



HAL
open science

Targeted genome modification applied to animals: in between controversies

Raphaëlle Duclos, Elsa Delanoue, Anne-Charlotte Dockès, Laurent Journaux, Michel Sourdioux, Jean Pierre Bidanel

► To cite this version:

Raphaëlle Duclos, Elsa Delanoue, Anne-Charlotte Dockès, Laurent Journaux, Michel Sourdioux, et al.. Targeted genome modification applied to animals: in between controversies. INRAE Productions Animales, 2022, 35 (1), pp.61-72. 10.20870/productions-animales.2022.35.1.5524 . hal-03677163

HAL Id: hal-03677163

<https://hal.inrae.fr/hal-03677163>

Submitted on 24 May 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.



Distributed under a Creative Commons Attribution| 4.0 International License

Les modifications ciblées du génome appliquées aux animaux d'élevage : à la croisée des controverses

Raphaëlle DUCLOS¹, Elsa DELANOUE², Anne-Charlotte DOCKÈS³, Laurent JOURNAUX⁴, Michel SOURDIOUX⁵, Jean-Pierre BIDANEL⁶

¹SYSAAF, GABI, INRAE, 78350, Jouy-en-Josas, France

²Institut de l'Élevage, Ifip-Institut du porc, Itavi, Monvoisin, 35652, Le Rheu, France

³Institut de l'Élevage, 149 rue de Bercy, 75012, Paris, France

⁴France Génétique Élevage, 149 rue de Bercy, 75012, Paris, France

⁵SYSAAF, UMR BOA, INRAE, 37380, Nouzilly, France

⁶Université Paris-Saclay, INRAE, AgroParisTech, GABI, 78350, Jouy-en-Josas, France

Courriel : jean-pierre.bidanel@inrae.fr

■ Les débats autour des techniques de modification ciblée du génome sont nombreux aujourd'hui, mais laissent souvent de côté les animaux d'élevage. Cet article analyse les positions visibles parmi les acteurs français et brosse un panorama des orientations que pourraient prendre ce sujet controversé si ces techniques devaient être autorisées en Europe à des fins de productions alimentaires.

Introduction

Jusqu'au début des années 2010, les Animaux Génétiquement Modifiés (AGM) étaient peu nombreux, hormis quelques animaux de laboratoire (principalement des souris). Leur utilisation hors recherche était limitée à l'obtention de molécules d'intérêt pharmaceutique à forte valeur ajoutée. L'arrivée de nouveaux outils de modification ciblée du génome, notamment Crispr-Cas9, a multiplié les travaux menés sur les animaux. Crispr-Cas9 est un système composé de répétitions palindromiques, courtes séquences d'ADN ou d'ARN regroupées et régulièrement espacées¹, et d'une protéine associée (Ducos *et al.*,

2017). Jinek *et al.*, (2012) ont montré que Crispr-Cas9 pouvait être utilisée pour des modifications ciblées du génome. Le système Crispr-Cas9 permet d'induire des cassures double brin de l'ADN de façon ciblée grâce à l'ARN guide ; les mécanismes de réparation de l'ADN permettent ensuite d'introduire de nouvelles séquences d'ADN. Depuis 2012, l'utilisation de Crispr-Cas9 dans les laboratoires de recherche augmente de façon exponentielle. La remise du Prix Nobel de Chimie le 7 octobre 2020, aux deux co-découvreuses du système Crispr-Cas9, Emmanuelle Charpentier et Jennifer Doudna, vient entériner l'importance de cette découverte et la ramène au-devant de la scène médiatique. Nous regroupons trois méthodes sous

l'appellation générique « Nouvelles Technologies Génétiques » (NTG), bien que cette expression englobe aussi d'autres techniques. La sémantique choisie étant souvent elle-même objet de controverse, nous précisons dans l'**encadré 1** un certain nombre de concepts scientifiques et d'expressions fréquemment rencontrés.

Au-delà du domaine médical, la méthode Crispr est très utilisée en recherche agronomique et promet de nombreuses applications pour les différentes filières agricoles. Les projets se multiplient dans le domaine végétal, proposant par exemple des plantes plus résistantes à la sécheresse, aux maladies ou au rendement amélioré. Parmi les utilisations sur des animaux,

1 Crispr est l'acronyme de « *Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats* » ou en Français « Courtes répétitions palindromiques groupées et régulièrement espacées ». Cas9 est une endonucléase (protéine qui coupe la molécule d'ADN) associée à Crispr.

Encadré 1. Concepts scientifiques et vocabulaire utilisés dans le domaine des nouvelles technologies génétiques.**1. Appellation des produits obtenus : une définition juridique**

Organisme Génétiquement Modifié (OGM) : « 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 » (Directive 2001/18/CE relative à la dissémination volontaire d'OGM dans l'environnement).

Animal Génétiquement Modifié (AGM) : la définition précédente s'appliquant spécifiquement à un animal.

2. Outils utilisés

Modification ciblée du génome : expression générique qui qualifie des méthodes de modification du génome développées à partir des années 2000. Elles se distinguent des méthodes précédentes car elles permettent de cibler le gène à modifier et non plus simplement d'effectuer une insertion aléatoire d'un gène étranger (transgénèse). Crispr-Cas9 fait partie de la famille des nucléases programmables, qui comprend également les nucléases « à doigt de zinc » (ZFN) et les Talen (*Transcription activator-like effector nucleases*). Ces autres nucléases, découvertes antérieurement, permettent également des modifications ciblées des génomes, mais leur utilisation est plus complexe et plus coûteuse que Crispr-Cas9. Le caractère ciblé et précis des modifications engendrées par les nucléases programmables leur a valu l'appellation de « ciseaux moléculaires ». Ces modifications permettent d'inactiver, muter, substituer ou insérer une ou plusieurs séquences d'ADN.

New Breeding Techniques (NBT) / Nouvelles Technologies Génétiques (NTG) : expression générique qui qualifie les outils de modification du génome développés après 2001 et la directive 2001/18/CE. Cette expression qualifie un nombre de techniques plus large que les simples outils dits de modification ciblée du génome.

Édition du génome : traduction littérale de l'expression anglaise « *genome editing* » désignant une partie des techniques comprises sous l'expression NBT/NTG et permettant d'opérer différents types de modification : mutagenèse, transgénèse, etc. Son emploi est sujet à débat. D'autres acteurs préfèrent la traduction réécriture/correction du génome.

3. Les utilisations possibles

Cisgénèse : insertion d'éléments d'ADN présents chez d'autres animaux de la même espèce ou d'une espèce proche (compatibles sexuellement). Ces éléments d'ADN n'ont pas été réarrangés ou modifiés.

Intragénèse : insertion d'éléments d'ADN présents chez d'autres animaux de la même espèce ou d'une espèce proche (compatibles sexuellement). Contrairement à la cisgénèse, les éléments d'ADN ont été réarrangés ou modifiés.

Transgénèse : introduction de gènes ou d'éléments d'ADN provenant d'une espèce avec laquelle la reproduction sexuée n'est pas possible.

Le vocabulaire utilisé pour parler des différents types d'organismes modifiés est varié et fait souvent l'objet d'enjeux sémantiques. Certaines appellations désignent le produit obtenu (1), d'autres les outils utilisés pour y parvenir (2) ou encore le type de modifications induites (3).

celle du « forçage génétique » permet de contrôler la propagation d'espèces nuisibles telles que le moustique, en déjouant les lois de l'hérédité mendélienne (Simard, 2018). Quant aux animaux d'élevage, les applications potentielles des nucléases programmables sont elles aussi nombreuses et variées (Ducos *et al.*, 2017 ; Maximiano *et al.*, 2021), par exemple : résistance aux maladies comme le syndrome dysgénésique et respiratoire du porc (SDRP) ; intérêt nutritionnel par la production de lait hypoallergénique ; accélération de la croissance des animaux ; alternative « bien-être » à l'écornage des bovins, etc. Pour l'instant, ces applications sont encore confinées dans les laboratoires et n'ont pas encore atteint les circuits de production ou alimentaires. Les AGM, que cela soit par des méthodes de manipulation du génome anciennes ou nou-

velles, sont pour l'instant absents de l'espace public français et européen. Le sujet n'en reste pas moins débattu au sein de la communauté scientifique et des positions de professionnels de la sélection génétique commencent à émerger.

