



L'édition du génome et ses applications à l'élevage : à la croisée des controverses

Elsa DELANOUE (1), Raphaëlle DUCLOS (2,5), Michel SOURDIOUX (2), Laurent JOURNAUX (3), Anne-Charlotte DOCKES (4),
Jean-Pierre BIDANEL (5)

(1) Institut de l'élevage - IFIP Institut du porc - Itavi, 8 rue de Monvoisin, BP 85225, 35652 Le Rheu Cedex

(2) SYSAAF, Section Avicole, Centre INRAE Val de Loire, 37380 Nouzilly

(3) France Génétique Elevage, 149 rue de Bercy, 75012 Paris

(4) Institut de l'Elevage, 149 rue de Bercy, 75012 Paris

(5) GABI, INRAE, AgroParisTech, Université Paris-Saclay, 78350 Jouy-en-Josas

elsa.delanoue@idele.fr

L'édition du génome et ses applications à l'élevage : à la croisée des controverses

En 2012, la découverte du système CRISPR-Cas9, outil d'édition du génome offrant la possibilité d'inactiver, de muter, de substituer ou d'insérer un gène dans un organisme vivant, a fait date au sein de la communauté scientifique par sa simplicité d'utilisation. Pour l'instant, l'emploi de cette technique sur les animaux d'élevage n'est pas autorisé en Europe, mais certaines applications sont possibles dans d'autres pays. Nos travaux visent à analyser la manière dont ces Nouvelles Technologies Génétiques (NTG) et leurs applications potentielles à l'élevage sont perçues, c'est-à-dire à mieux cerner les justifications, arguments et enjeux des différentes parties prenantes. L'enquête a consisté à conduire 48 entretiens semi-directifs avec des acteurs de la filière sélection génétique, du monde agricole, des représentants de la société civile et des pouvoirs publics. Nous nous sommes intéressés à une diversité de filières (ruminants, porcine, avicoles et aquacoles) aux problématiques variées, ainsi qu'à plusieurs applications concrètes de ces technologies possibles en élevage. Les principales incertitudes soulevées par les acteurs recouvrent tout d'abord les impacts des NTG sur l'environnement, la biodiversité et sur les animaux eux-mêmes, mais aussi des aspects sociopolitiques. La typologie des acteurs enquêtés fait apparaître cinq profils d'acteurs selon leur positionnement vis-à-vis des NTG : les « réfractaires », les « sceptiques », les « convaincus », les « enthousiastes » et les « prudents ».

Genome editing applied on farm animals: at controversies' crossroads

Since its discovery in 2012, the CRISPR-Cas9 system, a genome editing (GE) tool offering the possibility to inactivate, mute, substitute or add a gene in a living organism, has gained a major place in biological research for its ease of use. For now, the use of GE tools on farm animals has not been allowed in EU, but some applications are allowed in other countries. The objective of this study was to better understand the perceptions of stakeholders in the livestock sector of the use of GE techniques (i.e. to better understand their arguments and justifications). A qualitative survey by semi-directive interviews was conducted with different types of stakeholders in the livestock sector (genetic selection field, agricultural field, public society and authorities). A total of 48 people were interviewed from four livestock sectors with different issues: ruminants, pigs, poultry and aquaculture. Uncertainties on which the controversy is built were related to the technology; its impacts on the environment, biodiversity, and the animals themselves, and its socio-political impacts. Our results allowed us to develop a typology of stakeholders in five categories (i.e. opponent, sceptical, cautious, enthusiastic, and convinced) and to characterize the main arguments associated with the stakeholders' perceptions.

INTRODUCTION

En 2012, la découverte du système CRISPR-Cas9 (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats, « Courtes répétitions palindromiques groupées et régulièrement espacées »), outil d'édition du génome offrant la possibilité d'inactiver, de muter, de substituer ou d'insérer des nucléotides dans un organisme vivant, a fait date au sein de la communauté scientifique par sa simplicité d'utilisation (Jinek *et al.*, 2012). CRISPR fait partie de la famille des nucléases programmables, avec notamment les nucléases « à doigt de zinc » et TALEN (nucléases effectrices de type activateur de transcription). Par rapport à ces deux méthodes, la technologie CRISPR marque un tournant en matière de modification ciblée du génome parce qu'elle est plus facile à manier et moins chère.

