2017) fait appel à l'histoire, devenue pour elle métaphorique, des expériences de Raymond Pearl (1879-1940), un biologiste américain qui observait des mouches drosophiles placées dans un bocal en verre. La biologie de la reproduction l'intéressait pour comprendre les mécanismes de régulation d'une population sous contrainte d'espace et de ressources. Il voulait ainsi pouvoir répondre à la question : « comment équilibrer la taille de la population [humaine] avec la production nationale en utilisant ensemble la biologie et la planification étatique au travers de l'économie »¹⁰³ (p. 3) ?

« Contrairement à la loi de population de Malthus, où la calamité de la surpopulation dans un monde limité ne pouvait être évitée, avec la courbe de Pearl, la mort massive, la famine et la surpopulation étaient entièrement évitables par la gestion, tant que la production "progressait" ou que la population était "optimisée". La courbe n'était pas une simple loi de la nature, mais un appel à l'action. »¹⁰⁴ (p. 10)

La loi établie par Pearl non seulement appelait à l'action en matière de déploiement des politiques de régulation de la population humaine, dont Michelle Murphy retrace des épisodes historiques dans son livre *The Economization of Life* (2017), mais elle appelait aussi et surtout à l'augmentation des productions. La croissance est devenue le postulat du développement économique synonyme de progrès, grâce auquel l'humanité essaie tant bien que mal de repousser les limites de son « bocal en verre ».

L'idée de Michelle Murphy de l'économicisation de la vie vient soutenir mon analyse de l'agencement bovin présentée dans la première partie. Dans le système de production industrielle moderne, la vache technicisée hors sol exprime davantage sa valeur économique que ses valeurs biologique et sociale liées à son ancrage dans le milieu, ce qui pose la question de l'équilibre et de la durabilité de l'activité d'élevage, du moins dans son organisation autour de la race pure comme standard industriel. Certes, dans notre ère de l'Anthropocène, les preuves ne manquent pas pour montrer que l'industrialisation et la vision economicisée de notre environnement ont fait bien des dégâts dans le monde du vivant. Les problèmes rencontrés sur le terrain et analysés ici en témoignent bien. Le *désancrage* territorial de l'élevage provoque une crise de cette activité sociale vieille de plusieurs millénaires. Une perte considérable de *diversité génétique* venant d'une rationalisation extrême de la nature biologique de l'animal s'accroît encore par la transformation des ressources génétiques en marchandise standardisée, multipliable et exportable sans contrainte. Les méthodes de l'abstraction quantitative rendent en effet la vache « apte » à la globalisation en tant que marchandise. Sa valeur génétique séparée de l'effet du milieu est transposable à différents contextes spatiaux et temporels, surtout lorsqu'elle accompagne des systèmes de production standardisés. Cette séparation nette fait de la valeur génétique de la vache une valeur d'échange qui convient à l'industrie de la semence dans ses ambitions d'expansion mondiale.

Mais l'histoire des bovins « anthropocénisés » racontée dans la première partie vient aussi questionner l'idée de la disparition de la vie du champ de vision rationaliste et economiciste de l'animal sélectionné. Nous avons bien vu que cette *vie* anarchique se manifeste toujours, que ce soit dans les systèmes de production technologisés et standardisés ou dans les instruments de quantification les plus scientistes. Il faut en effet savoir le voir et le penser au travers des catégories *ad hoc*, mais c'est possible et même nécessaire. La vache le vaut bien. Les généticiens, dans leur quête d'objectivité et de précision scientifique, se trouvent aussi enrôlés en tant qu'avocats de la complexité des organismes vivants et de leur ancrage dans des écosystèmes dans un sens plus large que celui du système économique. De cette manière, ils soutiennent le statut de commodité fictive pour les animaux et se positionnent alors en opposants aux mécanismes standardisants de la globalisation industrielle et marchande, ainsi qu'à l'hégémonie

de tel ou tel standard imposé par des intérêts privés qui font fi de la diversité nécessaire à la sélection durable. La nature biologique de leur objet de recherche et d'évaluation se manifeste dans les chiffres, dans les incohérences des calculs, dans une nécessité de retour permanent à la source de la mesure.

« La biologie est infiniment plus compliquée que le jeu de Go [giga-octets], et rien ne permet d'assurer à ce stade que ces nouvelles techniques pourront prédire avec un haut niveau de précision quel phénotype un individu exprimera dans un environnement particulier, sur la seule base de son génome. »¹⁰⁵ (Elsen, 2018, p. 95)

La question du lien entre l'organisme vivant et son milieu est en effet celle qui traverse toute la science biologique de l'hérédité depuis ses débuts. C'est celle qui révèle la complexité de la vie et celle qui gêne à ce titre l'industrie et le marché, habitués à manipuler les entités inertes. Les catégories théoriques de la génétique quantitative permettent de le mettre en évidence, notamment au travers de la notion d'interaction génotype-milieu, qui traduit en formules mathématiques l'ancrage intrinsèque des organismes vivants dans leur environnement. Mais l'implication de cette évidence est très politique, surtout à l'échelle mondiale où deux projets concurrents de la vache globale – un marchand et l'autre scientifique – se font face.

Le récit sociohistorique de la seconde partie donne à voir cette lutte d'idées, de valeurs et de différentes objectivités en plein déroulement dans le temps et dans l'espace. Il n'y a pas pour le moment de gagnant ni de perdant. Nous ne jugeons donc pas l'histoire de la hauteur de celui qui a remporté la victoire. Une organisation telle qu'Interbull se présente ainsi dans son rôle de *forum hybride* où se développe la controverse sur la valeur de l'animal. Cette notion issue des travaux en *science and technology studies* se rapporte au débat sur la démocratie technique qui traverse notre société moderne (Callon *et al.*, 2001). Ces lieux où se rencontrent différents types de savoirs portés par différents acteurs, aussi bien scientifiques que « profanes », se montrent nécessaires pour la construction d'un projet commun de vie dans un monde marqué de plus en plus par l'omniprésence de la technoscience et par les incertitudes qui en découlent. Le vivant en est tout particulièrement concerné, car il arrive à questionner le modèle linéaire du progrès technologique en renforçant le caractère hétérogène et dynamique des liens entre des éléments humains et non humains.

Dans sa tribune parue dans *Le Monde* en mars 2020, en pleine crise de la Covid-19, Bruno Latour (2020) a souligné une fois de plus qu'il serait temps de réaliser « que la définition classique de la société – les humains entre eux – n'a aucun sens. [...] Une fois pris en compte tout le réseau dont il n'est qu'un maillon, le même virus n'agit pas de la même façon à Taïwan, Singapour, New York ou Paris ». Problématiser la globalisation au travers des organismes vivants, dont

l'enchevêtrement avec les éléments de leur milieu fait partie de leur ontologie propre, permet d'appuyer et de compléter l'analyse anthropologique de la globalisation apportée par Anna Tsing, notamment dans son ouvrage *Frictions* (2011). Elle considère la globalisation dans sa double dimension : locale et globale. Ce n'est pas pour elle un phénomène d'abstraction qui s'opère dans des sphères internationales et qui est porteur de standardisation et d'uniformisation, mais un phénomène complexe, toujours en cours et qui se joue dans chacune des connexions entre le local et le global et *vice versa*. Telle est la signification de la notion d'interaction génotype-milieu qui, issue des méthodes statistiques propres à la génétique quantitative, apporte à cette analyse une objectivation différente et complémentaire à celle faite par les sciences humaines et sociales. La notion de territoire pour les constructions sociales dont Latour (2017) fait la promotion se rapproche de celle du milieu pour les organismes vivants conceptualisée par le naturaliste Jakob von Uexküll (2010) au siècle passé. Elle se distingue de la notion d'environnement par l'implication des liens que nous (êtres vivants et constructions sociales) établissons avec certains éléments de notre environnement en nous créant notre milieu de vie, ou un territoire qui nous procure le pouvoir d'agir et qui agit sur nous en retour. Ainsi les vaches, comme toute autre construction sociobiotechnique, sont aussi à penser au sein de leur territoire-milieu, que ce soit à des fins de production des savoirs ou de productions agroalimentaires, que ce soit avec une finalité analytico-épistémologique ou pour une conception stratégique du développement technologique et économique.