Parce qu'ils sont des êtres sensibles objets de multiples représentations (culturelle, scientifique, politique, économique, juridique...), les animaux peuvent être considérés comme des objets sociotechniques (Barthe *et al.*, 2014). Toutefois, parce qu'ils diffèrent sur de nombreux aspects des végétaux, il est vraisemblable que la controverse sur les AGM n'aura pas la même dynamique ni la même structure que celle autour des Plantes Génétiquement Modifiées (PGM). Cet article vise à identifier les spécificités de la controverse autour des AGM en s'appuyant sur la

littérature publiée sur la question ainsi que sur une observation des quelques prises de positions officielles des parties prenantes françaises traditionnellement impliquées sur l'élevage ou les biotechnologies. Il s'agit ainsi d'étudier la trajectoire d'une controverse émergente, bien qu'encore confinée à des sphères spécialisées, autour des NTG en élevage.

Dans une première partie, nous montrerons que tous les éléments sont réunis pour que la controverse scientifique autour des AGM voit le jour dans le débat public français et nous rappellerons le cadre juridique actuel dans les principaux pays concernés. Ensuite, nous verrons sur quelles thématiques se construit la controverse autour des OGM, ainsi que celle concernant le saumon AquaBounty, longtemps unique AGM

disponible² sur le marché alimentaire (en Amérique du Nord), afin de montrer que celles-ci ne laissent pas nécessairement présager de la configuration de la controverse sur les AGM. Nous examinerons ensuite les prises de positions des sphères spécialisées dans le contexte français, où la visibilité des AGM dans l'espace public est rare et reste cantonnée au champ de l'expérimentation animale. Pour terminer, nous nous intéresserons aux quelques prises de position d'acteurs de la société civile sur le sujet, positions qui viennent interroger les modèles d'élevage en place plutôt que les biotechnologies en elles-mêmes.

1. Les nouvelles technologies génétiques : les éléments d'une controverse naissante

Cette partie présente les différentes incertitudes associées aux NTG appliquées aux animaux d'élevage, qui sont autant d'ingrédients pour que la controverse devienne publique.

■ 1.1. L'analyse des controverses comme approche méthodologique

L'analyse des controverses (Callon, 2013 ; Lemieux, 2007) s'intéresse à des moments où tout est en train de se faire, va se faire ou au contraire ne pas se faire, ou pour le dire autrement : « constituent ouvertement des moments de renversement potentiel des rapports et des croyances jusqu'alors institués » (*Ibid*). Les différents acteurs cherchent à rallier le public à leur camp, les arguments s'échangent malgré les incertitudes. La définition de la controverse en sociologie se construit autour de cette notion d'incertitude. Ainsi, la controverse sociotechnique peut se définir comme

2 La situation évoluant rapidement, d'autres AGM approchent désormais du marché. Une daurade génétiquement modifiée pour croître plus rapidement a fait l'objet de ventes test au Japon en septembre 2021. Le porc résistant au SDRP de l'entreprise Genus-plc est en phase de pré-commercialisation.

« une situation dans laquelle un différend/désaccord entre plusieurs parties – chaque partie engageant des savoirs spécialisés et aucune ne parvenant à imposer des certitudes – est mis en scène devant un tiers. Une controverse est caractérisée par un enchevêtrement d'enjeux variés, de faits et de valeurs ainsi que par le fait que s'y jouent simultanément une définition de la technique et du social » (Benvegna et Laurent in Seurat et Tari, 2021).

Ce cadre semble pertinent pour traiter de l'arrivée potentielle des NTG en élevage. Le passage à la controverse publique n'a pas encore eu lieu en France pour les AGM, le débat étant pour l'instant confiné aux sphères scientifiques et/ou spécialisées en sélection génétique. Toutefois, l'arrivée possible des biotechnologies dans le milieu de l'élevage, si elle n'est pas nouvelle, a pris une toute autre dimension avec l'accélération des découvertes depuis celle de Crispr-Cas9. Malgré des avancées rapides, les connaissances sur les NTG restent pour l'instant incomplètes. Les débats que soulèvent ces connaissances non stabilisées viennent rencontrer des questionnements non restreints au milieu scientifique et concernant plus généralement l'élevage et les relations anthropozoologiques (Delanoue *et al.*, 2018).

Recourir au prisme de la sociologie des controverses permet d'observer les forces en puissance (qui s'exprime ?), la diversité des points de vue exprimés (quelles visions du monde s'affrontent ?), les dynamiques des relations des acteurs (qui répond à qui ? qui s'allie à qui ?) et quels sont leurs moyens d'action pour faire évoluer le cadre normatif. L'étude des controverses permet « l'exploration des états du monde possibles lorsque, du fait des incertitudes, ceux-ci ne sont pas connus » (Barthe *et al.*, 2014).

■ 1.2. Des modifications du génome dans un contexte incertain : les éléments pour l'advenue d'une controverse publique

a. Des points de tension autour des nombreuses incertitudes scientifiques

Pour commencer, il existe des incertitudes intrinsèques aux modifications

ciblées du génome. Si, par opposition aux méthodes précédentes de modification, les NTG permettent une modification ciblée et non plus aléatoire, des incertitudes autour de la maîtrise de l'outil persistent. La question des effets non-intentionnels, comme les effets hors-cible (c'est-à-dire touchant des zones d'ADN non ciblées) ou encore la mauvaise maîtrise lors de la délivrance de la modification, relèvent de cette catégorie (Burgio et Teboul, 2020). L'affaire des taureaux de l'entreprise Recombinetics aux États-Unis, modifiés par une nucléase de type Talen pour naître sans cornes, illustre bien l'impact potentiel de ces incertitudes. En juillet 2019, la *Food and Drug Administration* (FDA) analyse les séquences d'ADN de deux veaux modifiés et découvre que, si les deux allèles contiennent bien la séquence génétique du variant sans corne, un des allèles a en outre intégré l'ADN du plasmide utilisé pour la modification ciblée, ainsi qu'une seconde copie du variant sans corne, rendant ainsi les deux veaux transgéniques (Norris *et al.*, 2020). Bien que ne présentant pas de risque sanitaire direct, cette insertion n'avait pas été identifiée par les développeurs, et était susceptible de conférer une résistance des animaux aux antibiotiques. Cet événement, fortement discuté au sein de la communauté scientifique, n'a eu qu'un faible retentissement au sein des médias français³. Si Crispr permet de s'affranchir du recours à des bactéries pour effectuer des modifications, cet exemple interroge la capacité des acteurs à identifier les effets non-désirés.

Des incertitudes existent également autour du fonctionnement du génome, qui vont de l'impact des modifications sur les animaux aux interactions entre les gènes dans le cas d'introduction de plusieurs caractères simultanément. Les effets collatéraux liés à l'utilisation de ces techniques sont potentiellement nombreux et restent à évaluer.

3 Une recherche sur Europresse avec les mots clefs « taureau* » ou « veau* » ou « vache* » et « Recombinetics » sur la période 2019-2020, effectuée le 16 février 2021, nous donne sept résultats. Parmi ces résultats, deux ne traitent pas de l'événement et sont donc hors-sujet. Parmi les cinq restants, un article Sciences et avenir est une reprise de la dépêche de l'AfP sur le sujet. À cela s'ajoute trois articles du Monde sur le sujet et un doublon du blog *Le monde*.

Au-delà du strict débat scientifique, il existe des incertitudes plus vastes qui se retrouvent pour partie au sein de la littérature académique, où les points de vue sont nombreux et les registres argumentaires déployés variés (De Graeff *et al.*, 2019). Ces arguments et questionnements sont environnementaux, socioéconomiques, juridiques ou encore éthiques.

b. Des incertitudes environnementales, socioéconomiques et éthiques

Dans leur revue, (De Graeff *et al.*, 2019) analysent 134 articles académiques traitant des modifications ciblées du génome et recensent les arguments en faveur ou défaveur de leur utilisation sur les animaux. Ils les regroupent au sein de sept thématiques : santé humaine, efficacité, risques et incertitudes, bien-être animal, dignité animale, considérations environnementales et acceptabilité sociétale.

Les effets potentiels des NTG sur l'environnement, bien que moins présents que pour le domaine végétal, méritent que l'on s'y intéresse. Ces risques concernent particulièrement les espèces aquacoles, où les échappements d'animaux conduisent à des croisements entre poissons sauvages et domestiqués. Il est encore difficile d'évaluer l'impact potentiel de l'introgresion de (trans)gènes modifiés au sein des populations sauvages (Okoli *et al.*, 2022) : existe-t-il un risque d'altération de la biodiversité ? Ces croisements peuvent-ils conduire à une perturbation de l'équilibre écologique ? En outre, l'impact indirect de ces outils sur l'environnement reste à évaluer. Si, pour certains acteurs, les NTG sont un outil pour réduire l'impact environnemental de l'élevage, par exemple en permettant de réduire les rejets de phosphore des porcs (Golovan *et al.*, 2001) ou en améliorant la productivité, pour d'autres, au contraire, elles risquent de contribuer à l'intensification de l'élevage, souvent associée par les acteurs à une amplification des impacts négatifs sur l'environnement.