La méthode CRISPR est très utilisée en recherche agronomique et promet de nombreuses applications pour les différentes filières. Les applications potentielles des nucléases programmables aux animaux d'élevage sont nombreuses et variées : résistance aux maladies comme le Syndrome Dysgénésique et Respiratoire du Porc (SDRP), production de lait hypoallergénique pour améliorer la santé humaine, amélioration de l'efficacité de la croissance en arrêtant la production de myostatine (facteur limitant la croissance musculaire), modification des pratiques d'élevage en développant des vaches sans cornes (Tan *et al.*, 2013), etc. Toutefois pour l'instant, l'application de ces techniques en élevage n'est pas autorisée en Europe et reste confinée dans les laboratoires. Le sujet n'en reste pas moins très débattu au sein de la communauté scientifique.

Pour mieux saisir les débats autour de l'utilisation de ces nouvelles technologies génétiques (NTG) en élevage, il semble essentiel de revenir sur la controverse autour des organismes génétiquement modifiés (OGM). Les outils de « modification ciblée du génome » dont fait partie CRISPR se distinguent des OGM car ils permettent de cibler le gène à modifier et non plus simplement d'effectuer une insertion aléatoire d'un gène étranger (transgénèse). Toutefois, en Europe, les NTG sont juridiquement considérées comme des OGM, qui sont définis par la directive 2001/18/CE comme « un organisme, à l'exception des êtres humains, dont le matériel génétique a été modifié d'une manière qui ne s'effectue pas naturellement par multiplication et/ou par recombinaison naturelle ».

Dans ce contexte, le GIS Avenir Élevages a lancé en 2020 un groupe de travail ayant comme objectif d'arriver à une vision partagée sur les enjeux et les risques liés à l'utilisation des NTG. Ces travaux visent à analyser la controverse autour des NTG et leurs applications potentielles à l'élevage, c'est-à-dire à mieux cerner les justifications, arguments et enjeux des différentes parties prenantes. Nous présentons ici les principaux résultats des travaux menés par le groupe avec, dans une première partie, un cadrage théorique et méthodologique ; dans une deuxième partie, la présentation des principales incertitudes soulevées par la controverse ; et, dans une troisième partie, la typologie des acteurs en fonction de leur positionnement vis-à-vis des NTG.

1. CADRE D'ANALYSE ET METHODE

1.1. La sociologie des controverses

Souvent perçue comme un débat sans fin et bruyant, synonyme de polémique, la définition de la controverse en sociologie se

construit plutôt autour de la notion d'incertitude. La controverse sociotechnique peut se définir comme un débat autour de connaissances scientifiques ou techniques qui ne sont pas stabilisées. Autour de ces connaissances s'agrègent des incertitudes plus vastes : économiques, sociales, juridiques, morales, etc. Différents acteurs vont prendre position autour de ces incertitudes : le débat sur les connaissances non stabilisées sort alors du milieu scientifique pour déborder sur un groupe d'acteurs plus large (Lemieux, 2007).

Le principe méthodologique d'analyse d'une controverse veut que l'on considère sur un pied d'égalité les différents acteurs ainsi que leurs valeurs et leurs arguments. Cela ne signifie pas que ces acteurs sont égaux dans leurs moyens d'influence, bien au contraire : c'est souvent parce qu'il existe des rapports de force et des modes d'action inégaux entre les acteurs qu'il est important de le considérer de manière égalitaire pour être en mesure de percevoir ces asymétries (Pestre, 2007). En s'appuyant sur le cadre théorique de l'analyse des controverses, nous avons brossé un tableau le plus complet possible des différents acteurs participant à la controverse et des arguments qu'ils mobilisent pour défendre leurs positions.

1.2. L'enquête qualitative par entretiens semi-directifs

Ce travail s'intéresse aux filières ruminants, porcine, avicoles et aquacole. L'approche multifilière est une richesse puisqu'elle offre l'opportunité de comparer les discours d'acteurs travaillant sur différentes espèces et de considérer des filières aux organisations socioéconomiques variées. Pour préparer l'enquête, neuf entretiens exploratoires ont été menés auprès de chercheurs (4), de professionnels de la génétique (4) et d'un consultant en affaires publiques spécialisé en agriculture. Ces entretiens ont permis d'acquérir une meilleure connaissance de l'organisation de la sélection génétique au sein des différentes filières animales et des enjeux qu'elles rencontrent. Au total, 48 acteurs engagés sur le sujet des NTG et biotechnologies ont été rencontrés pour l'enquête à proprement parler : représentants d'organismes de sélection génétique, du secteur agricole, de la recherche en génétique (animale et végétale), d'associations citoyennes (environnementalistes, welfaristes, engagées sur les biotechnologies ou de défense des consommateurs), de la grande distribution, et des pouvoirs publics. L'identification de ces interlocuteurs s'est faite grâce à notre réseau et à nos recherches préalables. Cette liste a ensuite été complétée par une identification des principaux acteurs impliqués sur la thématique de l'élevage. Ces entretiens semi-directifs ont été menés entre octobre 2020 et février 2021, pour la plupart en visioconférence du fait de la situation sanitaire (COVID 19). Le principe de cette méthode d'entretien est de permettre l'expression libre et spontanée de la personne enquêtée, sur des thèmes choisis et proposés par l'enquêteur.