La notion d'interaction génotype-milieu, avec ses effets sur la valeur de l'animal, ne représente qu'un élément parmi bien d'autres possibles à mobiliser pour reconsidérer le vivant dans nos activités sociales. Mise en politique par les généticiens dans leur démarche vers une certaine forme du monde commun de la sélection bovine, cette notion avait pour objectif de « reterritorialiser » les productions animales dans une perspective de durabilité. Mais cette notion en provenance de la génétique quantitative est connexe à bien d'autres, tout aussi importantes, pour saisir la *vie* anarchique qui échappe aux catégories déterministes des sciences biologiques dites « modernes ».

La *diversité* est une catégorie épistémologique essentielle dans les sciences biologiques, et tout particulièrement en génétique des populations appliquée aux activités de production agricole, dont la durabilité dépend directement de la bonne gestion de la diversité génétique. Si, comme peuvent l'affirmer les généticiens, la sélection animale et végétale dirigée par la volonté humaine n'est pas forcément synonyme de réduction de la diversité biologique, la réalité capitaliste et industrielle de l'agriculture moderne soutenue par la technoscience nous en fait douter fortement. La standardisation extrême des systèmes de production est corollaire de la standardisation tout à fait similaire des organismes

vivants qui y sont impliqués. La diversité doit donc être vue dans une perspective large avec le moins de cloisons possible entre ses différentes applications. La diversité génétique et la diversité des milieux ne font qu'une seule et même réalité : plurielle et dynamique. Cette diversité est tout aussi importante pour la *vie* biologique que pour la *vie* sociale, qui doivent être vues et analysées dans leur *coévolution* et non séparément, comme le voulait la longue tradition du partage strict des sphères de compétences entre les disciplines scientifiques. Le tournant que les sciences et les productions agricoles ont engagé vers l'agroécologie donne quelques espoirs quant à la saisie de cette *coévolution*, notamment par des collaborations plus systématiques et plus systémiques entre les sciences biologiques et les sciences humaines et sociales.

Comme l'a souligné à juste titre le sociologue Howard Becker (2016), les sciences biologiques et les sciences sociales ont les mêmes méthodes de travail sur le fond : chercher toujours plus de variables pour saisir la vie dans sa plus grande complétude. Il ne reste qu'à encourager les investigations futures dans cette direction, et dans la mesure du possible par une approche interdisciplinaire qui ouvre un champ de vision plus large sur les problématiques sociétales remises à l'ordre du jour par des avancées technoscientifiques, notamment dans le domaine de la génétique. Je pense aux débats actuels bien animés autour du retour de la notion de race biologique dans le domaine de l'humain, prônée par certains généticiens (Reich, 2018) et fortement critiquée par d'autres scientifiques de plusieurs disciplines (Kahn *et al.*, 2018). Je pense aussi aux inquiétudes des citoyens et des scientifiques à propos du retour de l'eugénisme (Nelson, 2016 ; Escudero, 2014). Les méthodes de la génétique quantitative étant directement impliquées dans les champs de recherche sur la génétique humaine (explicitement dans ses applications médicales), des généticiens qui ont forgé leurs compétences sur des questions de recherche et sur les méthodes de calcul et de modélisation dans le domaine de la sélection animale se retrouvent à offrir facilement leur savoir-faire aux recherches biométriques dédiées à la santé humaine, comme cela a été le cas de passages dans l'autre sens en Angleterre victorienne et aux États-Unis à la fin du XIX^e et au début du XX^e siècle. Il est ainsi opportun et important que les sciences humaines et sociales puissent aussi faire circuler leurs savoirs et créer des ponts entre les avancées en génétique des animaux industrialisés et en génétique des humains, et ce en lien avec les enjeux et les contextes sociaux dans lesquels des catégories complexes et controversées comme la « race » ou l'« amélioration génétique » se forment. Des collaborations interdisciplinaires engagées suffisamment tôt dans la construction de ces savoirs peuvent permettre d'éviter certaines dérives que l'histoire de l'humanité a déjà connues.

Glossaire

Génétique et sélection animale

ADN : ou acide désoxyribonucléique, est la molécule support de l'information génétique héréditaire.

Allèle : version variable d'un même gène.

BLUP (Best Linear Unbiased Prediction) : la principale méthode statistique utilisée pour les évaluations génétiques/génomiques.

CD (coefficient de détermination) : indice de fiabilité de la prédiction en génétique quantitative (échelle de 0 à 1 ou 100).

Consanguinité : au sein d'une population, conséquence de l'accouplement d'individus apparentés, c'est-à-dire possédant au moins un ancêtre commun.

Contrôle laitier (ou plus largement **contrôle de performances**) : ensemble des pratiques pour déterminer la production laitière d'une femelle au cours de ses lactations successives.

Évaluation génétique/génomique : estimation ou prédiction de la valeur génétique d'un animal (ou un autre organisme vivant) en vue de son utilisation éventuelle en tant que reproducteur pour améliorer le potentiel génétique d'une population. Pour les calculs, on utilise des méthodes statistiques comme le BLUP. Les données pour ces calculs peuvent provenir du contrôle de performances (évaluation génétique) et/ou directement du génome de l'animal (évaluation génomique).

Gène : une séquence d'ADN qui contient le code de l'expression et de la transmission d'un caractère donné. Le gène est considéré comme l'unité principale de la science de l'hérédité ou de la génétique.

Génétique : 1) science de l'hérédité ; 2) dans le langage des professionnels de la sélection, c'est un raccourci de « matériel génétique », « amélioration génétique » ou « ressources génétiques ».

Génétique animale : génétique appliquée aux animaux. Dans le domaine de la sélection ou de l'amélioration des animaux d'élevage, les méthodes de la génétique animale sont surtout celles de la génétique quantitative.

Génétique quantitative : discipline qui étudie l'hérédité des caractères dont l'observation passe par une mesure. Elle s'intéresse surtout à des caractères à variation continue et à déterminisme complexe, c'est-à-dire gouvernés par plusieurs facteurs génétiques et non génétiques (on parle également de génétique multifactorielle).

Génome : ensemble des gènes portés par les chromosomes de chacune des cellules d'un individu. Patrimoine héréditaire d'un individu ou d'une espèce.

Génotypage : technique d'analyse du génome utilisant des marqueurs moléculaires pour obtenir l'information sur le génotype de l'individu.

Génotype : structure allélique (un d'origine paternelle et un d'origine maternelle) de l'ensemble des gènes que possède un individu.

Index (génétique/génomique) : expression chiffrée de la valeur génétique estimée d'un animal.

Insémination artificielle : technique de reproduction contrôlée qui consiste chez les bovins en l'administration de doses de semence produites par les taureaux reproducteurs aux vaches sans la monte naturelle. La pratique d'insémination est souvent accompagnée de la technologie de cryoconservation qui permet de conserver la semence et de l'utiliser de manière différée.

Interaction génotype-milieu ($G \times E$) : en génétique quantitative, effet non additif des effets génétiques et de ceux du milieu sur la valeur génétique estimée. Il signifie que les mêmes gènes ne sont pas exprimés de la même manière en fonction des conditions du milieu. Il est de plus potentiellement transmissible aux générations suivantes.

Intervalle générationnel : délai qui sépare la génération évaluée et la génération « améliorée ». Ce délai dépend aussi bien du temps nécessaire pour évaluer les reproducteurs que des aptitudes physiologiques de la vache à se reproduire.

Marqueurs moléculaires : points de variation de nucléotides (mutations) dans les chromosomes qui se répètent chez les individus de la même espèce. Exemple : SNP (*single nucleotide polymorphism*).

MACE (Multitrait Across Country Evaluation) : modèle mathématique mis en place au sein d'Interbull pour calculer les valeurs génétiques des taureaux au niveau international en les rendant commensurables.

Phénotype : manière dont un organisme nous apparaît, pour un niveau d'observation donné. En génétique quantitative, les caractères que l'on étudie font l'objet d'une mesure. Dans le milieu professionnel de la sélection, animale ou végétale, on parle également de « performance », où sont pris en compte uniquement des caractères d'intérêt économique.

Sélection ou amélioration (artificielle) : système de pratiques qui visent à fixer ou à changer les caractères voulus des organismes vivants par leur accouplement/croisement volontaire et contrôlé.

Sélection assistée par marqueur (MAS) : le principe est de repérer à l'aide des marqueurs moléculaires des régions du génome liées à un ou plusieurs caractères d'intérêt et de focaliser la sélection sur ces régions, appelées aussi « QTL » (*quantitative trait locus*).

Sélection génétique classique : sélection basée sur une estimation des capacités des animaux à transmettre tel ou tel caractère par le testage des taureaux reproducteurs sur descendance ou tout autre contrôle de performances.

