



HAL
open science

La réduction d'usage des antibiotiques dans les systèmes de production bovins lait et viande : adaptations à l'échelle de l'élevage et dans la filière pour conserver la maîtrise du risque. Analyse de quelques exemples

Florence Beaugrand, Nathalie Bareille, Sébastien Assie

► To cite this version:

Florence Beaugrand, Nathalie Bareille, Sébastien Assie. La réduction d'usage des antibiotiques dans les systèmes de production bovins lait et viande : adaptations à l'échelle de l'élevage et dans la filière pour conserver la maîtrise du risque. Analyse de quelques exemples. Innovations Agronomiques, 2019, 77, pp.45-60. 10.15454/accb-pa61 . hal-02623333

HAL Id: hal-02623333

<https://hal.inrae.fr/hal-02623333>

Submitted on 31 Jan 2023

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 - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

La réduction d'usage des antibiotiques dans les systèmes de production bovins lait et viande : adaptations à l'échelle de l'élevage et dans la filière pour conserver la maîtrise du risque. Analyse de quelques exemples.

Bonnet-Beaugrand F.¹, Bareille N.¹, Assié S.¹

¹ BIOEPAR, INRA, Oniris, F-44307 Nantes

Correspondance : florence.beaugrand@oniris-nantes.fr

Résumé

La réduction d'usage des antibiotiques en élevage est une préoccupation sociétale récente, qui met en regard des risques à différentes échelles : un risque d'antibiorésistance pour la santé publique ; un risque de production pour l'éleveur ; un risque de réputation pour la filière. Les compromis sont d'autant plus complexes que les pratiques d'usage sont variées, ancrées, et que leur efficacité technico-économique est avérée. La réduction d'usage d'antibiotiques se révèle être une innovation de retrait associée à une forte incertitude. Dans cette communication, les auteurs se focalisent sur les maladies multifactorielles endémiques de production, pour lesquelles la réduction d'usage des antibiotiques à titre préventif est particulièrement ciblée. Ils mobilisent des exemples issus de l'élevage bovin laitier et allaitant. Ils s'intéressent à la façon dont les acteurs créent et partagent de l'information autour des nouvelles pratiques de traitement sélectif qu'ils adoptent ou préconisent, pour générer de nouvelles connaissances situées, pour analyser et gérer les risques, pour se coordonner, pour innover. Ils montrent que les logiques d'acteurs en sont profondément transformées, même quand les nouvelles pratiques restent dans le cadre de l'amélioration de l'efficacité du système de production existant.

Mots-clés : Innovation, Connaissances, Risque, Antibiotiques, Elevage

Abstract: Reducing the use of antibiotics in livestock production: adaptations to manage risk at different scales

Reducing the use of antibiotics in livestock production is a recent societal concern, which entails risks at different scales: a risk of antibioresistance for public health; a production risk for the farmer; a reputation risk for the industry. The trade-offs are all the more complex since the practices of use are varied, rooted, and their technical and economic effectiveness proven. Reducing antibiotic use is proving to be a withdrawal innovation associated with a high uncertainty. In this paper, the authors focus on multifactorial production diseases, for which the reduction of antibiotic use on a preventive basis is particularly targeted. They mobilize examples from dairy and beef cattle. They are interested in the way actors create and share information around the new selective treatment practices they adopt or advise, to generate new knowledge, to analyse and manage risks, to coordinate, to innovate. They show that the logic of actors is profoundly transformed, even when the new practices are part of the improvement of the efficiency of the existing production system.

Keywords: Innovation, Knowledge, Risk, Antimicrobials, Livestock

1. Introduction

1.1 La réduction des antibiotiques : prévention ou facteur de risque

L'utilisation d'antibiotiques, en élevage comme en médecine humaine, comporte des risques d'antibiorésistance, réduisant de fait l'efficacité des antibiotiques pour les humains et les animaux (Gonggrijp et al., 2016). C'est pourquoi une logique de réduction d'usage des antibiotiques s'est enclenchée au niveau mondial (OECD, 2014). Le plan EcoAntibio, au niveau français, a permis d'allier des mesures contraignantes par le biais de la réglementation (restrictions d'usage des antibiotiques critiques depuis 2016) et des mesures basées sur la participation des filières de production. Les résultats ont été très significatifs, avec une baisse de 37% de l'exposition aux antibiotiques sur la période 2012-2016. Mais même si les filières ont réduit de façon drastique leur utilisation d'antibiotiques, celle-ci reste non négligeable. Les freins à la réduction d'usage des antibiotiques sont nombreux, les enjeux de diffusion des nouvelles pratiques restent forts.