Au cours de l'entretien, il était notamment demandé aux enquêtés s'ils connaissaient des utilisations des NTG sur les animaux et, si oui, lesquelles. En support, des fiches « applications » avaient été préparées pour pouvoir présenter des applications potentielles de ces technologies aux répondants qui n'en connaissaient pas ou peu. Les applications présentées reprenaient des projets en cours sur différentes espèces et aux finalités variées : les vaches sans cornes de Recombinetics (mutation connue), le sexage des œufs (insertion d'un gène de fluorescence), Enviropig le porc qui rejette moins de phosphore (obtenu par transgénèse « classique », mais intéressant pour illustrer les aspects environnementaux), un exemple générique d'inhibition de la

myostatine (mutation connue), le porc résistant au SDRP de l'entreprise PIC, des vaches produisant du lait hypoallergénique. Certains projets induisent ainsi une modification avec insertion d'un gène étranger (transgénèse), d'autres des mutations déjà connues dans l'espèce concernée. La variété des applications présentées permettait de voir si certains paramètres comme les types de modification ou leur finalité (présentée ou perçue) impactaient la perception des NTG par les acteurs.

2. LES INCERTITUDES STRUCTURANTES DE LA CONTROVERSE

2.1. Des incertitudes spécifiques et transversales

Les principales incertitudes exprimées par les répondants vis-à-vis des NTG sont liées à la technologie elle-même, à ses impacts sur l'environnement, sur la biodiversité ou sur l'animal et aux enjeux socio-politiques qu'elle soulève. Un dernier point d'incertitude, mentionné par quelques acteurs, est celui de l'impact sanitaire des NTG (Figure 1).

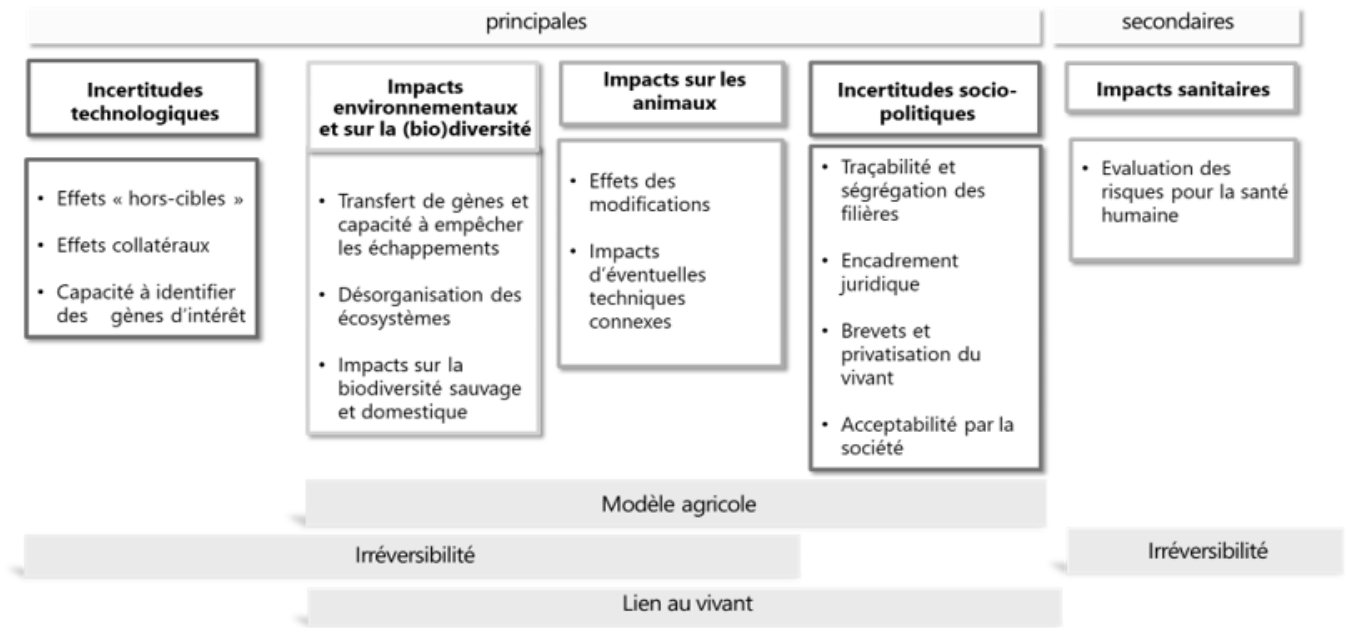


Figure 1 – Les incertitudes constitutives de la controverse autour des NTG appliquées aux animaux d'élevage

Toutes ces incertitudes sont interconnectées. Par exemple, l'incertitude quant à notre capacité technique à détecter une modification par NTG dans un produit fini a des conséquences sur l'incertitude concernant la possibilité de mettre au point une méthode réglementaire de traçabilité des produits. Par ailleurs, des incertitudes transversales se superposant aux autres incertitudes plus spécifiques ont été soulevées par les acteurs.