Sélection génomique : basée sur le même principe que la sélection assistée par marqueurs, elle utilise directement l'information du génome de l'animal à l'aide de marqueurs moléculaires placés sur l'ensemble du génome, sans se focaliser sur des régions précises.

Testage sur descendance : pratique planifiée de mesure des performances des vaches filles du taureau testé.

TMR (Total Mixed Ration) : méthode d'alimentation des bovins laitiers dans des systèmes industriels qui consiste en un apport exclusif de nutriments concentrés.

Valeur génétique estimée (EBV) : estimation statistique de la valeur génétique d'un animal d'un génotype particulier, exprimée en écart à la moyenne de la population. Autrement dit, elle représente l'estimation de la performance uniquement conditionnée par les gènes, indépendamment des conditions d'élevage.

Sociologie

Agencement sociotechnique/sociobiotechnique : concept en *science and technology studies* désignant un ensemble d'éléments hétérogènes (humains et non humains) reliés entre eux par des liens forts. Un agencement est doté de capacité d'action (*agency*). Un agencement sociobiotechnique conceptualise particulièrement un ensemble d'éléments dans lequel des organismes vivants (biologiques) sont impliqués.

Assemblage global : ensemble d'éléments hétérogènes considérés dans le cadre du processus de la globalisation. Se distingue du concept d'agencement par son caractère instable.

Biens communs : ressources partagées, gérées et maintenues collectivement par une communauté qui établit des règles dans le but de les préserver et de les pérenniser tout en fournissant la possibilité et le droit à tous de les utiliser.

Bio-objet : entité vitale – capable de (re-)générer la vie – matérielle ou matérialisée. Exemples des bio-objets : cellule-souche, gamète, embryon, OGM.

Bio-objectification : processus de matérialisation des entités vivantes (leur transformation en bio-objets) par des procédés scientifiques et biotechnologiques.

Commensuration : processus sociotechnique de recherche de la mesure commune afin de rendre les éléments hétérogènes comparables entre eux. La partie sociale de ce processus peut être appelée « convention d'équivalence ».

Convention d'équivalence : accord entre les acteurs sur des critères et des modalités d'équivalence entre les éléments hétérogènes pour « comparer l'incomparable » et « discuter l'indiscutable » (Desrosières, 2014).

Évaluation : processus rationnel de définition de la valeur par des pratiques concrètes, souvent quantitatives, dans la poursuite d'un objectif précis (à la différence de la valuation).

Forum hybride : espace de rencontre et de négociation entre des acteurs hétérogènes, scientifiques et non scientifiques.

Marchandisation (angl. *commodification*) : processus de transformation des objets en marchandises (commodités).

Marchandise (anglais *commodity*) : produit banalisé qui peut être vendu et acheté avec l'objectif du profit.

Valuation : terme générique d'attribution de la valeur. Distinguée de l'évaluation par le sens plutôt qualitatif de la valeur.

Sigles et abréviations

Allice : organisation interprofessionnelle de la sélection animale en France (acronyme fondé sur les notions d'alliance, d'innovation et de service). Anciennement Unceia (Union nationale des coopératives d'élevage et d'insémination artificielle).

ARC : Agricultural Research Council, opérateur national de la recherche agronomique en Afrique du Sud.

CRV : entreprise de sélection néerlandaise composée de deux coopératives (CR-Delta et VRV). Possède de nombreuses filiales dans le monde.

EAAP : voir FEZ.

EuroGenomics : le consortium génomique des pays européens.

FEZ (Fédération européenne de zootechnie) ou EAAP (European Federation of Animal Research) : organisation européenne coordonnant et promouvant la recherche animale. Elle organise annuellement des congrès scientifiques.

HAUSA : Holstein Association USA.

ICAR : 1) International Committee for Animal Recording, organisation internationale promouvant des standards et des bonnes pratiques dans le domaine de l'élevage ; 2) Indian Council of Agricultural Research, opérateur national indien de la recherche agronomique.

Idele : Institut de l'élevage, institut technique français spécialisé dans les questions de l'élevage. Historiquement, les instituts techniques en France jouent le rôle d'intermédiaire entre les organismes de recherche comme INRAE et les acteurs du terrain.

INRAE (ex-Inra) : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement.

Interbull : International Bull Evaluation Service, organisation internationale de calcul des valeurs génétiques estimées des taureaux commensurables entre pays.

Intergenomics : le consortium génomique international des producteurs de la génétique de la race Brune.

InterGenomics-Holstein : consortium génomique de petits pays producteurs de la génétique de race Holstein.

ISU : index de synthèse unique, index génétique français.

SA Holstein : South Africa Holstein, association de race Holstein en Afrique du Sud.

SLU : Sveriges lantbruksuniversitet, université suédoise des sciences agricoles située à Uppsala.

TPI : Type Production Index, index génétique américain créé et promu par la HAUSA.

USDA : United States Department of Agriculture, organisme principal de la recherche agronomique aux États-Unis.

WCGALP : World Congress on Genetics Applied to Livestock Production. Organisé tous les quatre ans, ce congrès est une référence scientifique dans le domaine de la génétique animale.

WHFF : World Holstein Friesian Federation.

Bibliographie

- Allaire G., Labatut J., Tesnière G., 2018. Complexité des communs et régimes de droits de propriété : le cas des ressources génétiques animales. *Revue d'économie politique*, 128 (1), 109.
- Becker H.S., 2016. *La bonne focale : de l'utilité des cas particuliers en sciences sociales*, traduit par Christine Merllié-Young, Paris, La Découverte.
- Beckert S., 2014. *Empire of Cotton: A Global History*, Knopf Publishing Group.
- Benveniste É., 1987. *Le vocabulaire des institutions indo-européennes. 1 : Économie, parenté, société*, Paris, Éditions de Minuit, coll. Le sens commun.
- Bonneuil C., Thomas F., 2009. *Gènes, pouvoirs et profits : recherche publique et régimes de production des savoirs de Mendel aux OGM*, Versailles/Lausanne, Quæ/Fondation pour le progrès de l'homme.
- Bonneuil C., Thomas F., 2012. *Semences, une histoire politique : amélioration des plantes, agriculture et alimentation en France depuis la Seconde Guerre mondiale*, Paris, Éditions Charles Léopold Mayer.
- Bowker G.C., Star S.L., 2000. *Sorting Things out: Classification and Its Consequences*, First paperback edition, Inside Technology, Cambridge, Massachusetts, London, England, The MIT Press.
- Brochard M., Boichard D., Ducrocq V., Fritz S., 2013. La sélection pour des vaches et une production laitière plus durables : acquis de la génétique et opportunités offertes par la sélection génomique. *Inra Productions animales*, 26 (2), 145-46.
- Brown A., Ojango J., Gibson J., Coffey M., Okeyo M., Mrode R., 2016. Short communication: genomic selection in a crossbred cattle population using data from the dairy genetics East Africa project. *Journal of Dairy Science*, 99 (9), 7308-12.
- Busch L., 2013. *Standards. Recipes for Reality*, Cambridge, Mass., MIT Press Ltd.
- Çalışkan K., 2010. *Market Threads: How Cotton Farmers and Traders Create a Global Commodity*, Princeton, Princeton Univ. Press.
- Callon M., 2009. Postface : La formulation marchande des biens. In : *Évaluer et valoriser : une sociologie économique de la mesure* (F. Vatin, éd.), Presses universitaires du Mirail, 247-69.
- Callon M., Latour B., 2013. « Tu ne calculeras pas ! », ou comment symétriser le don et le capital. In : *Sociologie des agencements marchands* (M. Callon, éd.), textes choisis, Paris, Presses des Mines, 9-41.
- Callon M., Lascoumes P., Barthe Y., 2001. *Agir dans un monde incertain : essai sur la démocratie technique*, Paris, Éditions du Seuil, coll. La couleur des idées.