L'intégration des NTG dans un système socio-économique pose elle

aussi de nombreuses questions. C'est l'organisation même de l'élevage qui peut se voir impactée. En particulier, risque-t-on d'aller vers une situation de monopole sur les ressources génétiques à travers la mise sous brevet du vivant ? Les éleveurs ne vont-ils pas se voir dépossédés de leurs compétences et se retrouver dans une situation de dépendance vis-à-vis des entreprises développant des AGM ? La diversité des cadres juridiques ou des compétences scientifiques nécessaires va-t-elle contribuer à renforcer une distorsion de concurrence entre les différentes régions du monde ?

Par ailleurs, d'un point de vue éthique, la possibilité même de modification du génome, qu'il soit humain, animal ou végétal, est un débat récurrent. Un des points d'acmé de la controverse autour de Crispr, cette fois-ci appliqué aux humains, a été l'annonce de la naissance de jumelles chinoises modifiées génétiquement en 2018. En effet, grâce à Crispr-Cas9, le chercheur He Jankui a introduit une mutation du gène CCR5, supposée conférer aux jumelles une résistance au Virus de l'Immunodéficience Humaine (VIH). La communauté scientifique a condamné son utilisation non-justifiée de Crispr, le recours à une méthode encore mal maîtrisée et avec des effets hors-cible potentiellement nombreux, ainsi qu'une modification des cellules germinales transmissible à la descendance. Ces questions d'ordre éthique s'appliquent aussi chez l'animal : est-ce moral de modifier l'animal au profit de l'humain ? Ne-risque-t-on pas de nuire à son bien-être ? Ces interrogations, que l'on peut faire remonter aux origines de la domestication, sont déjà présentes dans le cadre du processus de sélection génétique. L'utilisation potentielle des NTG les renouvelle et les exacerbe, dans la mesure où elles ne se limitent pas à l'utilisation de la variabilité génétique disponible, mais permettent de modifier de façon beaucoup plus rapide et précise le patrimoine génétique d'une population, voire d'une espèce (Ducos, 2020).

Dans leur revue précédemment citée, De Graeff *et al.*, (2019) mettent en évidence les insuffisances de la littérature pour résoudre toutes ces incertitudes.

En effet, ils déplorent une faible diversité disciplinaire, la majorité des auteurs appartenant au secteur vétérinaire ou biomédical. Ils constatent aussi un manque d'études comparant systématiquement les risques et bénéfices potentiels, études qui à leurs yeux pourraient permettre une meilleure vision d'ensemble. Enfin, leur étude met en avant un décalage entre les arguments mobilisés par les experts et ceux convoqués dans le débat public. Ainsi, les interrogations sur l'allocation des fonds publics à la recherche sur les NTG plutôt qu'à d'autres thématiques, l'égalité d'accès à ces outils ou encore de la commercialisation des NTG sont sous-représentées dans le discours des experts. Ces remarques invitent à élargir le débat à de nouveaux acteurs.

c. Retour sur un encadrement juridique discuté

Pour le moment, le débat autour de l'encadrement juridique des NTG se joue principalement dans le domaine végétal et sur leur caractérisation ou non en tant qu'OGM. Afin de situer les débats européens dans un contexte international, l'encadré 2 précise les législations en place dans différents pays et les débats qu'elles soulèvent.

Face au flou juridique, la Confédération paysanne et dix autres associations ont saisi le Conseil d'État français en 2016 afin qu'il précise si les produits issus de NTG devaient être considérés comme des OGM. Ce dernier a renvoyé la question à la Cour de Justice de l'Union Européenne (CJUE), qui a rendu un arrêt le 25 juillet 2018 disposant que les produits issus de la mutagenèse ciblée, comme les produits Crispr, doivent être régulés comme des OGM. Cela signifie qu'ils doivent respecter la procédure d'autorisation définie par la directive 2001/18/CE et que leur culture est interdite dans certains États-membres, dont la France. Malgré cet arrêt, le 7 janvier 2021, le Ministre de l'Agriculture déclarait⁴ que les NTG

4 Propos recueillis par Mathieu Robert (Agra presse), Nathalie Marchand (Les Marchés) et Vincent Motin (Réussir.fr). (2021, 22 janvier). « Les NBT, ce ne sont pas des OGM ». Agra Presse. <https://www.agra.fr/agra-presse/les-nbt-ce-ne-sont-pas-des-ogm> [consulté en juin 2021].

Encadré 2. Aperçu des différentes législations encadrant les NTG dans différents pays.**Argentine**

En 2015, l'Argentine a été le premier pays à adapter son cadre juridique sur les OGM aux NTG, grâce à la *Resolution no. 173/15*. Elle a adopté une approche « produit par produit ». Les produits ne présentant pas de « nouvelle combinaison de matériel génétique » (c'est-à-dire un transgène) sont exemptés de la réglementation OGM et sont soumis à une procédure simplifiée (Whelan et Lema, 2015).

Royaume-Uni

Jusqu'ici, le Royaume-Uni était soumis à la directive européenne 2001/18/CE concernant les OGM. Début 2021, le *Department for Environment, Food & Rural Affairs (DEFRA)* britannique a ouvert une consultation publique proposant une révision du cadre juridique traitant des OGM et plus spécialement des NTG : « Le DEFRA estime que les organismes produits par édition du génome ou par d'autres technologies génétiques ne doivent pas être réglementés en tant qu'OGM s'il est également possible de les produire par des méthodes de sélection traditionnelles. La sortie de l'UE est l'occasion de mener des consultations sur les implications de cette question ».

États-Unis

À la différence de l'UE, qui réglemente selon la technique utilisée pour obtenir une modification (Hermitte et Noille, 1993), les États-Unis ont une approche qui s'appuie sur les caractéristiques du produit final. De nombreuses plantes modifiées *via* des NTG ne sont pas soumises à la régulation encadrant les OGM, notamment lorsqu'il s'agit de « délétions, substitutions d'une seule paire de bases, introduction de séquences provenant de plantes apparentées sexuellement compatibles ».

L'évaluation des AGM utilisés en agronomie relève de la *Food and Drug Administration (FDA)*. Une proposition de loi sur le transfert de compétence vers l'*United States Department of Agriculture (USDA)*, beaucoup plus favorable que la FDA vis-à-vis de l'utilisation du *genome editing*, est désormais ouverte aux commentaires du public⁵.

Norvège

Les OGM y sont encadrés par le *Norwegian Gene Technology Act* du 2 April 1993. Assez similaire à la législation européenne, cet acte a pour spécificité d'évaluer si le produit proposé contribue au développement durable et bénéficie à la société. « Pour décider d'accepter ou de refuser une demande, il convient également d'accorder une attention toute particulière à la question de savoir si la dissémination volontaire sera bénéfique pour la société et si elle est susceptible de promouvoir le développement durable ».

Le *Norwegian Biotechnology Advisory Board (2018)*, un organisme mandaté par le gouvernement pour traiter des dimensions sociales et éthiques liées aux biotechnologies, a rédigé une « Proposition d'assouplissement de la réglementation européenne en matière de dissémination volontaire d'Organismes Génétiquement Modifiés (OGM) », qui prend en compte le type de modification effectuée. Selon le type de modification, le processus d'évaluation peut être allégé.

ne s'appliquent ni aux animaux ni aux microorganismes, la Commission estimant la littérature insuffisante pour se prononcer. À ce jour, aucune demande d'autorisation de mise sur le marché alimentaire d'un AGM n'a été déposée auprès de l'Union Européenne (UE). Le cas échéant, toute demande devra être évaluée selon la directive 2001/18/CE.

Ce cadre juridique encore en construction reste questionné voire contesté par certains acteurs. Cette période d'incertitude quant à l'évolution des dispositifs normatifs pourrait contribuer à ouvrir le débat sur l'encadrement juridique des AGM.

2. Les nouvelles technologies génétiques appliquées aux animaux d'élevage, une simple continuité de la controverse sur les OGM ?

Cette partie revient sur le précédent de la controverse autour des OGM, auquel les différentes parties prenantes se réfèrent, pour s'y rattacher ou au contraire s'en éloigner. Si cette dernière préfigure certains jeux d'arguments, l'application des NTG aux animaux semblent ouvrir des questionnements nouveaux et la mise en avant de thématiques potentiellement différentes.

■ 2.1. La catégorisation des NTG par rapport aux OGM : un enjeu stratégique pour les acteurs de la controverse

Certains arguments peuvent avoir une « portée » importante qui se révèle au cours de la controverse (Chateauraynaud, 2011) de par les conséquences qui vont en découler. Les NTG font l'objet d'une stratégie argumentative par les acteurs de la controverse qui vise à associer ou au contraire dissocier les nouvelles méthodes de modification du génome de celles qui les ont précédées.