La première incertitude transversale est la question du modèle agricole dans lequel vont s'insérer ces techniques. Selon le modèle dans lequel ces dernières trouveront leur place (agriculture intensive, agroécologique, extensive...), leurs impacts pourront s'avérer différents, amplifiés ou plus nombreux.

La deuxième incertitude transversale est l'irréversibilité de ces techniques et de leurs impacts. Cette notion d'irréversibilité est très importante et relève d'un registre argumentatif mobilisé dans d'autres controverses, comme celle autour du nucléaire (Chateauraynaud, 2011). Certains acteurs craignent que la modification ciblée du génome induise des changements ou des choix sur lesquels on ne pourra pas revenir. Par exemple, certains acteurs voient dans la transmissibilité des modifications un risque important de perte de contrôle de la technologie. Si l'on sort du champ de l'élevage pour s'intéresser au contrôle des espèces nuisibles, la portée de cet argument est prégnante. Selon si un acteur perçoit les modifications induites par les NTG comme irréversibles ou non, il ne percevra pas de la même façon les risques pour l'écosystème, pour l'animal ou pour la santé humaine. Cette notion d'irréversibilité est à

l'origine du principe de précaution qui prévaut dans la directive 2001/18/CE relative à la dissémination volontaire des OGM.

La dernière incertitude transversale est d'ordre éthique : quel lien au vivant souhaitons-nous entretenir ? Que disent les NTG de notre rapport au vivant ? Ces questionnements éthiques sont au cœur de nombreuses autres incertitudes, comme la privatisation du vivant et la capacité à le breveter. Les interrogations sont multiples : ne porte-t-on pas préjudice à l'animal en modifiant son ADN ? jusqu'où l'humain peut-il modifier la Nature ? ne faudrait-il pas sanctuariser le génome ? Si seulement quelques acteurs rencontrés ont une réponse définitive sur ce sujet, la plupart expriment des interrogations voire des doutes. Les implications sont multiples et vont de pair avec des interrogations plus vastes sur l'éthique de la génétique et de l'élevage : « *Quel potentiel de libre-évolution va-t-on laisser au non-humain, de capacités évolutives, de capacités propres et de ressorts créatifs du vivant qui impliquent d'être dans une relation pas simplement instrumentale mais dans une relation à la valeur intrinsèque ?* » (acteur de la société civile).

2.2. Le spectre des OGM

La plupart de ces incertitudes ne sont pas spécifiques au sujet : les interrogations et arguments soulevés dans le débat autour des OGM sont remobilisés par une partie des acteurs s'exprimant sur les NTG.

En assimilant les NTG aux OGM, certains acteurs cherchent à les insérer dans un cadre sociojuridique déjà existant. Relier les NTG aux OGM est une stratégie argumentative fréquemment

utilisée par les acteurs réfractaires à ces technologies. D'autres acteurs laissent de côté les OGM pour resituer les NTG dans l'histoire de la sélection génétique, soit comme une véritable rupture, soit comme un outil supplémentaire pour les sélectionneurs, voire en les présentant comme une simple réplication des processus naturels. Dissocier les NTG des OGM est une tentative argumentative pour réhabiliter les NTG, souvent employée par les acteurs qui y sont favorables.

Ces stratégies argumentatives entraînent des conséquences qui peuvent être aussi bien symboliques (la perception qu'ont les acteurs de ces techniques) que juridiques (application ou non de la directive 2001/18/CE spécifiques aux OGM).

3. TYPOLOGIE DES ENQUETES : QUELLES ATTITUDES VIS-A-VIS DES NTG ?

Une fois les incertitudes identifiées, nous avons cherché à voir si des profils d'acteurs se dessinaient au sein de notre échantillon. Il apparaît que la profession des enquêtés prédispose très fréquemment leur niveau de connaissance du sujet. Les chercheurs spécialisés en génétique, les acteurs de la sélection génétique d'entreprise, et certains représentants d'associations engagées sur les questions environnementales

ou sur les biotechnologies connaissent bien, voire très bien le sujet. Au contraire, les chercheurs appartenant à d'autres champs disciplinaires, ainsi que les acteurs appartenant à des associations de défense du consommateur, du bien-être animal ou ceux du secteur agricole hors sélection génétique connaissent rarement le sujet, à l'exception des acteurs ayant précédemment été engagés sur les OGM végétaux.