- Callon M., Méadel C., Rabeharisoa V., 2000. L'économie des qualités. *Politix*, 13 (52), 211-39.
- Callon M., Rip A., Joly P.-B., 2015. Réinventer l'innovation ? *InnovatiO*, 1 (1).
- Canguilhem G., 2015. *La connaissance de la vie*, 2^e édition revue et augmentée, Paris, Librairie philosophique J. Vrin, coll. Bibliothèque des textes philosophiques.
- Chavinskaia L., Loconto A.M., 2020. Keep diversity. Make standards! Spaces of standardization for diversity analyzed through cattle breeding industry. *Engaging Science, Technology, and Society*, 6 (avril), 193.
- Cohen D., 2006. *Trois leçons sur la société post-industrielle*, Paris, Le Seuil, coll. République des idées.
- Colleau J.-J., Palhière I., Rodríguez-Ramilo S.T., Legarra A., 2017. A fast indirect method to compute functions of genomic relationships concerning genotyped and ungenotyped individuals, for diversity management. *Genetics Selection Evolution*, 49 (1), 87.
- Denis J.-B., Vincourt P., 1982. Panorama des méthodes statistiques d'analyse des interactions génotype × milieu. *Agronomie*, 2 (3), 219-30.
- Despret V., 2016. *Que diraient les animaux, si... on leur posait les bonnes questions ?*, Paris, La Découverte/Poche.
- Desrosières A., 2010. *La politique des grands nombres : histoire de la raison statistique*, Paris, La Découverte.
- Desrosières A., 2014. *Prouver et gouverner : une analyse politique des statistiques publiques*, Paris, La Découverte.
- Dewey J., 2011. *La formation des valeurs*, Paris, Les Empêcheurs de penser en rond/La Découverte.
- Ducrocq V., 2020. Conception et réalisation des évaluations génétiques ou génomiques des reproducteurs. In : *Génétique des animaux d'élevage. Diversité et adaptation dans un monde changeant* (E. Verrier, D. Milan, C. Rogel-Gaillard, eds), Versailles, Éditions Quæ.
- Ducrocq V., Laloe D., Swaminathan M., Rognon X., Tixier-Boichard M., Zerjal T., 2018. Genomics for ruminants in developing countries: from principles to practice. *Frontiers in Genetics*, 9 (juillet), 251.
- Dürr J., 2009. Report on Interbull technical workshop. *Interbull Bulletin*, 39.
- Elsen J.-M., 2018. Genomic selection: the final step or another step in an endless race? *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 135 (2), 95-96.
- Escudero A., 2014. *La reproduction artificielle de l'humain*, Grenoble, Le monde à l'envers.
- Espeland W.N., Stevens M.L., 1998. Commensuration as a social process. *Annual Review of Sociology*, 2, 313-43.
- FAO, 2009. *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture 2009 : le point sur l'élevage*, Rome, Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- Flamant J.-C., 2005. Retour de Suède, un pays... exotique. *Mission Agrobiosciences*, 10.
- Fourcade M., 2006. The construction of a global profession: the transnationalization of economics. *American Journal of Sociology*, 112 (1), 145-94.

- Gaillard C., Dommerholt J., Fimland E., Gjøøl-Christensen L., Lederer J., McClintock A.E., Mocquot J.C., Philipsson J., 1977. AI bull evaluation standards for dairy and dual purpose breeds. *Livestock Production Science*, 4 (2), 115-28.
- Glover M., 2018. A cattle-centred history of Southern Africa? *In: Nature Conservation in Southern Africa* (J.-B. Gewald, M. Spierenburg, H. Wels, eds), Brill.
- Grasseni C., 2005. Designer cows: the practice of cattle breeding between skill and standardization. *Society and Animals*, 13 (1), 33-50.
- Grasseni C. (éd.), 2007. *Skilled Visions: Between Apprenticeship and Standards*, EASA Series, 6, New York, Berghahn Books.
- Haas P.M., 1992. Introduction: epistemic communities and international policy coordination. *International Organization*, 46 (1), 1-35.
- Haraway D., 2007. *Manifeste cyborg et autres essais : sciences, fictions, féminismes*, Paris, Exils éditeurs.
- Haraway D., 2019. *Manifeste des espèces compagnes : chiens, humains et autres partenaires*, Paris, Flammarion, coll. Climats.
- Heams T., 2019. *Infravies : le vivant sans frontières*, Le Seuil, coll. Science ouverte.
- Huquet B., 2012. Utilisation des données de contrôles élémentaires pour la modélisation et l'estimation des interactions génotype × milieu : étude en bovins laitiers. Doctorat en génétique animale, Paris, AgroParisTech.
- James J.W., 1961. Selection in two environments. *Heredity*, 16 (2), 145-52.
- Jasiorowski H.A., Stolzman M., Reklewski Z., 1987. International FAO Black and White Cattle Comparison (1974-1984). *World Animal Review*, 62, 2-15.
- Joly P.-B., 2015. Le régime des promesses technoscientifiques. *In : Sciences et technologies émergentes : Pourquoi tant de promesses ?* (M. Audétat, éd.), Paris, Hermann, 31-47.
- Kahn J., Nelson A., Graves J.L., Abel S., Benjamin R., Blacker S. *et al.*, 2018. How not to talk about race and genetics. Web Platform, *BuzzFeed News* (blog), 17 juillet 2018.
- Kim W.C., Mauborgne R., 2010. *Stratégie océan bleu : comment créer de nouveaux espaces stratégiques*, Paris, Pearson.
- Kingdon J.W., 2014. *Agendas, Alternatives, and Public Policies*, Second edition, Pearson New International Edition, Always Learning, Harlow, Pearson.
- Kupiec J.-J., 2019. *Et si le vivant était anarchique : la génétique est-elle une gigantesque arnaque ?*, Paris, Les liens qui libèrent.
- Labatut J., 2009. *Gérer des biens communs : processus de conception et régimes de coopération dans la gestion des ressources génétiques animales*, École nationale supérieure des Mines de Paris, coll. Sciences de l'homme et société.
- Labatut J., Tesnière G., 2018. The Holstein cattle breed in the modernisation of agriculture: between common-pool resources and tradeable goods. *In: Ecology, Capitalism and the New Agricultural Economy. The Second Great Transformation* (G. Allaire, B. Daviron, dir.), Routledge, 163-180.
- Labatut J., Astruc J.-M., Barillet F., Boichard D., Ducrocq V., Griffon L., Lagriffoul G., 2014. Implications organisationnelles de la sélection génomique chez les bovins et ovins

- laitiers en France : analyses et accompagnement. *Inra Productions animales*, 4 (27), 303-316.
- Latour B., 2000. When things strike back: a possible contribution of 'science studies' to the social sciences. *The British Journal of Sociology*, 51 (1), 107-23.
- Latour B., 2006. Les « Vues » de l'esprit. Une introduction à l'anthropologie des sciences et des techniques. In : *Sociologie de la traduction. Textes fondateurs* (M. Akrich, M. Callon, B. Latour, eds), Paris, Les Presses des Mines, coll. Sciences sociales, 33-69.
- Latour B., 2012. *Enquête sur les modes d'existence : une anthropologie des modernes*, Paris, La Découverte.
- Latour B., 2017. *Où atterrir ? Comment s'orienter en politique*, Paris, La Découverte.
- Latour B., 2020. La crise sanitaire incite à se préparer à la mutation climatique. *Le Monde*, 25 mars 2020.
- Market Research Report, 2019. Artificial insemination market size, share & trends analysis report by end use (home, fertility clinics & other facilities), by type (intrauterine, intra-vaginal), by source type (AIH, AID), and segment forecasts, 2019-2026.
- Mattalia S., Brocard V., 2007. La Prim'Holstein : une grande race mais un petit patrimoine génétique. *Cap Élevage*, (15) (juin), 10-13.
- Mattalia S., Barbat A., Danchin-Burge C., Brochard M., Le Mezec P., Minery S., Jansen G., Van Doormaal B., Verrier E., 2006. La variabilité génétique des huit principales races bovines laitières françaises : quelles évolutions, quelles comparaisons internationales ? *Rencontres Recherches Ruminants*, 13, 239-46.
- Meuwissen T.H.E., Hayes B.J., Goddard M.E., 2001. Prediction of total genetic value using genome-wide dense marker maps. *Genetics*, (157), 1819-29.
- Micoud A., 2003. Ces bonnes vaches aux yeux si doux. *Communications*, 74 (1), 217-37.
- Mougenot C., Petit S., Gaillard C., 2020. Le « coup d'œil » de l'éleveur est-il menacé par l'élevage de précision ? *Activités*, 17 (2).
- Moulin A.-M., 2018. À la recherche de la science arabe en partant d'un observatoire égyptien des sciences biomédicales. In : *Les ancrages nationaux de la science mondiale : XVIII^e-XXI^e siècles* (M. Kleiche-Dray, éd.), Marseille/Paris, IRD éditions/Éditions des archives contemporaines, 483-526.
- Mulder H.A., 2016. Genomic selection improves response to selection in resilience by exploiting genotype by environment interactions. *Frontiers in Genetics*, 7 (octobre).
- Murphy M., 2017. *The Economization of Life*, Durham, London, Duke University Press.
- Nelson F., 2016. The return of eugenics. *The Spectator*, 2 avril 2016.
- Novek J., 2005. Pigs and people: sociological perspectives on the discipline of nonhuman animals in intensive confinement. *Society and Animals*, 13 (3), 221-244.
- Ong A., 2006. *Neoliberalism as Exception: Mutations in Citizenship and Sovereignty*, Durham, Duke University Press.
- Ong A., 2016. *Fungible Life: Experiment in the Asian City of Life*, Durham, Duke University Press.