Les opposants aux modifications du génome, quelles qu'elles soient,

n'étaient pas des OGM et qu'il espérait une évolution de cette législation européenne.

Suite à l'interprétation de la directive 2001/18/CE par la CJUE, la Commission européenne a été chargée d'évaluer son adéquation pour encadrer les

produits issus de modifications ciblées du génome. Dans un rapport publié en avril 2021, elle conclut que : « tout porte à croire [que la directive 2001/18/CE] n'est pas adaptée à certaines NTG et à leurs produits et qu'elle doit être adaptée aux progrès scientifiques et technologiques » (European-Commission, 2021). La Commission européenne invite donc à des études complémentaires afin de décider quel cadre juridique ou aménagements seraient pertinents. Néanmoins, ses conclusions

5 Lien internet : <https://www.federalregister.gov/documents/2020/12/28/2020-28534/regulation-of-the-movement-of-animals-modified-or-developed-by-genetic-engineering>

recourent par exemple à l'appellation « nouveaux OGM » ou « OGM cachés » pour rattacher les NTG aux précédentes méthodes de transgénèse. Certains opposants à l'utilisation des NTG dénoncent l'usage de l'expression « édition du génome », derrière laquelle ils voient une tentative de soustraire les NTG du débat autour des OGM ainsi qu'à la directive 2001/18/CE. En les rattachant aux OGM de première génération, leurs adversaires considèrent qu'il n'y a rien de nouveau et que l'équilibre actuel (directive 2001/18/CE et clause de sauvegarde interdisant la culture des OGM en France) doit perdurer.

Au contraire, en distinguant les NTG des OGM, une partie des acteurs cherche à faciliter leur acceptation. En recourant à une appellation différente, les NTG sont soustraites à deux décennies d'échanges d'arguments, sur lesquels revient la partie suivante.

■ 2.2. La controverse autour des OGM comme toile de fond des NTG

Rattacher les NTG aux OGM rend possible une continuation du débat selon des configurations préexistantes.

Bernard De Raymond (2010) a montré que différentes configurations du conflit sur les OGM se sont succédées, chacune avec ses jeux d'acteurs et de registres argumentaires spécifiques. En 1996, à l'approche des premières autorisations commerciales, une centaine de scientifiques signent un appel au moratoire sur les cultures OGM. C'est une tentative d'exposer au grand jour les divergences d'opinion existant au sein de la communauté scientifique. D'abord « confinée », pour reprendre l'expression de Lemieux (2007), au milieu de l'expertise scientifique, des filières semencières et du gouvernement, la controverse sur les OGM devient publique peu de temps après, lorsque Greenpeace arrête un navire important du soja transgénique en Europe. Les premiers arguments sont échangés sur des registres environnementaux et sanitaires, notamment autour de la question de l'irréversibilité : une fois les OGM produits et commercialisés, il n'est plus possible de revenir en arrière s'il y a un danger. La traçabilité

et l'étiquetage deviennent un enjeu de la controverse. Pendant les années 1998 et 1999, la controverse autour des OGM est un laboratoire d'essai pour la démocratie délibérative et une conférence de citoyens est organisée. L'arrivée dans l'arène de la Confédération paysanne internationalise le débat et l'oriente autour d'enjeux plus économiques comme la brevetabilité du vivant et la liberté de ressemer (Bernard De Raymond, 2010). Avec les années 2000 arrivent les arguments autour de la « malbouffe », qui font entrer les OGM dans une remise en cause plus vaste du système libéral par le mouvement altermondialiste (Chateauraynaud *et al.*, 2010).

Ces différentes périodisations voient aussi les modes d'action des acteurs évoluer : le mouvement des faucheurs volontaires gagne en visibilité et les procès pour destruction des biens d'autrui deviennent une tribune pour exprimer son opposition aux OGM. Les actions collectives se multiplient et « [assument] leur illégalité » pour inciter le gouvernement à faire évoluer le droit (Bernard De Raymond, 2010). La controverse a basculé dans une logique de conflit rendant les échanges difficiles (Chateauraynaud *et al.*, 2010).

La controverse des OGM imprègne fortement la société française bien qu'elle se limite principalement aux PGM, au même titre que le débat autour des NTG. C'est au sein de cette controverse que s'inscrit celle sur les NTG appliquées à l'élevage, la prolongeant et s'en distinguant à la fois, comme l'illustre bien le débat autour de la réglementation. La controverse autour des OGM donne un cadre au débat autour des NTG : un cadre réglementaire d'abord, où le principe de précaution tient une place importante. Ensuite, c'est toute une expérience de la controverse qu'ont acquis les acteurs, ils peuvent désormais s'appuyer sur leur connaissance des risques et des points de tension potentiels pour forger leur position et développer leurs argumentaires. Bien que très liées aux OGM, les NTG sont des techniques différentes soulevant d'autres problématiques (comme celle de la détection des mutations). Leur application aux animaux apporte aussi

de nouvelles questions peu abordées jusqu'ici.

■ 2.3. Le cas du saumon « AquAdvantage® »

Jusqu'à récemment, l'unique AGM disponible sur le marché alimentaire était le saumon AquAdvantage® de l'entreprise américaine AquaBounty⁶. S'il n'a pas été obtenu en utilisant des NTG, c'est en sa qualité d'AGM que ce saumon nous intéresse. Par transgénèse de première génération, on a ajouté à ce poisson un gène d'hormone de croissance et un gène lui conférant une résistance au froid. Le saumon ainsi obtenu a une croissance plus rapide, puisqu'il lui faudrait la moitié du temps nécessaire à un saumon conventionnel pour atteindre le poids de mise sur le marché (Lievens *et al.*, 2015).

AquaBounty met en avant la durabilité de son saumon. Sur son site web, elle dépeint un « saumon local » car produit aux États-Unis, « sans antibiotiques et autres contaminants » puisqu'élevé en milieu fermé et dont l'efficacité alimentaire améliorée de 25 % diminuerait l'impact environnemental. En retournant l'idée, souvent mobilisée dans les argumentaires de défense de l'environnement, qu'un aliment produit dans un milieu qui lui correspond est plus durable parce qu'il demande moins d'apports extérieurs (intrants, énergies), l'entreprise présente son saumon comme plus sain et plus durable justement parce qu'il est élevé hors de son milieu naturel. La biotechnologie devient une solution pour résoudre les problèmes rencontrés par l'aquaculture.

Malgré ces arguments, il a fallu 20 ans à l'entreprise pour obtenir une autorisation de mise sur le marché aux États-Unis, puis au Canada. Accordée en 2015 par la FDA, cette autorisation a été suspendue de 2016 à 2019 faute de normes d'étiquetage définies. Malgré son autorisation, de nombreux distributeurs ont d'ores et déjà affirmé qu'ils ne vendraient pas ce saumon dans leurs

6 AquaBounty, s.d. *Our Salmon*, AquaBounty.com, [en ligne], consulté le 8 février 2021, <http://AquaBounty.com/our-salmon>

magasins⁷. Il reste cependant difficile de savoir comment est perçu cet AGM par le grand public, en l'absence d'étiquetage clair⁸.

L'étude de la controverse autour de ce saumon a montré que les registres argumentatifs mobilisés par les différentes parties prenantes sont principalement le registre environnemental (surpêche d'un côté, risque de pollution génétique de l'autre), le registre économique (intérêts des aquaculteurs menacés par l'arrivée d'un nouveau concurrent sur le marché), puis le registre sanitaire (autour des publics vulnérables et des risques de développement d'allergies alimentaires). Barrey (2014) soulève la quasi absence de mobilisation du registre du bien-être animal. Il se peut qu'aujourd'hui cet argument ait plus d'impact.

Cette étude de cas nous invite à nous demander si l'introduction d'un AGM en France verrait le débat se construire autour des mêmes arguments, si l'on prend en compte que les « répertoires culturels d'évaluation » varient d'un pays à l'autre (Lamont et Thévenot, 2000). Que ce premier AGM soit un poisson donne aussi une orientation spécifique au débat, du fait de son statut « intermédiaire » entre animal et végétal (Bérard, 1998), le grand public se sentant souvent plus concernés par le bien-être des mammifères que celui des poissons. De plus, il fait face à des problématiques plus proches de celles rencontrées par les végétaux, comme les risques d'échappement en milieu naturel et de contamination d'espèces sauvages. Pour toutes ces raisons, le cas de ce saumon transgénique ne présage pas nécessairement la mobilisation de registres argumentaires similaires pour de futurs AGM, en particulier pour des animaux terrestres.