C'est donc à partir de ces informations que nous avons initialement cherché à construire notre typologie. Le degré de « favorabilité » vis-à-vis de ces techniques a aussi été pris en compte. Au cours des entretiens, les acteurs étaient amenés à exprimer leurs opinions sur le sujet ainsi que, le cas échéant, celui de la structure qu'ils représentaient. Pour élaborer cette typologie, nous n'avons retenu que leur positionnement individuel, un grand nombre de structure n'ayant aucune position officielle, voire même officieuse. Cette position relève plus d'une tendance que d'un avis net et tranché : si certains acteurs rejettent en bloc ou adhèrent aux NTG ou à certaines de leurs utilisations, beaucoup ont un discours plus nuancé, en construction, parfois flou et dans de rares cas, contradictoires. Néanmoins, des tendances ressortent généralement des entretiens et cinq profils de répondants vis-à-vis de leur perception des NTG ont été identifiés (Figure 2).

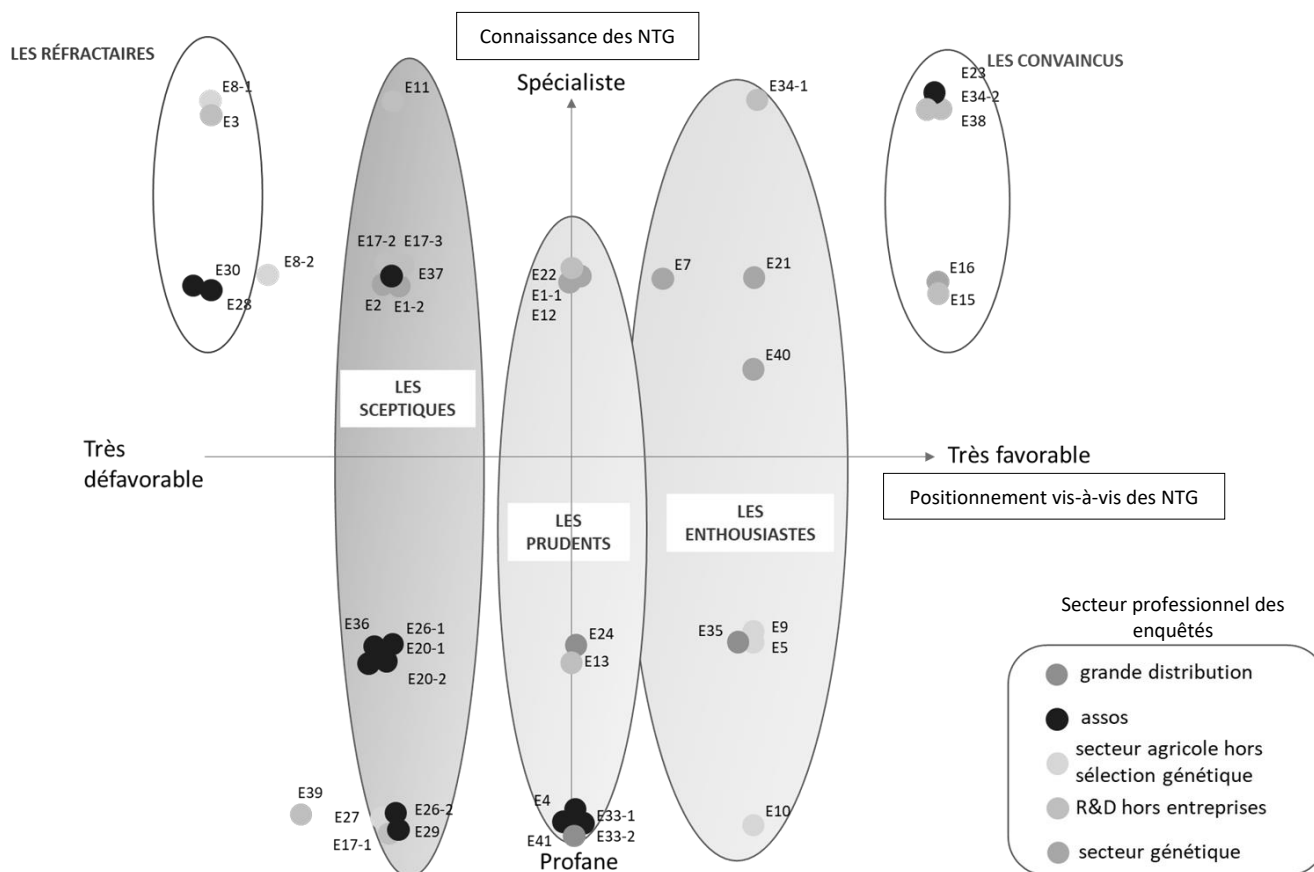


Figure 2 – Positionnements des enquêtés vis-à-vis des NTG

3.1. Les Convaincus

Les personnes convaincues ont une très bonne connaissance du sujet des NTG. Elles travaillent généralement dans le secteur des technologies génétiques, que ce soit dans les filières animales ou végétales. Leur travail ou leur engagement les amène à communiquer sur les NTG auprès d'un public plus ou moins spécialisé.

Elles considèrent que les NTG peuvent s'insérer dans tous les

types d'élevage selon l'application développée. Elles défendent généralement une application spécifique et cherchent à la promouvoir. Il peut s'agir d'applications visant à améliorer la résistance aux maladies des animaux ou à modifier la composition nutritionnelle des produits issus de ces animaux, par exemple. Elles montrent de l'intérêt pour d'autres projets mais placent cette innovation au premier plan.

Plus globalement, on retrouve chez les individus du profil « Convaincus » un argumentaire qui présente les

biotechnologies comme une solution pour une agriculture et un élevage plus durables.

3.2. Les Réfractaires

Les individus du profil « Réfractaires » expriment une opposition ferme à l'application des NTG dans le secteur agricole et sont généralement engagés sur le sujet, qu'ils connaissent bien (membres du Haut Conseil aux Biotechnologies, représentants d'association, chercheurs généticiens, etc.).