A cet égard, la notion de gestion du risque présente un intérêt particulier. L'usage d'antibiotiques comporte un risque d'antibiorésistance, risque qui est partagé. Le risque d'antibiorésistance se situe au niveau des exploitations en premier lieu ; le recours plus systématique aux antibiogrammes permet d'ailleurs de mieux caractériser les émergences de pathogènes résistants, et de mettre en place des mesures plus efficaces de gestion de la santé animale et de la production (Bourelly et al., 2018). Mais la motivation de réduction des antibiotiques est avant tout sociétale, pour une meilleure maîtrise de la santé publique. Les filières, par leur implication dans des dispositifs de réduction d'usage dont une grande partie est non coercitive, démontrent leur implication responsable dans cet objectif. Elles anticipent aussi un risque réglementaire ou un risque de réputation auprès des consommateurs, dans un contexte où l'élevage est controversé (Delanoué et al., 2018). Le succès commercial des récents produits carnés avec des allégations de réduction d'antibiotiques est le signe de cette sensibilisation du grand public.

1.2 La maîtrise du risque sanitaire : doser les pratiques

Les antibiotiques servent à conjurer un risque sanitaire au niveau de l'exploitation. Il existe différentes mesures de maîtrise de la santé animale incluant des antibiotiques. Ceux-ci sont utilisés à titre curatif lors de la survenue d'événements sanitaires, soit à l'échelle de l'individu, soit à l'échelle du troupeau (métaphylaxie). Ces usages sont utiles, si l'on exclut la question des mésusages. Ils servent à soigner l'animal et respectent donc la logique de préservation du bien-être animal aussi bien que celle du maintien du potentiel productif.

Dans d'autres cas, ils sont utilisés à titre préventif. C'est notamment le cas pour les maladies endémiques non réglementées à composante bactérienne. Contrairement aux maladies épidémiques à forte contagiosité, ces maladies sont présentes sur le territoire mais ont un impact limité à l'échelle de l'exploitation. Elles relèvent des dangers sanitaires de troisième catégorie au sens de l'article L. 201-1 du Code rural et de la pêche maritime, c'est-à-dire que les mesures de maîtrise relèvent de l'initiative privée individuelle ou collective. L'usage préventif d'antibiotiques dans ce cadre a une rationalité économique : il permet de gommer le risque et fonctionne comme une assurance de faible coût pour l'agriculteur et donc aussi pour la filière.

Les éleveurs, pour réduire l'utilisation d'antibiotiques, adoptent trois stratégies classiques de transition, basées sur la substitution, la recherche d'efficacité ou la reconfiguration de leur système de production (Hill et MacRae, 1996). Une partie significative des éleveurs substituent ainsi aux antibiotiques d'autres produits susceptibles de jouer le même rôle. On assiste ainsi à l'émergence d'une médecine intégrative alliant allopathie et médecines complémentaires et alternatives. Nous resterons toutefois dans le cadre de cette communication sur l'utilisation des dispositifs allopathiques, la substitution aux antibiotiques préventifs pouvant par exemple se traduire par le recours à la vaccination. Une autre partie des

éleveurs est prête à modifier leurs pratiques dans le sens d'une utilisation plus raisonnée d'antibiotiques. Une des pistes majeures de réduction d'usage des antibiotiques consiste ainsi à traiter sélectivement les animaux pour ces maladies de production, soit de façon curative après diagnostic avéré de la maladie, soit de façon préventive mais sur la base d'un fort niveau de risque sanitaire avéré. La logique à long terme consiste à s'appuyer et à développer la robustesse des animaux et la résilience des troupeaux en les confortant par des actions médicales ciblées. Une autre piste consiste enfin à reconfigurer complètement le système de production, par exemple en recherchant des modes de production à bas intrants ou au contraire en mobilisant le potentiel de l'agriculture de précision pour augmenter la taille des troupeaux et l'intensivité de l'élevage.