- Ong A., Collier S.J., 2008. *Global Assemblages Technology, Politics, and Ethics as Anthropological Problems*, New York, John Wiley and Sons.
- Orland B., 2003. Turbo-Cows: Producing a competitive animal in the nineteenth and early twentieth centuries. In: *Industrializing Organisms. Introducing Evolutionary History* (S.R. Schrepfer, P. Scranton, eds), New York/London, Routledge, 167-189.
- Orsenna E., 2006. *Voyage aux pays du coton*, Stock.
- Ostrom E., 1990. *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action. The Political Economy of Institutions and Decisions*, Cambridge/New York, Cambridge University Press.
- Patry C., 2011. Les impacts de la sélection génomique sur les évaluations génétiques classiques. Thèse en génétique animale, Paris, AgroParisTech.
- Pawley E., 2016. The point of perfection: cattle portraiture, bloodlines, and the meaning of breeding, 1760-1860. *Journal of the Early Republic*, 36 (1), 37-72.
- Peerbaya A., 2004. La construction de l'espace génomique en France : la place des dispositifs instrumentaux. Thèse de sociologie, École normale supérieure de Cachan.
- Philipsson J., 2005. Interbull: how it began and some achievements. *Interbull Bulletin*, 33, 131-35.
- Philipsson J., 2011. Interbull developments, global genetic trends and role in the era of genomics. *Interbull Bulletin*, 44, 1-13.
- Pinaud S., 2016. L'émergence d'un gouvernement humanitaire de la pauvreté nutritionnelle en Afrique de l'Ouest : le cas de l'administration des produits laitiers (1930-1980). *Revue d'anthropologie des connaissances*, 10(2), 147.
- Porcher J., 2004. L'animal d'élevage n'est pas si bête. *Ruralia*, 14.
- Porcher J., Schmitt T., 2010. Les vaches collaborent-elles au travail ? Une question de sociologie. *La Revue du MAUSS*, 35 (1), 235.
- Porter T.M., 1995. *Trust in Numbers: The Pursuit of Objectivity in Science and Public Life*, Princeton, Princeton University Press.
- Reich D., 2018. How genetics is changing our understanding of 'race'. *New York Times*, 23 mars 2018. <https://www.nytimes.com/2018/03/23/opinion/sunday/genetics-race.html>.
- Robertson R., 1995. Glocalization: time-space and homogeneity-heterogeneity. In: *Global Modernities* (M. Featherstone, S. Lash, R. Robertson, eds), Global Modernities, Sage Publications, London, 25-44.
- Russel N., 1986. *Like Engend'ring Like: Heredity and Animal Breeding in Early Modern England*, Cambridge University Press.
- Schaeffer L.R., 2006. Strategy for applying genome-wide selection in dairy cattle. *Journal of Animal Breeding and Genetics*, 123 (4), 218-23.
- Schaffer S., 2015. Les cérémonies de la mesure. *Annales. Histoire, Sciences sociales*, 70 (02), 409-35. <https://doi.org/10.1353/ahs.2015.0051>
- Sellier P., Boichard D., Verrier E., 2019. La génétique animale à l'Inra : soixante ans d'une histoire scientifique en prise avec le monde de la sélection et riche en rebondissements technologiques. *Histoire de la recherche contemporaine*, VIII (1), (juin) 86-97.

- Selmi A, Joly P.-B., 2014. Les régimes de production des connaissances de la sélection animale. Ontologies, mesures, formes de régulation. *Sociologie du travail*, 56 (2), 225-244. <https://doi.org/10.1016/j.soctra.2014.03.020>
- Stolz J., 2009. Au Mexique, des génomes métissés. *Le Monde*, 12 juin 2009.
- Stuart D., Gunderson R., 2018. Nonhuman animals as fictitious commodities: exploitation and consequences in industrial agriculture. *Society and Animals*, 28 (3), 291-310.
- Tesnière G., Ducrocq V., Boxenbaum E., Labatut J., 2019. Organisations nationales et instruments de gestion de l'amélioration génétique des bovins laitiers : une comparaison entre la France, l'Irlande et les Pays-Bas. *Inra Productions animales*, 32 (1), 37-50.
- Thibier M., Wagner H.-G., 2002. World statistics for artificial insemination in cattle. *Livestock Production Science*, 74 (2), 203-12.
- Tsing A.L., 2011. *Friction: An Ethnography of Global Connection*, Princeton University Press.
- Van Der Beek S., Geertsema H., 2017. Using genomics to manage progress and diversity: an industry perspective. In: *Book of Abstracts of the 68th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science*, Tallinn, 82.
- Van Doormaal B., Miglior F., Kistemaker G., Brand P., 2005. Genetic diversification of the Holstein breed in Canada and internationally. *Interbull Bulletin*, 33, 93-97.
- VanRaden P.M., 2017. Genomic tools to improve progress and preserve variation for future generations. In: *Book of Abstracts of the 68th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science*, Tallinn, 79.
- VanRaden P.M., Van Tassell C.P., Wiggans G.R., Sonstegard T.S., Schnabel R.D., Taylor J.F., Schenkel F.S., 2009. Invited review: reliability of genomic predictions for North American Holstein bulls. *Journal of Dairy Science*, 92 (1), 16-24.
- Vatin F., 1996. *Le lait et la raison marchande : essais de sociologie économique*, Rennes, Presses universitaires de Rennes.
- Vermeulen N., Tamminen S., Webster A., 2012. *Bio-Objects: Life in The 21st Century. Theory, Technology, and Society*, Burlington, Ashgate.
- Verrier E., Brabant P., Gallais A., 2001. *Faits et concepts de base en génétique quantitative*, AgroParisTech.
- Verrier E., Markey L., Lauvie A., 2018. Specific products with added value for local breeds: lessons from success and non-success stories. In: *Book of Abstracts of the 69th Annual Meeting of the European Federation of Animal Science*.
- Vissac B., 1993. Société, race animale et territoire, entre les théories et l'histoire : réflexion sur une crise. *Natures, sciences, sociétés*, 1 (4), 282-297. <https://doi.org/10.1051/nss/19930104282>
- Vissac B., 2002. *Les Vaches de la République : saisons et raisons d'un chercheur citoyen*, Paris, Institut national de la recherche agronomique.
- von Uexküll J., 2010 [1956]. *Milieu animal et milieu humain* (trad. C. Martin-Fréville et D. Lestel), Paris, Éditions Payot/Rivages.
- Wroughton L., Van Niekerk S., 2012. *SA Holstein. A Century of Excellence. 1912-2012*, Bloemfontein.

Notes

1. Source : World Holstein-Friesian Federation, <https://www.whff.info/> (consulté le 05/05/2019).

2. « Une vache est une vache, même en Afrique ». Cette expression en langue russe s'utilise pour désigner une équivalence complète, une absence de différence, pour dire que même à l'autre bout du monde, dans un autre contexte (l'Afrique comme contexte très contrasté), c'est pareil.

3. En référence à un livre pour enfants qui illustre des onomatopées dans des langues différentes pour imiter des cris d'animaux. Le cri de la vache est celui qui présente le moins de diversité d'une langue à une autre.

4. Selon les estimations issues du sondage de l'industrie d'insémination artificielle organisé en 1999 (Thibier et Wagner, 2002).

5. Le sexage de la semence utilisée pour la reproduction est pour autant autorisé et utilisé couramment, bien que relevant des techniques de l'ingénierie génétique (voir chapitre 1).

6. Le biopouvoir, selon Michel Foucault (1978), représente le potentiel de reproduction et de développement des corps vivants mis au service du pouvoir. Le philosophe l'a conceptualisé sur les corps et la population des êtres humains. Depuis les sciences sociales, et notamment les *animal studies*, ce concept a été étendu aux animaux et plus généralement au monde vivant.