Les personnes de ce profil connaissent bien la controverse autour des OGM végétaux et s'y réfèrent régulièrement. La controverse autour des OGM « classiques », qui a débuté dans les années 90, leur sert de cadre d'analyse pour les NTG : « Avec CRISPR on a eu exactement les mêmes affirmations, promesses, etc., qu'avec des premiers OGM il y a 30 ans. » (représentant du secteur associatif). Leurs arguments contre les OGM et les NTG sont, notamment, la destruction de la diversité et de la capacité d'adaptation des animaux et des plantes, la désynchronisation par rapport au temps « naturel » de l'évolution, les effets inattendus potentiels et les impacts négatifs des techniques connexes mobilisées.

3.3. Les Enthousiastes

Le profil d'acteurs « Enthousiastes » se distingue des « Convaincus » car ils ne sont pas engagés personnellement ou professionnellement dans le débat. Ils ont un niveau de connaissance très varié, allant du chercheur spécialiste du sujet qui ne souhaite pas s'impliquer dans le débat, à l'individu profane qui imagine plein de possibilités avec de tels outils. Ces individus espèrent que ces techniques vont offrir des solutions aux défis que rencontrent actuellement les filières d'élevage : meilleure valorisation de l'herbe, moindres émissions de méthane, viande plus persillée...

« Il y a plein d'hypothèses possibles et inimaginables dans ce dossier-là, il n'y a quasiment aucune limite. Dans la réflexion... car après, dans la mise en place, c'est un petit peu plus compliqué » (acteur de la sélection génétique).

3.4. Les Sceptiques

Les termes « sceptique » et « dubitatif » ont été mobilisés à plusieurs reprises par des répondants, ce qui a participé à la construction de ce profil. On y trouve davantage de représentants de la société civile que dans les autres profils, mais aussi des acteurs de la sélection génétique plus spécialistes.

Les individus de ce profil expriment des doutes sur trois plans principaux : d'une part l'intérêt de ces techniques d'un point de vue technologique, d'autre part la possibilité de développer ces outils au sein d'un système respectueux des animaux et de l'environnement, et enfin la capacité à régler le développement de ces outils. « À mon avis, il y a peut-être une autre voie que d'en passer par ces techniques-là, comme des changements de pratiques ou de systèmes d'élevage purement et simplement » (acteur du secteur agricole).

3.5. Les Prudents

Les acteurs « Prudents » sont les plus difficiles à caractériser. Ce sont soit des personnes ayant une faible connaissance du sujet ce qui explique leur difficulté à se positionner vis-à-vis de l'utilisation des NTG en élevage. Ce sont aussi des personnes qui

connaissent mieux les technologies, expriment ponctuellement un intérêt ou une opposition à certaines applications, mais sans avoir de position générale arrêtée. Elles considèrent qu'il leur faut plus d'informations pour prendre position sur le sujet.