1.3 La mesure des compromis

Cependant, les données actuellement disponibles ne permettent pas d'avoir une vision exhaustive des coûts et bénéfices au niveau de l'exploitation en cas de réduction d'usage des antibiotiques. En effet, la situation économique et sanitaire des élevages a beaucoup évolué depuis la mise en place des antibiotiques, et les données sont à reconstruire en fonction des trajectoires de changement adoptées. L'antibiorésistance fait donc encourir un risque à la société ; mais réciproquement, la réduction d'usage d'antibiotiques pourrait représenter un risque sanitaire et/ou économique pour le secteur de l'élevage. Or, les dispositifs institutionnels de gestion des risques en agriculture ne prennent pas les risques de production liés à la réduction d'usage des antibiotiques en compte (Geslain-Lanéelle et al., 2017), ni au titre des indemnités dans le cadre sanitaire, ni au titre des aléas environnementaux. Les autres leviers économiques ne sont pas non plus mobilisés dans le dispositif français EcoAntibio qui repose en grande partie sur le volontariat, alors que nombreux sont ceux qu'on pourrait mobiliser (Lhermie et al., 2017).

L'évaluation partagée du risque est donc centrale pour une diffusion des pratiques. Elle est un des préalables aux décisions de changement de pratiques, à l'établissement d'un partage équitable du risque dans les filières et dans la société et donc à la mise en place d'incitations à large échelle. Cette communication a donc pour objectif, au travers de quelques exemples, de présenter et de discuter comment les dispositifs individuels et collectifs d'appropriation des nouvelles pratiques s'articulent avec les outils de mesure et de partage du risque. Elle s'intéresse en particulier à deux types de maladies de production : les mammites en élevage bovin laitier et les maladies respiratoires à la mise en lot des brouards en filière allaitante, pour lesquelles les usages d'antibiotiques à titre préventif ont été largement répandus.

Filière	Lait		Viande		
Stratégie Niveau	Efficiences /substitution	Reconfiguration	Reconfiguration	Efficiences	Substitution
Macro : société			<i>Dispositifs réglementaires PAC</i>	<i>Consentement à payer du consommateur</i>	
Meso : filière	1.1. Impact conseil et système de production sur les trajectoires		<i>Scénarios logistiques mise en lot</i>	3.2 Etude des transactions brouards	<i>Valorisation vaccination précoce</i>
Micro : exploitation	1.2. Appropriation traitement sélectif		2.1. Elevage de précision 2.2 Aide à la décision	3.1 Analyse risque mise en lot	

Figure 1 : Positionnement des exemples développés dans une grille croisant les niveaux d'action et les stratégies de changement de pratique (*dont perspectives de recherche en italique*).

Dans un premier temps, nous décrivons comment le conseil et la formation impactent une décision individuelle sur laquelle l'éleveur laitier supporte seul le risque, et comment celui-ci s'approprie le risque au travers d'essais. Dans un deuxième temps, nous nous intéresserons à des innovations basées sur les nouvelles technologies et à la reconfiguration des rôles entre éleveur et vétérinaire dans la décision médicale. Dans un troisième temps, nous verrons comment la mesure du risque sanitaire dont les impacts sont partagés dans la filière allaitante peut se trouver être un outil de médiation entre acteurs aux intérêts divergents. Chaque partie est soumise à discussion. Les exemples proposés à la réflexion sont ici placés sur une grille à double entrée en fonction du niveau et des stratégies de changement de pratiques (Figure 1).

2. Une appropriation contrastée de nouvelles pratiques en filière lait

Dans le cas de la filière laitière, le risque de perte de production due aux mammites peut se révéler très significatif (Fourichon et al., 2001) ; il est supporté par l'éleveur seul. La décision de réduction d'usage des antibiotiques est donc de son seul fait ; or, les éleveurs sont plutôt adverses au risque (Meuwissen et al., 2001). Ainsi, certaines mesures préventives de maîtrise de la santé aujourd'hui éprouvées sont encore peu utilisées par les éleveurs (Chevance et Moulin, 2013). Les deux exemples de travaux présentés ci-dessous illustrent les mécanismes de diffusion des pratiques de réduction en filière laitière.