7. <https://www.la-loi-pinel.com/actualites/investir-cheptel/> (consulté le 10/12/2018). La loi n° 2014-626 du 18 juin 2014, dite « loi Pinel », a pour objectif de soutenir une offre commerciale et artisanale diversifiée sur le territoire français en favorisant le développement des très petites entreprises.

8. <http://www.lefigaro.fr/placement/2014/03/01/05006-20140301ARTFIG00081-investir-dans-une-vache-est-devenu-un-placement-juteux.php> (consulté le 10/12/2018).

9. <https://www.livestockwealth.com> (consulté le 30/04/2019).

10. "Walking banks [...] just like it has always been in Africa."

11. <https://www.les2vaches.com/parrainage-des-vaches> (consulté le 30/04/2019).

12. "To normalize herdbooks was not easy. In the beginning, breeders often refused to give pedigree information about the animals they sold, fearing they would be giving away 'trade secrets'."

13. En France, cet encadrement fort est resté effectif jusqu'en 2018, où le nouveau Règlement zootécnique européen a entériné la profonde réorganisation de la sélection animale au profit des acteurs industriels (organismes de sélection, ou OS), responsables dorénavant de la totalité du processus d'amélioration allant de la production à la commercialisation en passant par l'évaluation des ressources génétiques.

14. Les vaches à viande sont appelées « allaitantes », car après la naissance du veau, elles continuent à l'allaiter. Les vaches laitières, quant à elles, se voient retirer leurs petits afin d'être traitées.

15. Centre de production de semence bovine (Italie).

16. La race Frisonne Pie-Noir en Afrique du Sud avant la « holsteinisation ».

17. La loi d'équilibre génétique, ou loi d'Hardy-Weinberg, est une théorie de génétique des populations qui postule qu'au sein d'une population (idéale) il y a équilibre des fréquences allélique et génotypique d'une génération à l'autre.

18. Table de pointage de la race Montbéliarde. Source : www.montbeliarde.org (consulté le 25/07/2019).

19. https://idele.fr/?eID=cmis_download&oID=workspace://SpacesStore/31b89e36-6dd4-4ddc-ba65-c6cf061f5818 (consulté le 12/12/2018).

20. "TPI™ represents HAUSA's vision for feeding the world through the improvement of the domestic and international Holstein population."

21. "We didn't have any specific project in mind, but one of us, probably tired [laughing], said: oh what about we just try putting markers all over the genome? And we said: yes, it seems a good idea. Three of us worked on simulating data and testing the idea. And we were surprised that it worked very well."

22. "By using a dense marker map covering all chromosomes, it is possible to accurately estimate the breeding value of animals that have no phenotypic record of their own and no progeny. [...] Selection on breeding values predicted from markers could substantially increase the rate of genetic gain in animals and plants [...]."

23. "This requires the estimation of a large number of marker haplotype effects."

24. "Then nobody took any notice of that paper at all until 2006 when they started to make SNP chips and all of this suddenly was possible to implement."

25. "Costs of proving bulls were reduced by 92% and genetic change was increased by a factor of 2. Genome-wide selection may become a popular tool for genetic."

26. "The company that adopts this strategy the earliest will have a major start over other companies."

27. Avec la baisse des coûts du génotypage, les femelles participent dorénavant aussi à la constitution des populations de référence, mais ce changement est très récent dans la sélection génomique, traditionnellement construite sur des populations de référence de taureaux reproducteurs.

28. “Genomic selection: the final step or another step in an endless race?”

29. “It seems likely that the use of omics in the human food production setting will create the same societal disapproval as GMOs and pesticides.”

30. “From the perspective of the practitioner, the transformation that resulted in the modern dairy farming system depended on much more than the application of clearly defined knowledge.”

31. “As early as the beginning of twentieth century, all relevant categories that define today’s cows had already been established.”

32. “‘Locality’ and ‘identity’ were aligned for both humans and animals. Dairy farming was a situated knowledge and activity. The animal and its products were symbols of specific landscape.”

33. “The shift from local practices to networks of impersonal information, from local relations between landscape, animal, and people to large-scale institutions and control mechanisms.”

34. <https://www.dairyherd.com/> (consulté le 20/07/2019).

35. “Practical experience with imports was disappointing. Rather than enjoying flourishing milk production, farmers [...] were confused and dissatisfied. Uncertainty about the perspective merits of famous dairy cattle breeds made it clear that breeding was a mystery even to the successful. Judging the capacities of an animal solely on the basis of ancestry seemed inadequate for establishing new breeds and a flourishing dairy farm.”

36. Je prends ici le cours « Faits et concepts de base en génétique quantitative », créé en 2001 et enseigné à AgroParisTech, comme référence explicative de ce que représente le milieu dans la pratique d’évaluation génétique/génomique animale.

37. La population israélienne a également fait la preuve de ses performances en productivité laitière, très comparable à la population nord-américaine. Mais Israël, bien que pays d’agriculture intensive très performante, ne pouvait pas prétendre prendre la place d’exportateur hégémonique de la génétique bovine compte tenu de sa petite taille et de son cheptel réduit.

38. “I had a vision that there will be a global trade of semen much more than there has been. We will select from a global pool of bulls, from a global pool of genes. And we need to be able to evaluate bulls from America, Europe, and New Zealand and so on. And then we need to be able to evaluate it correctly.”

39. On appelle la base fixe une base de comparaison des taureaux dont la moyenne n’évolue pas avec le progrès génétique, ce qui fait que l’index améliorateur est plus haut que sur la base dite « mobile », où on réactualise la moyenne en prenant en compte le progrès génétique.

40. “When I visited AI centers in the US and also in Canada, we discussed a lot and I realized that they misunderstood breeding values. For instance in 1979-80 they had a base of comparison of their bulls with those from 1968. The average bulls’ value was taken from 1968. So they understood different things from the breeding values. If you have a base far away all bulls will be ‘plus’ because of genetic trend. So they sold a lot of semen with plus proofs from US which in reality were 0 or minus bulls.

And people didn't understand that in Europe. They thought the base was the same, but it was different between all countries.”

41. “I would notice the steadily increasing attendance and appreciation for the meetings, where both scientists and industry people reported about developments to be applied internationally.”

42. ICAR a trois autres sous-comités techniques qui développent leurs activités de standardisation, de préconisation et de certification des outils et des pratiques dans l'identification animale, le contrôle de performances et dans le contrôle laitier le monde entier.

43. Référence au nom du livre de Bertrand Vissac (2002), *Les Vaches de la République*.

44. “So it turned out that if you wanted to do it systematically you would have hundreds of thousands of conversion formula, so people were trying to keep track of that. It was not practical because you needed to recalculate these formulas as soon as any country changed the base for evaluation.”

45. “All countries agreed that if we could correlate the genetic evaluations among countries and get an estimate of that correlation that would be reflective of genotype by environment interaction where the environment is defined as the country. And that could be the most appropriate methodology to use in the Interbull service.”

46. CDN, centre d'évaluation génétique canadien privé, fait néanmoins partie du dispositif coopératif national de sélection. Il a été créé en 1994 pour succéder au dispositif d'évaluation installé au sein de l'organisme de recherche publique pour devenir un centre de service financé par les éleveurs et les organismes de sélection.

47. Résultat de la fusion en 1962 de deux organisations représentatives européennes : le Copa (Comité des organisations professionnelles agricoles) et la Cogeca (Confédération générale de la coopération agricole).

48. Selon l'expression utilisée sur le site Internet de l'organisation, <https://copa-cogeca.eu/> (consulté le 28/01/2020).

49. “So there is much more than ‘genotype by environment interaction’. That is the main scientific justification for MACE. But we have a lot of differences in definitions of the traits, differences in the models, in the units. All this somehow addressed by having this international correlation between countries as the basis for MACE. [It] is an opportunity for other populations beside the dominant ones to have more access to information and also to have an objective way of comparing genetic evaluations that run in each country.”

50. Ce mot revient très souvent dans les discours des généticiens, toujours portés par la vision du processus linéaire de l'innovation dont le modèle est déconstruit depuis un moment par des travaux des *science and technology studies* (voir par exemple Callon *et al.*, 2015).

51. “The main differences are socio-economic. Biological differences are not very important. It's only when you are applying different social and economic criteria, it makes values significantly different. The US is one big country with one national evaluation there are not a lot of reasons or any of putting things on different bases.”