Les individus de ce profil sont donc prudents dans leur réponse, et invitent à ce que, collectivement, une attitude prudente à l'égard des NTG soit adoptée. La décision est remise entre les mains d'autrui : celles des chercheurs à qui il revient de donner plus d'éléments pour nourrir la réflexion et pour décider si l'utilisation de ces techniques est pertinente ou non, à la société civile qui est présentée comme juge, ou aux politiques dont on attend qu'ils donnent l'impulsion. Ils mettent l'accent sur la nécessité de trouver un « compromis » entre les différentes parties prenantes et évitent de se positionner individuellement. « À partir du moment où c'est un sujet qui sera validé par l'ensemble de la société, que ce soit la justice, les fraudes, les ONG, ça ne nous pose aucun problème » (acteur de la grande distribution).

4. QUELLE PERCEPTION DES NTG PAR LE GRAND PUBLIC ?

Nos résultats portent sur la vision d'acteurs relativement engagés sur le sujet des NTG ou sur des enjeux connexes, et porteurs d'opinion dans le contexte français. D'autres travaux ont cherché à saisir l'attitude du grand public vis-à-vis de ces technologies en menant des études de consommateurs.

Aux Etats-Unis, par exemple, Ritter *et al.* (2019) ont interrogé 434 consommateurs sur leur perception d'une vache modifiée génétiquement pour ne plus avoir de cornes. Cette étude montre que l'application ainsi que l'objectif mis en avant influencent l'attitude du public vis-à-vis des NTG. Les répondants se montrent plus favorables à une application de résistance aux maladies qu'à celle des vaches sans cornes, et sont plus favorables à l'utilisation des NTG lorsque l'objectif est l'amélioration du bien-être animal plutôt qu'une diminution des coûts de production.

D'autres travaux analysent les déterminants socioculturels influençant la perception qu'ont les individus des biotechnologies. Debucquet *et al.* (2020) se sont ainsi intéressés aux représentations influençant la perception qu'ont les profanes français des NTG. Cette étude se concentre sur le principe général des techniques de modification du génome, en laissant de côté les utilisations dont elles pourraient faire l'objet. Les résultats montrent que, de manière générale, les participants ne sont pas très favorables aux NTG, la transgénèse (introduction d'ADN provenant d'une espèce avec laquelle la reproduction sexuée n'est pas possible) et la cisgénèse (insertion d'ADN présent chez d'autres animaux de la même espèce ou d'une espèce proche) étant les méthodes qu'ils rejettent le plus. L'étude révèle une différence dans les logiques de classifications profanes et scientifiques des outils génétiques. Certains individus suivent une logique dite « cartésienne », leur préférence allant aux techniques ciblées, d'autres suivent une logique « naturaliste » et tolèrent mieux les techniques aléatoires. D'autres critères comme le degré d'intervention de l'humain, la précision de la modification et sa transmissibilité influencent aussi la représentation qu'ont les individus des techniques.

Au niveau européen, une étude néerlandaise (Middelveld *et Macnaghten*, 2021) s'est intéressée aux imaginaires sociotechniques forgeant le rapport aux NTG des professionnels de la sélection génétique et des chercheurs en science de

l'agriculture. Trois imaginaires ont été identifiés. L'imaginaire « Cautiously Exploring » (Explorateur Prudent), le plus fréquemment rencontré, se caractérise par l'incertitude et l'indécision des acteurs, qui ne savent pas vraiment s'il faut adopter ou non la technologie. Quelques individus adhèrent à un imaginaire qualifié de « Move Fast » (Avancée Rapide), qui s'appuie sur la conviction que les NTG sont une solution à développer et dont l'enjeu principal est d'obtenir un cadre réglementaire favorable pour avancer à grands pas vers la commercialisation. Le dernier imaginaire est celui du « Move Out » (Prise de Distance) : pour ces individus, les NTG vont inévitablement se développer, mais en dehors de l'UE qui ne réévaluera pas sa position vis-à-vis de ces technologies. Pour les auteurs, il est important de s'intéresser à ces imaginaires sociotechniques, puisque les acteurs de la sélection génétique et de la R&D s'appuient sur eux pour faire évoluer ou maintenir l'équilibre actuel autour des NTG et peuvent peser dans les négociations.