2.1 Des trajectoires de changement diverses

Une étude menée en 2016 a donc étudié de façon plus détaillée les motivations des éleveurs bovins laitiers à la réduction d'antibiotiques dans le cadre conjoint des projets TRAJ et RedAB. L'objectif de cette étude était de décrire les trajectoires de changement de pratiques quand elles avaient eu lieu et d'en identifier les déterminants principaux. Les hypothèses portaient sur les motivations des éleveurs (Russell et Bewley, 2013), sur leur système de production (valorisation des produits et niveau d'intensivité du système (Poizat, 2017)), sur leur niveau d'accompagnement et de formation.

51 entretiens semi-directifs ont été menés avec des éleveurs bovins laitiers et leurs conseillers en élevage (vétérinaire et conseiller technique principal) (Tableau 1). Les éleveurs ont été choisis de façon à présenter une variété de situations, avec un mode de valorisation des produits différent (conventionnel, signe de qualité officiel, label agriculture biologique) et un niveau d'implication dans la réduction d'usage des antibiotiques différent (éleveurs engagés dans une réduction, éleveurs réticents). L'analyse des entretiens s'est faite sur analyse thématique.

Tableau 1 : Echantillon des élevages bovins lait enquêtés dans les projets TRAJ/RedAB

Système de production	Nombre d'élevages concernés	dont avec réduction d'antibiotiques
Conventionnel	13	5
Sous signe de qualité officiel	5	3
Label agriculture biologique	6	6
Total	24	14

Le niveau d'intensification de l'élevage, évalué au travers de la taille, du chargement, du poids relatif des investissements et du mode de différenciation des produits, ne s'est pas révélé être un facteur déterminant, sauf pour la labellisation agriculture biologique (ceci en lien avec son cahier des charges restrictif sur l'usage des antibiotiques). Le manque d'observance n'est donc pas principalement dû aux facteurs financiers et à la charge de travail, contrairement aux résultats d'autres travaux (Speksnijder et

al., 2015). Par ailleurs, le traitement systématique au tarissement, les mésusages d'antibiotiques et les usages de médecines alternatives étaient tout aussi répandus quel que soit le niveau d'intensification et/ou de valorisation. Au contraire du système d'exploitation, le conseil importe dans la réduction d'antibiotiques (Poizat et al., 2017). Les éleveurs observent les recommandations de leurs vétérinaires et conseillers si elles concordent avec leurs motivations. Ils sont réticents à adopter le traitement sélectif au tarissement, souhaitant conserver le même contrôle du risque qu'avec les antibiotiques et pointant les difficultés d'apprentissage (Vaarst et al., 2006). Les éleveurs mobilisent par ailleurs souvent les médecines alternatives sans en référer à leur vétérinaire ou conseiller et pour une partie (les éleveurs en agriculture biologique notamment), ne plébiscitent pas l'accompagnement du vétérinaire pour leur stratégie globale de santé (Duval et al., 2016).

Des outils d'analyse des trajectoires de réduction observées ont par ailleurs été mobilisés pour identifier les facteurs déclencheurs de changement (Sutherland, 2012), les liens entre les motivations et les actions entreprises (Girard, 1995 ; Madelrieux, 2002), et les référents en terme d'apprentissage. On distingue trois types de trajectoires de changement de pratiques (Tableau 2). Les leviers de changement mobilisés par les éleveurs portent sur l'organisation du travail, les pratiques zootechniques (tarissement sélectif, pratiques de traite, veaux sous la mère, races croisées...) et les vecteurs d'apprentissage (par le conseil, la formation, en autonomie avec des groupes de pairs).

Tableau 2 : Type de trajectoires de réduction d'antibiotiques en élevage bovins lait (D'après Bonnet-Beaugrand, 2016)

Type de trajectoire	Motivations	Leviers mobilisés	Accompagnement	Elevages concernés	Niveau de réduction
Substitution	Considérations environnementales Coût des traitements	Essais-erreurs de substitution Médecines alternatives	Formations auprès de divers organismes généralistes	1 SIQO 1 label AB 2 conventionnels	Faible et lent
Efficience	Souci de qualité du lait Problème de santé grave du troupeau	Révision de l'organisation du travail Approche zootechnique Appui sur expertise Entrepreneuriat	Relation de travail personnelle voire contractualisée avec vétérinaire et/ou conseiller	1 SIQO 2 labels AB 2 conventionnels	Moyen et rapide
Reconfiguration	Souhait d'une agriculture moins productiviste	Révision de l'organisation du travail Médecines alternatives	Echanges en petits groupes de fermiers innovants	3 labels AB 1 conventionnel	Fort et très lent