7 Friend of the Earth, 2021. *Company Commitments on GMO Salmon*, foe.org, 12 janvier 2021, [en ligne], consulté le 8 février 2021, <https://foe.org/company-commitments-on-gmo-salmon/>

8 Des suites de l'adoption du « *National Bioengineered Food Disclosure Standard* » et d'ici à 2022, les produits issus d'OGM devront être étiquetés « *bioengineered* » ou bien se voir apposer un QR-code renvoyant vers plus d'informations.

3. Les animaux génétiquement modifiés en France, un sujet de faible portée dans l'espace public

À ce jour, l'AGM en France reste avant tout un objet scientifique : les AGM qui se donnent à voir au grand public sont des animaux d'expérimentation, les acteurs s'exprimant sur le sujet sont des acteurs de la recherche ou du secteur de la sélection génétique. C'est donc d'abord comme indicateur des relations entre sciences et société que l'AGM doit être appréhendé.

■ 3.1. Un sujet confiné aux institutions scientifiques...

Les prises de position publiques sur les NTG restent limitées en France et sont avant tout l'apanage des instituts de recherche et de leurs comités d'éthique. Concernant les professionnels français de la sélection génétique, nous n'avons recensé qu'une position publique.

Une tentative de concertation multiacteur sur le sujet a vu le jour en 2016, au sein du Haut Conseil en Biotechnologie (HCB). Ce dernier, qui est pourtant l'instance de référence lorsqu'il est question d'OGM puisque sa mission est « *d'éclairer de manière indépendante le Gouvernement sur [...] les OGM ou toute autre biotechnologie* »⁹, n'a jamais émis d'avis ni de recommandation traitant des AGM, en partie faute de consensus au sein même de l'organisme et suite à une série de démissions (Huet, 2016).

Les autres instances multiacteurs qui ont réussi à prendre position sur le sujet prônent plutôt la prudence dans l'utilisation des NTG en élevage. L'Académie d'Agriculture de France, par exemple, rend début 2020 un avis (Vialle et Hervieu, 2020) qui recommande d'impliquer le grand public dans la prise de décision et de poursuivre les recherches

9 Site du HCB, consulté en janvier 2021. <http://www.hautconseildesbiotechnologies.fr/fr>

sur l'évaluation des risques¹⁰. Parmi tous les types de modifications rendus possibles par les NTG, l'Académie souligne que les réécritures du génome doivent « *[préserver] l'identité de l'espèce* », ce qui signifie que les modifications effectuées doivent avoir été observées chez des espèces ayant un ancêtre commun. Par exemple, une modification induite chez le porc pourra être issue d'allèles ou gènes étudiés chez une espèce proche comme le phacochère.

Le comité d'éthique Inra-Cirad-Ifremer (2019) s'est lui aussi prononcé sur le sujet en décembre 2019¹¹. Il conseille d'avancer « *avec précaution, dans un esprit de prudence* ». Ses recommandations invitent à s'interroger sur les applications potentielles de ces techniques dans le cadre de la recherche finalisée, à prendre en compte le bien-être animal et à mener un travail d'information auprès de la société. Pour ce comité d'éthique, la productivité ne peut pas être l'unique moteur d'une modification du génome des animaux. Il appelle donc à respecter une certaine déontologie dans le développement des techniques.

L'Académie vétérinaire de France semble, pour le moment, la seule instance qui fait part de son enthousiasme quant à l'usage des NTG chez les animaux d'élevage. En effet, dans un avis de juin 2019 (AVF, 2019), elle se montre favorable à leur utilisation pour développer des caractères de résistance aux maladies chez les animaux, améliorer la prophylaxie ou limiter le recours aux antibiotiques.

■ 3.2. ...et à de rares professionnels français de la génétique

L'unique position officielle d'un acteur de la sélection génétique hors recherche académique est une

10 Un point de vue minoritaire d'Académiciens se positionne différemment et se montre plus favorable à l'utilisation des NTG, comme l'indique son titre : « Les biotechnologies, outils nécessaires et incontournables de notre futur » (Académie d'Agriculture de France, 2020b).

11 Lien internet : <https://www.inrae.fr/actualites/modification-genetique-animaux-lepreuve-ledition-du-genome>

communication du regroupement d'entreprises françaises de sélection et de reproduction animales ALLICE.

L'organisation de la filière bovine se prête à l'introduction de ces nouveaux outils, les biotechnologies de la reproduction étant utilisées en routine et les dispositifs en place offrant la possibilité d'un suivi des « animaux à génome édité ». ALLICE marque son intérêt pour les NTG dans le cadre de la recherche fondamentale, pour « optimiser les schémas de sélection » ou pour introduire de nouveaux allèles (comme des allèles de résistance aux maladies). Le communiqué invite cependant à la prudence du fait de l'insuffisance des connaissances actuelles sur le fonctionnement du génome et les risques potentiels associés à ces nouvelles mutations. ALLICE indique « [s'investir] avec INRAE dans le développement de la technologie chez les bovins à des fins de recherche et d'évaluation des risques ».

En outre, ALLICE se positionne en faveur d'une approche réglementaire combinant approche par produit (où c'est le type de produit obtenu et son caractère nouveau qui déclenche un encadrement juridique spécifique) et approche par technique (où l'encadrement juridique est déclenché en fonction de la technique utilisée pour obtenir une modification, dans ce cas précis ALLICE considère que les techniques de transgénèse doivent conduire à un encadrement juridique comme OGM). Elle exprime ses craintes quant à la capacité à contrôler et détecter les animaux et produits issus d'AGM, et donc à faire appliquer le cadre juridique actuel.

Enfin, le communiqué conclut que : « Dans le contexte actuel de la controverse sociétale sur l'élevage et compte tenu du risque d'image pour les filières, les entreprises de sélection françaises fédérées au sein d'ALLICE ont décidé de ne pas utiliser ces technologies pour produire en France des animaux « à génome édité » » (Schibler, 2020). Bien que n'ayant pas encore atteint le grand public, la controverse autour des NTG appliquées aux animaux agit déjà sur les pratiques des sélectionneurs, qui anticipent les réactions que ces techniques pourraient susciter.

■ 3.3. La manipulation du vivant animal, un révélateur des relations entre sciences et sociétés

a. L'AGM, un objet de défiance

L'AGM s'inscrit dans l'univers social avant tout comme un objet scientifique, issu d'un laboratoire. À travers lui, c'est la complexité des relations sciences/société qui se donne à voir.

Les uniques AGM ayant fait l'objet d'une médiatisation en France étaient en effet des animaux d'expérimentation médiatisés à la suite d'incidents. En juin 2015, *le Parisien*¹² révèle que Rubis, agnelle porteuse d'un gène de fluorescence, est passée, suite à une erreur humaine, dans le circuit alimentaire pour finir sur la table d'un particulier d'Île-de-France¹³. Cet incident prend une configuration classique autour de la gestion du risque. Une dizaine d'années auparavant, c'est une lapine transgénique fluorescente issue d'un laboratoire de l'INRA qui a fait la une des journaux, après être devenue le centre du projet « *Tales Of a Rabbit Gone Viral* », de l'artiste Edouard Kac en 2000¹⁴. Cette lapine, produite à des fins de recherche, n'a pas manqué d'être perçue comme le produit d'une science folle.

S'il paraît réducteur d'analyser la position des individus vis-à-vis des OGM uniquement par le biais des mythes collectifs, il n'en reste pas moins qu'il s'agit d'une approche fréquente concernant les produits modifiés génétiquement et qui renvoie plus largement à la relation qu'entretiennent sciences et société. Wagner et Kronberger (2002) ont montré que des mythes collectifs influencent le rapport des individus aux biotechnologies. Le mythe de « l'apprenti sorcier » fait partie de cet imagi-

naire et renvoie à l'idée d'un humain, mais surtout d'une science, générant ses propres problèmes (Beck, 2001).

En effet, ces deux exemples renvoient plus généralement à une question de confiance envers le secteur de la recherche et l'encadrement par les autorités de la sécurité sanitaire des aliments¹⁵. Dans le cas spécifique de l'alimentation, la gestion scientifique et technique ne semble plus rassurer le mangeur. Les crises sanitaires (crise du sang contaminé, crise de la « vache folle », crise des lasagnes au cheval...) de ces dernières décennies sont venues détériorer les relations entre industries agroalimentaires, milieu scientifique et société civile. Or, la confiance envers les développeurs d'une technique est un paramètre influençant la perception du risque qu'ont les individus (Chevassus-au-Louis, 2002), d'autant plus dans un contexte d'éloignement du mangeur des lieux et moyens de production alimentaire (Poulain, 2013).

b. L'innovation scientifique à l'épreuve de la société

Quand bien même les produits issus de NTG arrivaient sur le marché, il n'est pas certain qu'ils soient adoptés par les filières ou les consommateurs.