CONCLUSION

Ce travail a permis d'identifier les principales incertitudes liées à l'utilisation potentielle des NTG sur les animaux d'élevage et l'éventail des positions vis-à-vis de ces technologies. Le sujet étant pour l'instant confiné à des sphères spécialisées, ces positions sont à même d'évoluer. Derrière ces différentes mises en récit se trouvent des divergences plus profondes qui traduisent plusieurs visions du monde. L'une d'elle est la relation des acteurs au milieu scientifique et à la science en général. Les acteurs très critiques de technoscience sont souvent opposés aux NTG et n'envisagent pas que la science puisse résoudre les incertitudes qu'elles soulèvent. À cela s'ajoutent les nombreuses problématiques que soulève l'élevage aujourd'hui, faisant l'objet d'âpres discussions (Delanoue, 2018). L'autre aspect nécessaire à la compréhension de la position des acteurs est donc le type d'élevage qu'ils défendent. Le contexte controversé autour de l'élevage peut expliquer que les positionnements soient plus prudents chez les acteurs de l'élevage que chez ceux du secteur végétal. De nombreux répondants ont recentré le débat autour des systèmes d'élevage à promouvoir. Ces deux rapports à la science et à l'élevage influencent grandement l'avis des acteurs,

qui associent parfois l'activité technoscientifique au modèle agricole industriel et intensif.

Cette étude a un caractère prospectif, les acteurs engagés sur le sujet étant à ce jour restreints à des sphères spécialisées et les animaux « édités » n'étant pas sortis des laboratoires. Cependant, depuis le début de ce travail, le contexte évolue rapidement : multiplication des projets de recherche, projets approchant la commercialisation, travaux des gouvernements et des instances juridiques pour repenser les cadres législatifs... Ainsi, le porc résistant au SDRP de l'entreprise Genus PIC est en phase de pré-commercialisation aux Etats-Unis, l'entreprise ayant fait savoir qu'elle échangeait actuellement avec la Food and Drug Administration (FDA) en prévision d'une évaluation. En décembre 2020, un deuxième animal modifié par modification ciblée du génome a été approuvé par la FDA en vue d'une mise sur le marché alimentaire, ainsi que pour un usage thérapeutique. Il s'agit du porc GalSafe, qui n'exprime pas de sucre alphagal, qui déclenche des allergies chez certains individus. L'inscription de cet animal à la fois dans les champs alimentaire et médical, pourrait conduire à des échanges d'arguments nouveaux ainsi qu'à mieux cerner la spécificité des relations des consommateurs avec l'animal-aliment et l'animal-médicament. En septembre 2021, c'est une daurade génétiquement modifiée pour une croissance plus rapide qui a fait l'objet de ventes-tests au Japon.

De nouveaux questionnements liés à l'avancée de la recherche ou à la publicisation du sujet pourraient voir le jour. Par exemple, la modification ciblée de l'épigénome ou du microbiote, thématiques de recherches émergentes, n'ont pas été abordées avec les enquêtés. Des études plus ciblées sur des types de modification ou un nombre restreint d'applications permettraient d'approfondir le sujet.

L'utilisation des techniques de modification ciblée du génome sur les animaux d'élevage pourrait donc très vite quitter la sphère des « spécialistes » et devenir une affaire publique.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les personnes qui ont accepté de témoigner en entretien, le GIS Avenir Elevages pour son soutien financier ainsi que les membres du groupe de travail « Nouvelles Technologies Génétiques » pour leur contribution et leur implication dans ce projet.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chateauraynaud F., 2011. Sociologie argumentative et dynamique des controverses : l'exemple de l'argument climatique dans la relance de l'énergie nucléaire en Europe. *A contrario*, 16, 2, 131.
- Debucquet G., Baron R., Cardinal M., 2020. Lay and scientific categorizations of new breeding techniques: implications for food policy and genetically modified organism legislation. *Public Underst. Sci*, 29, 5, 524-543.
- Delanoue E., 2018. Débats et mobilisations autour de l'élevage : analyse d'une controverse. Thèse de doctorat. Univ. Rennes 2, Rennes, France, 426 p.
- Jinek M., Chylinski K., Fonfara I., Hauer M., Doudna J. A., Charpentier E., 2012. A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *Science*, 337, 6096, 816-821.
- Lemieux C., 2007. À quoi sert l'analyse des controverses ? *Mil neuf cent*, 25, 1, 191-212.
- Middelveld S., Macnaghten P., 2021. Gene editing of livestock: Sociotechnical imaginaries of scientists and breeding companies in the Netherlands. *Elementa*, 9, 1.
- Pestre D., 2007. L'analyse de controverses dans l'étude des sciences depuis trente ans : Entre outil méthodologique, garantie de neutralité axiologique et politique. *Mil neuf cent*, 25, 1, 29-43.
- Ritter C., Shriver A., McConnachie E., Robbins J., von Keyserlingk M.A.G., Weary D., 2019. Public attitudes toward genetic modification in dairy cattle. *PLOS ONE*, 14, 12.
- Tan W., Carlson D.R., Lancto C.A., Garbe J.R., Webster D.A., Hackett P.B., Fahrenkrug S.C., 2013. Efficient nonmeiotic allele introgression in livestock using custom endonucleases. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 110, 41, 16526-16531.