52. “Many of the AI studs [entreprises d’insémination artificielle] in the US wanted to sell semen in Europe and they thought that they could have a better market if they didn’t have Interbull. So Interbull was seen as an obstacle on the market of the semen. But we wanted to produce correct values in an objective way with no profit reasons.”

53. “There was a competition with a number of other countries that applied for having this center. But [Sweden is] a small country that doesn’t have any business together with lots of countries and [it] could be considered as neutral, I think. It was an important part of the deal.”

54. “It was largely due to the efforts of the secretary of Interbull, at that moment, who was Professor Jan Philipsson. So all countries decided that Uppsala would host the center and the center’s mandate would be to develop a service based on all kinds all technologies that had been developed in Canada, in the Netherlands, in Australia, elsewhere. Combine all that technology into a service that would be made available to all Interbull members.”

55. “As much as we would like to believe that international evaluations should not be political, they are. [...] As long as domestic industries are involved for various countries it is impossible to take the political part out of the discussion. From a European point of view Sweden is a neutral country and it probably was for US when Interbull first started because of its small breeding program. Since Sweden joined the European Community, this neutrality has come under severe scrutiny from the outside. Sweden does not stand for Sweden alone anymore but for the European Community as a whole with all the European breeding programs involved.”

56. “I have a role to really bring in wishes and needs of these - in my case - three countries. The other board members have the same duty. My role as a chairman is to facilitate the understanding that we all have our specific interests which are important, but also we have a responsibility that Interbull has a good development. So there are decisions I support that may not be in the best interest of just only the German industry. And that is quite challenging. [...] I have a German hat and an Interbull hat. And sometimes I say ‘ok, now I take my Interbull hat off and put my German hat on. And another time I have my Austrian, or Swiss hat. That is my main duty, I think, to be able to separate between these things. I always remind my colleagues that they have to do the same.”

57. “US export semen to 80-85 countries around the world. So from the US perspective, it is very important that we have representation which understands the semen market place and how that is important for exporting and importing countries. Everyone else in the Steering committee has a connection with national evaluation centers. But Interbull has an impact on the bull studs and AI [Artificial Insemination] companies. So Interbull needs somebody who can actually speak what the impact will be on AI companies who actually use information coming from Interbull. Nobody else in SC [Steering Committee] brings a perspective of AI companies. So that is important to have a representative from the industry side. Let’s make a comparison. Let’s say that you are trying to work with the dairy industry and the only thing you think about is how that impacts the dairy farm and you never think about how that impacts people who drink the milk or eat cheese. So if you are only working with dairy processor on dairy farm you are collecting an important part of the chain, but you are missing another huge part. So I think it’s a good analogy with Interbull: if the only people who are sitting on the committee are the evaluation centers representatives, that is similar to dairy industry dealing only with dairy farmers and milk processors and never with a person who eats food. So the Interbull need is to have a perspective of the end users from AI companies because of the international trade of semen.”

58. “When I arrived there, they had 3 directors already, but that was still very much research effort, because the way people were treating analysis was not really service operation. So, what I was told: ‘we hired you to make a transition between research and service’. So my management skills [...] were more important than my academic background only.”

59. “If you compare it to Google, it’s not that much. Google is an insane amount of data – I wouldn’t even call that big data, it is great data or whatever. But anyway, I mean 28 million animals, it is quite big. It is a huge database. And it is only for cattle, only for dairy cattle.”

60. Comme je l’ai dit plus haut, Interbull Centre ne dispose pas de vrais phénotypes, car cette information n’est pas partagée par les pays. En revanche, avec la méthode statistique de dé-régression appliquée aux index nationaux, il devient possible d’obtenir des informations pouvant faire office de « phénotypes », c’est-à-dire l’information initiale codifiée utilisée pour calculer les index nationaux.

61. “Global forms are limited or delimited by specific technical infrastructures, administrative apparatuses, or value regimes, not by the vagaries of a social or cultural field.”

62. “It was a big question. I remember at the beginning of June 2008, we were at Niagara Falls [for the Interbull Meeting] and at that time, Americans had a large number of animals genotyped and they were saying ‘oh, with this genomic data and genomic evaluations we don’t need to participate in international evaluation’. And the European countries were saying ‘what happens if they succeed?’ Then, you could imagine that corridor with all these people from European countries all the time moving between smaller groups discussing, discussing, discussing...”

63. “The main question was: do we still need Interbull or is genomics the end of Interbull?”

64. “Interbull as a facilitator of global breeding programs is more needed than ever!”

65. “The question about commensurability came up right away: ‘how do we compare the genomic results from all of these different countries?’”

66. “GMACE had so many approximations. Already at the national level we have assumptions that we make in our national models. Then we have assumptions of MACE [...]. And then you go to the national genomic evaluation where you also have assumptions. You use MACE as an input for genomic evaluation at the national level. Then you share genomic values in GMACE and you have to have even more assumptions. It’s like a massaging of data in several stages.”

67. Les deux consortiums n’ont pas le même statut dans le paysage international de la sélection génomique bovine. Si EuroGenomics est devenu, en 2016, une institution au statut juridique bien défini de coopérative (son nom officiel est « EuroGenomics Cooperative UA »), aux normes et règles strictes d’adhésion, d’obligations et de droits de ses membres, l’organisation de son concurrent nord-américain reste bien plus informelle, se basant sur des accords bilatéraux au cas par cas.

68. Lorsqu’on parle ici des données, on parle des informations génétiques des taureaux étrangers avec une évaluation fournie par Interbull.

69. Souvenons-nous ici de l’étude de Paul VanRaden *et al.* (2009) sur la limite de précision des prédictions génomiques.

70. “The dominance of the US on the market is not due to the number of cows they have. If you count a number of cows, there are much more Holstein cows in Europe than in the US. But when you go back to the history, to the WWII and times after, all Europe was destroyed and the Americans brought up a lot of things: the Marshall Plan and cows. And cows made a huge difference in the production. So I mean that some countries in Europe received more help and more influence from US than others. For example, in Italy it was stronger than in Germany. And it is not just a chance that Italy joined the North-American consortium and not the European. I mean, in Italy the Marshall Plan was very strong. Because the political interest of the US was to keep Italy on their side and not on the other side. So they put a lot of money, they built up links and, you know, reference point, dominance, the reference of animals is the American one in Italy. Still for many breeders the reference point in genetics is North-America and not Germany and not Holland which are closer and which have a very interesting breed plan. But still they look at North-America as the main source of genetics.”

71. “The idea is that the breed [Brown Swiss] is too small nationally and the only way to compete at international level is to put forces together. So cooperation was much more important than competition. We were competitors on the market, but we were acknowledging that the cooperation in this case was more important. So, basically we started out to cooperate with our competitors on a commercial base. And the first idea was to ask Interbull to do the job. Not one of us. I could propose: ‘ok, Italy could do the work’. Or Germany, or Switzerland. But I know that it couldn’t be possible because at that time there was not enough trust and sending genotypes to Germany or to US was absolutely impossible. So the only way at that time was to integrate data management within Interbull as a neutral organization. To say ‘ok, let’s send genotypes to Interbull and nobody except Interbull have access to genotypes. So it’s basically like sending money in the bank. You are not sharing your money; you are keeping your money even if they are not under your bed, but in the bank.”

72. La distinction entre pays « développés » et pays « en développement » se rapporte ici plus au secteur de la sélection bovine qu’à la polarisation traditionnelle géopolitique.

73. La devise de la BAIF reprend la citation du Mahatma Gandhi “Not mass production, but production by the masses”, visible sur le site Internet de l’ONG : <https://baif.org.in> (consulté le 25/07/2018).

74. “For semen, the AI companies will give the information the customer wants. In some countries, customers want TPI because they try to breed cattle through the high TPI and so they want to sort on TPI. In other countries they may want to breed for the national ranking. And in that case we would use the Interbull index which is the MACE value.”

75. “Genomic selection although it is a high tech is actually easier to implement. As far as extending the technologies in the developing countries I think, we need quite a big change in the way we think about doing things. You could imagine a rather simple system. For genomic selection you need a reference population. You could have an aid project funding your reference population.”

76. La répartition type des productions en Afrique du Sud et au Brésil, par exemple, est de près de 80 % pour les petits éleveurs et de 20 % pour les grandes fermes-firmes. Au Kazakhstan, elle est de 90 % vs 10 % environ.

77. L’Inde possède actuellement plus de 40 races de bovins.

78. <https://www.dhakatribune.com/feature/2018/07/25/cattle-diplomacy-narendra-modi-donates-200-cows-to-rwanda> (consulté le 15/04/2020).