En effet, les innovations scientifiques et techniques se heurtent parfois à un rejet de la part des usagers ciblés (Weary et al., 2016). Cela peut s'expliquer parfois par une mauvaise compréhension par les scientifiques des attentes des autres parties prenantes, professionnels comme représentants de la société civile. Weary et al. (2016) ont étudié les freins à l'adoption de solutions développées par les scientifiques

15 La controverse autour des OGM débute dans les années 1990 et se construit en lien avec la crise de l'Encéphalopathie Spongiforme Bovine (ESB). Les deux controverses s'insèrent dans une controverse plus large autour du modèle agricole. La crise de l'ESB qui débute en 1996, marque un moment de rupture de confiance entre sciences et société. Il s'agit de la première controverse sociotechnique qui touche à l'alimentation et aux méthodes d'élevage, venant mettre en cause la relation entre l'agriculture et la société. Cette crise a souvent été présentée par le prisme de la folie, avec la figure de l'apprenti sorcier qui transgresse les lois de la nature en rendant les vaches cannibales (Lévi-Strauss, 2001).

12 *Le Parisien*. 2015. VIDEO. La folle affaire du mouton-méduse qui a fini dans une assiette. leparisien.fr, 23 juin 2015, [en ligne], consulté le 8 février 2021, www.leparisien.fr/faits-divers/la-folle-histoire-du-mouton-ogm-23-06-2015-4885599.php

13 D'un point de vue sanitaire, l'agnelle était considérée sans risque, puisqu'elle portait le gène mais n'exprimait pas la protéine fluorescente verte.

14 Kac E., s.d. *Rabbit Remix*, ekac.org, consulté le 10 janvier 2021, <https://www.ekac.org/gfpbunny.html>

pour faire évoluer les pratiques d'élevage comme l'écornage en Amérique du Nord : des solutions de prise en charge de la douleur ont été développées, pourtant certains éleveurs ne les ont pas adoptées. Ils ont pu constater que la crainte d'un surcoût et d'un surcroît de travail sont une partie des freins au changement. Les auteurs ont aussi remarqué qu'une partie des éleveurs croyant que l'écornage ne provoque qu'une douleur passagère et limitée aux veaux, ils ne voient pas d'intérêt à prendre en charge la douleur.

La sociologie de l'innovation s'est elle aussi intéressée à l'adoption ou non d'une innovation par une société. Akrich *et al.* (1988) ont montré que le modèle de la diffusion, qui veut qu'une innovation sera reconnue pour ses qualités propres une fois qu'elle sera développée, est rarement valable. Les auteurs conceptualisent un modèle « tourbillonnaire », où l'objet innovant avance et se construit en même temps que la société qui va l'accueillir : « l'environnement se façonne en même que l'innovation qu'il juge ». Ainsi, il n'est pas certain que les projets d'applications des NTG répondent aux attentes de tous les acteurs.

4. Des animaux modifiés pour un élevage mieux accepté ?

Cette dernière partie revient sur les promesses entourant les NTG et, en s'appuyant sur les quelques prises de position visibles au sein de la société civile, questionne leur capacité à recevoir l'adhésion des acteurs de la société civile.

■ 4.1 Des biotechnologies au service de la durabilité et du bien-être animal

Les OGM de première génération sont souvent associés avec un modèle agricole intensif et industriel, notamment du fait des applications développées (variétés de plantes transgéniques rendues résistantes à des herbicides) et de leur insertion dans un modèle monopolistique et de privatisation du vivant.

Certains acteurs cherchent aujourd'hui à recadrer le débat en présentant les NTG comme des outils génétiques au service de systèmes plus durables. Ainsi, en juin 2020, quelques députés du parti Vert allemand s'étaient prononcés en faveur de l'utilisation des NTG en agriculture. Pour relever les défis rencontrés par l'agriculture face à l'urgence de la situation environnementale, ils estiment qu'aucune technologie ne doit être écartée d'emblée. Surtout, ils regrettent que le reste des membres du parti Vert jugent la technologie sur son principe et non sur ses applications¹⁶. Ils appellent ainsi à une révision de la législation européenne, la directive 2001/18/CE ne correspondant pas, à leurs yeux, aux connaissances actuelles et encourageant une situation de monopole par des grandes entreprises. Cette prise de position s'inscrit à contrecourant des positions du parti Vert et de la plupart des partis écologistes européens.

Appliquées aux animaux, les NTG peuvent aussi être présentées comme un moyen de résoudre certains problèmes rencontrés par l'élevage. La question des AGM s'inscrit en effet dans le contexte de questionnements de plus en plus prégnants autour de l'élevage (Delanoue *et al.*, 2018 ; Legendre *et al.*, 2018). Il est critiqué sur de nombreux plans : son impact sur la santé, sur l'environnement et pour ses conditions d'élevage des animaux (Delanoue *et al.*, 2018). Ces trois dimensions donnent lieu à des incertitudes sur les « bonnes » manières de faire de l'élevage et, plus globalement, sur la place de l'élevage au sein de la société. Des projets proposent par exemple de mettre fin à la pratique controversée du broyage des poussins mâles en élevage de poules pondeuses en introduisant un gène empêchant le développement des mâles *in ovo* (Lee *et al.*, 2019) ou de mettre fin à l'écornage des vaches en supprimant leurs cornes grâce aux NTG. Ces vaches sans cornes, déjà évoquées

précédemment, promettent ainsi de gagner du temps sur l'introgession de l'allèle sans cornes par sélection génétique et de mettre fin à l'écornage, pratique controversée en termes de bien-être animal et qui demande une charge de travail supplémentaire et occasionne donc un surcoût pour l'éleveur. L'argument de l'accélération du progrès génétique fait encore débat, puisqu'il est très variable selon l'espèce considérée, le déterminisme génétique des caractères (mono- ou polygénique) ou l'organisation de la filière concernée (Mueller et Van Eenennaam, 2022).

■ 4.2 Des promesses qui peinent encore à convaincre

Malgré les promesses évoquées ci-dessus, les quelques prises de position des acteurs de la société civile laissent penser que le débat autour des NTG portera peut-être davantage, de manière générale, sur le choix des modèles d'élevage à développer.

Les autres acteurs travaillant sur les questions agricoles s'expriment principalement sur les végétaux. Nous présentons ici les rares mentions par des acteurs de la société civile des NTG appliquées aux animaux d'élevage que nous avons identifiés.

Le Comité Consultatif National d'Éthique (CCNE), qui regroupe différents acteurs représentant la société civile, a rendu un avis sur la modification ciblée du génome en septembre 2019 qui laisse présager de possibles points de désaccord entre promoteurs et opposants aux NTG. Il s'oppose à : « la suppression, par modification génétique ciblée, des cornes des bovins dans le but d'accroître la densification des lieux de parcage en limitant les risques de blessure entre animaux, ou la mutation du gène codant la myostatine, afin d'augmenter leur masse musculaire dans un but de rentabilité commerciale, tout en négligeant la question du bien-être des animaux d'élevage » (CCNE, 2019). De la même manière, le site de veille Inf'OGM (infogm.org) sur le sujet des OGM a publié quelques articles traitant des NTG appliquées aux animaux. Un article sur les vaches sans cornes obtenues par modification ciblée du

16 Die Grünen (2020), « Neue Zeiten, neue Antworten: Gentechnikrecht zeitgemäß regulieren ». *BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN*, 10 juin 2020, [en ligne], consulté le 30 janvier 2021, <https://www.gruene.de/artikel/neue-zeiten-neue-antworten-gentechnikrecht-zeitgemaess-regulieren>

génomique¹⁷ interroge sur le bien-fondé de modifier les animaux lorsqu'on peut changer le système d'élevage. Certains auteurs s'inquiètent d'ailleurs d'une potentielle utilisation palliative des NTG, qui empêcherait l'évolution des systèmes d'élevage vers des systèmes plus durables (Ducos, 2020).¹⁸

En outre, bien que les NTG soient présentées comme un outil d'amélioration du bien-être animal, les associations welfaristes ne se sont pas (encore) emparées du sujet. On trouve une seule occurrence du sujet, sur le site de l'association *Compassion in World Farming*, datant de 2013¹⁹. L'association y exprime de fortes craintes quant à l'impact des modifications génétiques sur le bien-être animal : « *Il y aura peut-être des circonstances exceptionnelles dans lesquels le recours au génie génétique pourra permettre des avancées en termes de bien-être animal. [...] D'ici là, ce qui est sûr, c'est qu'il faut être sceptique devant toute tentative de présenter le génie génétique comme une méthode bénigne pour améliorer le bien-être animal.* » Ainsi, même si les représentants de la société civile sont peu mobilisés sur le sujet des NTG, les quelques avis exprimés montre que c'est donc plus globalement le système d'élevage qui est remis en cause que des pratiques particulières. Ici, le processus d'intéressement (c'est-à-dire « *l'ensemble des actions destinées à produire de l'intérêt et à susciter l'adhésion d'acteurs influents* ») par le biais du bien-être animal ne semble pas fonctionner (Barthe *et al.*, 2014).

L'exemple des vaches sans cornes est fréquemment évoqué lorsqu'il est question de l'amélioration des conditions d'élevage *via* les NTG. L'avancée

de la recherche et le développement de nouveaux projets s'intéressant à des caractères plus difficiles à modifier pourraient néanmoins contribuer à faire évoluer les positions exprimées ci-dessus. Ainsi, les travaux sur la résistance aux maladies sont nombreux et, pour certains, répondent à des enjeux pour lesquels il existe à ce jour peu ou pas d'alternatives.

Conclusion

Les registres argumentaires mobilisés autour des NTG sont nombreux : ceux classiquement utilisés sur les OGM ainsi que ceux employés dans la controverse autour de l'élevage. Dans un contexte de suspicion autour de la science, il n'est pas certain que présenter les NTG comme une solution aux problèmes rencontrés par l'élevage suffise à empêcher la controverse. Derrière les critiques adressées à l'élevage se trouvent des questions plus vastes, qui viennent interroger notre rapport au vivant, à la science ou encore à l'alimentation. Le recours aux biotechnologies est susceptible de soulever plus de questions que d'apporter de réponses.

En participant à la recherche sur les NTG, les sciences sociales peuvent conduire à une meilleure compréhension entre les différents acteurs amenés à s'engager dans le débat. De tels travaux peuvent permettre de dépasser la situation conflictuelle atteinte lors du débat autour des OGM (Chateauraynaud *et al.*, 2010). Certains auteurs invitent à s'appuyer sur les outils « d'innovation responsable » pour des prises de décision plus démocratiques (Macnaghten et Habets, 2020).

Le contexte international évolue toutefois rapidement. En décembre 2020, un porc modifié pour ne pas produire la molécule de sucre alphagal, pouvant susciter des réactions allergiques, a été approuvé par la FDA pour une mise sur les marchés alimentaire et thérapeutique. L'inscription de ce nouvel AGM 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, une daurade génétiquement modifiée pour avoir une croissance plus rapide a fait l'objet de ventes tests au Japon. Dernièrement, en mars 2022, la FDA aux États-Unis a accordé une autorisation de mise sur le marché alimentaire à une vache de l'entreprise Recombinetics, dont le pelage a été pour lui conférer une meilleure tolérance à la chaleur. L'arrivée sur le marché de plusieurs AGM par modification ciblée du génome pourrait amener à une publicisation du débat.

Remerciements

Le travail de Raphaëlle Duclos a été encadré par les co-auteurs de l'article. Il a également été suivi par un groupe de travail du GIS Avenir Élevages constitué, outre les co-auteurs de l'article, de Jean-Marc Beche (CNE), Joël Bidanel (IFIP), Isabelle Bouvarel (ITAVI), Corinne Cotinot (INRAE), Stéphane Devillers (Allice), Alain Ducos (ENVT), Daniel Guéméné (SYSAF), Stéphane Patin (Races de France), Laurent Schibler (ALLICE). Nous tenons à les remercier pour leur apport à ce travail.

Références

Akrich M., Callon M., Latour B., 1988. A quoi tient le succès des innovations ? 1 : L'art de l'intéressement ; 2 : Le choix des porte-parole. *Annales des mines. Gérer et comprendre*, 4-17, 14-29.

AVF, 2019. Avis relatif à la production de modifications ciblées dans le génome des animaux domestiques. Académie Vétérinaire de France. https://academie-veterinaire-defrance.org/fileadmin/user_upload/

[Publication/PrisesPosition/AVF_2019-06-21_AnimalGenetiquementModifie_Avis_V6.5-finale.pdf](https://www.infogm.org/6522-crispr-cas9-vaches-sans-corne-et-que-des-males)

Barrey S., 2014. Le « Frankenfish » nage-t-il vers le marché ? La fabrique contestée du marché des sau-

17 Noisette, C. (2018, 11 avril). Sans corne et que des mâles. *Inf'OGM*. <https://www.infogm.org/6522-crispr-cas9-vaches-sans-corne-et-que-des-males> [consulté le 10 juin 2021].

18 Un groupe de travail du GIS Avenir-Elevages a mené une série d'entretiens sur le sujet. Un prochain article interrogera plus longuement cette question de la fuite en avant technologique évoqué par certains acteurs lors des entretiens.

19 CIWF France, 2015. « Biotechnologie, modification génétique ». *CIWF.fr*, 27 août 2015, [En ligne], consulté le 8 septembre 2020, URL : www.ciwf.fr/blog/2013/05/modification-genetiques-progres-ou-menace