79. Je m'appuie ici sur l'ouvrage édité pour le centième anniversaire de l'association Holstein en Afrique du Sud. Le livre *SA Holstein. A Century of Excellence* (Wroughton et Van Niekerk, 2012) rassemble des matériaux documentaires et photographiques d'archive présentés chronologiquement du début du XX^e siècle à 2012. Je discute et complète ces matériaux par des entretiens avec des représentants de l'association et des éleveurs de la race Holstein en Afrique du Sud.

80. "Frieslands are by far the most numerous dairy breed in South Africa. Frieslands hold all records for Butterfat and Milk production in all recognized classifications. Frieslands are the breed which have produced 81 per cent of the cows credited with producing over 1 000 lbs of butterfat in one year. Frieslands are the only breed which have produced 30 000 lbs of milk in one year. With other breeds they are uncommon."

81. Équivalent aux actes législatifs d'autres pays, comme la loi sur l'élevage de 1966 en France.

82. Il s'agit d'un des index américains créé par USDA, moins connu à l'étranger que le TPI™, mais utilisé aux États-Unis pour la sélection sur des critères plus économiques liés au marché du lait.

83. "I talked to a lot of people at Interbull and I asked: 'Can this work?' And they said: 'Yes, why don't you try this?' Obviously, you know, it's a compromise."

84. "We don't believe BLUP figures. We don't think they are right, we think they are incorrect, we don't trust... There are maybe 2% of the farmers that use the local BLUP figures."

85. "We want to bring us into the genomic era. That is really commercially and politically important for us. For our country, I mean."

86. "South Africa has a competitive advantage in Africa having adapted breeds to prevailing African conditions and pests. As countries in Africa invest in the development of their agricultural sectors, SA can play a strategic role in supplying the African market with appropriate genetic material and technologies. South Africa has the potential to grow the livestock industry significantly and could ultimately become a net exporter of high quality genetic resources", <https://www.tia.org.za/> (consulté le 15/01/2018).

87. "South Africa doesn't need its own genomic evaluation. Not enough population, not enough reliability, no market for local genetics. Import is the best solution. And the best bulls are definitely in North America."

88. NdA : Mon interlocuteur soulève ici un problème majeur de l'Afrique du Sud. Depuis la fin du régime d'apartheid, l'insécurité dans le pays augmente et concerne tout particulièrement les agriculteurs, qui deviennent de plus en plus fréquemment des cibles d'attaques très violentes. La source média indépendante Afriforum (www.afriforum.co.za) fait état de statistiques d'attaques et de meurtres, ainsi que de l'inaction des pouvoirs publics. Pour de nombreux activistes, ce phénomène se rapproche du génocide d'une certaine couche sociale du pays. L'expression politiquement chargée de « génocide des Blancs » est fréquente dans le milieu des Boers concernés par le problème. Elle est relevée également par certains journalistes. Des discussions avec certains acteurs concernés m'ont aidée à comprendre que les fondements de cette situation sont bien plus complexes que le conflit racial. Par ailleurs, plusieurs de mes interlocuteurs du monde agricole m'ont dit avoir été eux-mêmes, ou des proches, victimes de ces attaques violentes et tous se sentent concernés. Des mouvements sociaux, comme le Black Monday, cherchent à attirer l'attention du gouvernement et de la communauté internationale sur ce problème.

89. “With this money they can build thousands of houses, hospitals. Build railway. People will be busy. It would be much bigger benefit for people, for country than with your bloody genomics. To do what? To say in 20 years that now I don’t look at Dutch figures, but I look at South-African figures? I think about farmers’ murders. Farmers in SA have the highest rate of murders of any population in the world. Invest into the security.”

90. “I’ll fight against Stud Book. They misuse the South-African figures. I don’t use the South-African figures! They are wrong!”

91. “My project aims to look how to include climatic variables to calculate breeding values of animals for different regions. Animals have maybe breeding value for one environment and a different breeding value for another environment. I know that service providers in SA do not want that at all. They are scared of how that will be received by farmers.”

92. “I hope the research we are currently doing will be able to convince different service providers to basically distinguish between different environments of production. And to provide the different environments with different breeding values.”

93. “Yes, farmers don’t mind about that. But again, that is the lack of knowledge and education. The problem is, I think, sometimes they lose perspective when they start to buy semen. And then, they will listen to people who have an interest in selling more semen. They don’t think long term.”

94. “It’s very difficult in the dairy world. I think the marketing of the AI companies is contradictory to real science.”

95. “They must convince themselves that you are right. So you must feed them the right tools to make them think what you believe is right. Don’t fight them, educate them.”

96. “A lot of farmers don’t really need to get involved into genetic, genomic programs, because we do a lot for them. We advise. That’s enough. They don’t need.”

97. “We were very excited. And farmers were as well. Genomics was all around the type.”

98. “They don’t work with cattle, they just work on their computers.”

99. “We realized that the Holsteins do have a set of problems: with the longevity, for example, we always knew that. But how do we select for that? When genomics started we could try to select on new traits, the genomic traits. Especially for productive life, longevity, fertility, calving ease. We had a lot of criticism about it. We’re the only society that did that, and we still only select on the genomic figures, whatever we receive from the country. Then with the results we’ve seen, how the breed in South Africa improved, I could see it within five years, I could physically see in the farms. I could physically see... in the first generation I could see there’s a difference.”

100. C’est-à-dire possédant le meilleur potentiel génétique.

101. “I’m scientific-oriented and I don’t want to do some guess work, and you must get something to measure and something that you measure must make sense, you know. It must actually make some money then, because you don’t farm if you don’t make money. So eventually you must get something

that is going on and that you can measure, and then you can put it onto a paper and you can do it scientifically with a reliability, that's fine, and then start using that system to improve the genetics.”

102. “People are talking about the TPI all over the world. But [...] there is lot of traits in it that are only physical, nice for the eye to see and not really economic traits.”

103. “...how to balance quantitative population with national production, bringing biology and state planning together through economy”.

104. “Unlike Malthus's law of population, where the calamity of overpopulation in a limited world could not be avoided, with Pearl's curve mass death, famine, and overpopulation were entirely avoidable through management, as long as production 'progressed' or population were 'optimized'. The curve was not a mere law of nature; it was a call to action.”

105. “Biology is infinitely more complicated than the game of Go, and there is nothing to ensure at this stage that these new techniques will be able to predict with a high level of accuracy what phenotype an individual will express in a particular environment, based solely on its genome.”

Coordination éditoriale : Sylvie Blanchard

Révision : Juliette Blanchet

Mise en pages : Paul Mounier-Piron

Imprimé par : Huma Print

Dépot légal : mai 2022

L'idéal de la vache moderne, mix de nature, de culture et de technoscience, est incarné aujourd'hui par la Holstein-Frisonne, race laitière la plus productive, présente dans le monde entier. Objet d'une sélection intensive et d'une circulation accélérée des ressources génétiques, cette « vache globale » cristallise des tensions entre science et capitalisme, théories et pratiques, pays dits développés et pays en développement. Emblématique, elle suscite une réflexion approfondie sur la place des outils de calcul appliqués au vivant et sur les limites biologiques de la globalisation industrielle et marchande.

Cet ouvrage livre une enquête sur la boîte noire du vivant dans l'agencement complexe de la sélection. Il retrace l'histoire de l'organisation internationale de l'évaluation génétique bovine et suit ses acteurs à différents niveaux, en Europe, aux États-Unis et dans des pays en développement, notamment en Afrique du Sud. Il s'adresse aux chercheurs et étudiants en sciences du vivant, en sciences humaines et sociales, ainsi qu'aux professionnels du monde de l'élevage et à un large public s'interrogeant sur la place du vivant dans l'agriculture industrialisée et globalisée.

Après sa thèse de doctorat en sociologie des sciences et des techniques, **Lidia Chavinskaia** a travaillé à la direction des relations internationales de l'Inra pour coordonner des coopérations scientifiques avec les pays émergents. Elle est aujourd'hui chercheure associée au sein du Laboratoire interdisciplinaire Sciences Innovations Sociétés (LISIS) et enseigne la sociologie à Sup'Biotech.

Photo de couverture © L. Chavinskaia

éditions
Quæ

Éditions Cirad, Ifremer, INRAE
www.quae.com

INRAE

25 €

ISBN : 978-2-7592-3448-6



Réf. : 02813