- mons transgéniques. In : Marchés contestés. Steiner P., Trespeuch M., (Eds). Presses universitaires du Midi, Toulouse, France. 63-90. <http://books.openedition.org/pumi/8109>
- Barthe Y., Callon M., Lascombes P., 2014. Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique. Média Diffusion, 437p. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01520224v1>.
- Beck U., 2001 La société du risque. Sur la voie d'une autre modernité (traduit de l'Allemande par L. Bernardi). Éditions Aubier, 521p
- Bérard L., 1998. Le poisson : une denrée périssable. 147-148, 129-138. <https://doi.org/10.3406/rural.1998.3624>.
- Bernard De Raymond A., 2010. Chapitre 10 / les mobilisations autour des OGM en France, une histoire politique (1987-2008). In : Les mondes agricoles en politique. Hervieu B. (Ed). Presses de Sciences Po, Paris, France, 293-336. <https://www.cairn.info/les-mondes-agricoles-en-politique--9782724611649-page-293.htm>
- Burgio G., Teboul L., 2020. Anticipating and Identifying Collateral Damage in Genome Editing. Trends in Genetics. 36, 905-914. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2020.09.011>
- Callon M., 2013. Pour une sociologie des controverses technologiques. In : Sociologie de la traduction : Textes fondateurs, Akrich M., Callon M., Latour M. (Eds). Presses des Mines, Paris, France, 135-157. <https://doi.org/10.4000/books.pressesmines.1196>
- CCNE, 2019. Enjeux éthiques des modifications ciblées du génome : entre espoir et vigilance.
- 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, 2011/2, 16, 131-150. <https://doi.org/10.3917/aco.112.0131>
- Chateauraynaud F., De Raymond A.B., Hermitte M.A., Tétard G., 2010. Les OGM entre régulation économique et critique radicale. Rapport final du programme ANR « formes de mobilisation et épreuves juridiques autour des OGM en France et Europe (OBSOGM) », Paris, France.
- Chevassus-au-Louis B., 2002. L'analyse du risque alimentaire. Vers de nouvelles pratiques. n° 5. ATALA n° 5, « Au bonheur du risque ? », 153-178.
- De Graeff N., Jongsma K.R., Johnston J., Hartley S., Bredenoord A.L., 2019. The ethics of genome editing in non-human animals: a systematic review of reasons reported in the academic literature. Philos. Trans. Royal Soc. B: Biol. Sci., 374, 20180106. <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0106>
- Delanoue E., Dockes A.C., Chouteau A., Roguet C., Philibert A., 2018. Regards croisés entre éleveurs et citoyens français : vision des citoyens sur l'élevage et point de vue des éleveurs sur leur perception par la société. INRAE Prod. Anim., 31, 51-68. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2018.31.1.2203>.
- Ducos A., 2020. Les nouvelles techniques d'amélioration génétique : l'« édition » des génomes., pp. 205-224. In : Génétique des animaux d'élevage. Verrier E., Milan D., Rogel-Gaillard C. (Eds). Éditions Quae, Versailles, France, 288p.
- Ducos A., Bed 'Hom B., Acloque H., Pain B., 2017. Modifications ciblées des génomes : apports et impacts pour les espèces d'élevage. Inra Prod. Anim., 30, 3-17. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2017.30.1.2226>.
- European-Commission E., 2021. Study on the status of new genomic techniques under Union law and in light of the Court of Justice ruling in Case C-528/16. European Commission. Ilaria Ciabatti Biotechnology Unit DG Health and Food Safety European Commission (Ed).
- Golovan S.P., Meidinger R.G., Ajakaiye A., Cottrill M., Wiederkehr M.Z., Barney D.J., Plante C., Pollard J.W., Fan M.Z., Anthony M., Hayes M.A., Laursen J., Peter Hjorth J., Hacker R.R., Phillips J.P., Forsberg C.W., 2001. Pigs expressing salivary phytase produce low-phosphorus manure. 19, 741-745. <https://doi.org/10.1038/90788>
- Hermitte M.A., Noille C., 1993. La dissémination volontaire d'organismes génétiquement modifiés dans l'environnement. Une première application du principe de prudence. 391-417. <https://doi.org/10.3406/rjenv.1993.2984>
- Huet S., 2016. Péril sur le Haut conseil des biotechnologies ? Le Monde, {Sciences2}, www.lemonde.fr/blog/huet/2016/05/20/peril-sur-le-haut-conseil-des-biotechnologies.
- 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, 816-821. <https://doi.org/10.1126/science.1225829>
- Lamont M., Thévenot L., 2000. toward a renewed comparative cultural sociology, pp. 367 p. in Rethinking comparative cultural sociology. Répertoires of Evaluation in France and the United States, edited by Lamont M., Thévenot L. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511628108>
- Lee H.J., Yoon J.W., Jung K.M., Kim Y.M., Park J.S., Lee K.Y., Park K.J., Hwang Y.S., Park Y. H. Deivendran R., Han J.Y., 2019. Targeted gene insertion into Z chromosome of chicken primordial germ cells for avian sexing model development. FASEB J., 33, 8519-8529. <https://doi.org/10.1096/fj.201802671R>
- Legendre V., Sans P., Barrey S., Boutin B., 2018. Controverses sur la consommation de viande : enseignements d'une analyse sociologique. INRA Prod. Anim., 30, 479-786. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2017.30.5.2278>.
- Lemieux C., 2007. À quoi sert l'analyse des controverses ? Mil neuf cent. Revue d'histoire intellectuelle, 25, 191-212. <https://doi.org/10.3917/mnc.025.0191>
- Lévi-Strauss C., 2001. La leçon de sagesse des vaches folles. 157-158, 9-14. <https://doi.org/10.4000/etudesrurales.27>.
- Lievens A., Petrillo M., Querci M., Patak A., 2015. Genetically modified animals: Options and issues for traceability and enforcement. 44, 159-176. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.05.001>.
- Macnaghten P., Habets M.G.J.L., 2020. Breaking the impasse: Towards a forward-looking governance framework for gene editing with plants. 2, 353-365. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10107>.
- Maximiano M.R., Távora F.T.P.K., Prado G.S., Dias S.C., Mehta A., Franco O.L., 2021. CRISPR Genome Editing Technology: A Powerful Tool Applied to Developing Agribusiness. J. Agric. Food Chem., 69, 23, 6379-6395. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c01062>
- Mueller M.L., Van Eenennaam A.L., 2022. Synergistic power of genomic selection, assisted reproductive technologies, and gene editing to drive genetic improvement of cattle. CABI Agric. Biosci., 3, 13. <https://doi.org/10.1186/s43170-022-00080-z>
- Norris A.L., Lee S.S., Greenlees K.J., Tadesse D.A., Miller M.F., Lombardi H.A., 2020. Template plasmid integration in germline genome-edited cattle. Nat. Biotechnol., 38, 163-164. <https://doi.org/10.1038/s41587-019-0394-6>
- Okoli A.S., Blix T., Myhr A.I., Xu W., Xu X., 2022. Sustainable use of CRISPR/Cas in fish aquaculture: the biosafety perspective. Transgenic Res., 31, 1-21. <https://doi.org/10.1007/s11248-021-00274-7>
- Poulain J.P., 2013 Sociologies de l'alimentation. Presses Universitaires de France, Paris cedex 14, 288. <https://doi.org/10.3917/puf.poul.2013.01>
- Schibler L., 2020. L'édition génomique des bovins : une opportunité, mais pas à n'importe quel prix. Bull. Acad. Vét. France 173. <https://doi.org/10.3406/bavf.2020.70901>.
- Seurat C., Tari T., 2021 Controverses mode d'emploi. Les Presses de Sciences Po, 3230 p. <https://journals.openedition.org/lectures/46626>.
- Simard F., 2018. La lutte contre les vecteurs : quel avenir ? Biol. Aujourd'hui, 212, 137-145. <https://doi.org/10.1051/jbio/2019006>.
- Vialle P., Hervieu B., 2020. Avis de l'Académie d'Agriculture de France : Réécriture du génome, éthique et confiance ». 21p. Académie d'Agriculture de France, Paris.
- Wagner W., Kronberger N., 2002 Mémoires Des Mythes Vécus – Représentations de La Technologie Génétique, pp. 83-93 in La mémoire sociale. Identités et représentations sociales, edited by Laurens S., Roussiau N. Presses universitaires de Rennes, Paris, France. <https://docplayer.fr/48258851-La-memoire-sociale-identites-et-representations-sociales-stephane-laurens-et-nicolas-roussiau-eds.html>.
- Weary D.M., Ventura B.A., von Keyserlingk M.A.G., 2016. Societal views and animal welfare science: understanding why the modified cage may fail and other stories. 10, 309-317. <https://doi.org/10.1017/S1751731115001160>
- Whelan A.I., Lema M.A., 2015. Regulatory framework for gene editing and other new breeding techniques (NBts) in Argentina. GM Crops & Food, 6, 253-265. <https://doi.org/10.1080/21645698>

Résumé

Les outils de modification du génome sont nombreux et peuvent conduire à des utilisations variées : inactivation, mutation, suppression ou insertion d'un élément d'ADN ou d'un gène dans un organisme. Certaines méthodes induisent une modification aléatoire, tandis que d'autres, qui nous intéressent plus particulièrement, s'effectuent de manière ciblée. Quels que soit les outils choisis, les types de modification réalisés ou la finalité de ces modifications, il s'agit d'un sujet controversé. Cet article s'intéresse aux débats qu'engendre la potentielle application aux animaux d'élevage de ces outils génétiques et cherche à montrer que ce sujet, pour l'instant l'apanage de spécialistes, réunit toutes les conditions pour se transformer en controverse publique. Une première partie revient sur les principales incertitudes que soulève le sujet et s'arrête sur les débats entourant le cadre juridique. Nous explorons ensuite les approches thématiques possibles du sujet, en revenant sur la controverse autour des OGM et le cas du saumon produit par la société AquaBounty aux États-Unis, jusqu'à récemment l'unique Animal Génétiquement Modifié (AGM) autorisé sur le marché alimentaire. Une troisième partie présente les acteurs qui s'expriment sur le sujet et les rares évocations des AGM en France confirment que le sujet reste confiné au milieu scientifique et professionnel, l'AGM devenant alors un révélateur de dynamiques relationnelles qu'entretiennent sciences et société. Enfin, nous montrons que, bien que les acteurs de la société civile ne se sont pas encore emparés du sujet, les rares prises de position observées laissent penser que l'intéressement par le prisme du bien-être animal ne fonctionne pas.

Abstract

Targeted genome modification applied to animals: in between controversies

The tools for genome modification are numerous and lead to a variety of uses: inactivation, mutation, deletion or insertion of a DNA element or a gene in an organism. Some methods induce a random modification, while others, which are of interest to us, are carried out in a targeted manner. Regardless of the tools chosen, the types of modification executed or the purpose of these modifications, the subject is a controversial one. This article looks at the debates that arise from the potential application of these genetic tools to farm animals and seeks to show that this subject, currently the preserve of specialists, has all the criteria to become a public controversy. The paper first reviews the main uncertainties raised by the subject and examines the debates around the legal framework. It then explores the possible ways in which the subject could be thematized, recollecting the GMO controversy and the case of the salmon produced by AquaBounty in the US, until recently the only Genetically Modified Animal (GMA) authorized on the food market. A third part offers a quick overview of the actors who express themselves on the subject and the rare evocations of GMA in France. These confirm that the subject remains confined to the scientific and professional environment, where the GMA becomes a revealer of the relational dynamics between science and society. Although civil society actors have not yet taken up the subject, the few positions observed in the last part suggest that interest through the prism of animal welfare does not work.

DUCLOS R., DELANOUE E., DOCKÈS A.C., JOURNAUX L., SOURDIOUX M., BIDANEL J.P., 2022. Les modifications ciblées du génome appliquées aux animaux d'élevage : à la croisée des controverses. INRAE Prod. Anim., 35, pages 61-72.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2022.35.1.5524>



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.fr>

La citation comme l'utilisation de tout ou partie du contenu de cet article doit obligatoirement mentionner les auteurs, l'année de publication, le titre, le nom de la revue, le volume, les pages et le DOI en respectant les informations figurant ci-dessus.