2.2 Un exemple d'accompagnement à la réduction d'usage en élevage laitier

Un dispositif croisant l'ensemble de ces dimensions d'accompagnement a été conçu et testé dans le projet RedAB. Le dispositif comprenait à la fois une formation et des classes virtuelles, avec un mode d'animation incluant des échanges entre pairs ; un accompagnement de terrain avec un conseiller en santé animale (vétérinaire et/ou technicien) et un suivi du dispositif d'intervention. Deux sous-groupes ont été constitués, avec des accompagnements portant pour l'un sur le traitement sélectif au tarissement (21 éleveurs accompagnés, 24 éleveurs témoins), pour l'autre sur la prévention des mammites en lactation (18 éleveurs accompagnés, 15 éleveurs témoins).

Pour le groupe mammites en lactation, les connaissances des éleveurs accompagnés ont progressé ; les pratiques de prévention n'ont évolué ni chez les éleveurs accompagnés, ni chez les éleveurs témoins ; par contre les pratiques de traitement ont été améliorées chez les éleveurs accompagnés.

Les mammites ont diminué dans les deux cas, mais pour des raisons différentes : traitement plus raisonné pour les éleveurs accompagnés, antibiothérapie plus importante chez les éleveurs témoins.

De même, dans le groupe traitement sélectif au tarissement, les éleveurs accompagnés ont vu leurs connaissances progresser. Les éleveurs témoins, qui avaient de meilleures connaissances de base, ont davantage essayé le traitement sélectif au tarissement que les éleveurs accompagnés, mais ils ont aussi abandonné plus souvent après leur tentative. Les élevages ayant abandonné se distinguent par un indice de nouvelles infections plus important que les autres et un taux plus bas de désinfection avant pose d'un obturateur en lieu et place d'antibiotiques. Ces résultats soulignent d'une part l'importance de l'accompagnement personnalisé dans la prise de décision (pour les éleveurs témoins, leur vétérinaire référent) ; et d'autre part, l'importance de l'appropriation fine des techniques.

Tableau 3 : Essais et adoption du traitement sélectif au tarissement (D'après Poizat et al., 2018)

	Pas d'essai	Essai	Dont adoption	TST sans antibiotiques
Accompagnés	6	18	78%	16%
Témoins	1	20	65%	30%

2.3 Discussion : une appropriation du risque individuelle et collective par le conflit socio-cognitif

Dans ces exemples, on constate des points communs. Les éléments déclencheurs du changement sont variés et dépendent des trajectoires personnelles des éleveurs, qui déterminent en grande partie leurs actions (Azjen, 1991), et des occurrences rencontrées. Mais le passage de l'intention à une nouvelle pratique effective se fait principalement par la confrontation à des personnes extérieures, qui peuvent être des référents en matière de santé ou des pairs. Le conflit socio-cognitif dans un groupe est nécessaire à l'acquisition et la mise en pratique de connaissances fines, qui dépassent le cadre de la sensibilisation et des connaissances générales (Compagnonne et al., 2011). L'ancrage de la réduction d'usage d'antibiotiques, ainsi, passe moins par l'application de techniques que par la mise en pratique (par exemple le traitement sélectif au tarissement) dans un contexte particulier, celui de l'exploitation (Landais et al., 1988). A cet égard, il y a un apprentissage progressif, pour lequel les échanges permettent une réflexivité bénéfique à l'appropriation de la technique, mais aussi à son adaptation au contexte particulier (Vaarst et al. 2006). Il y a un processus d'ajustements mutuels entre un objectif virtuel et la pratique réelle (Chizallet et al., 2019). On observe à la fois un intéressement à la nouvelle pratique et un détachement des anciennes pratiques, dans un processus d'innovation par retrait (Goulet et Vinck, 2012).

Mais le travail en groupe permet aussi aux agriculteurs dont les pratiques divergent des pratiques usuelles de se réassurer (Ruault et al., 2016) et d'adopter une nouvelle légitimité professionnelle. Dans cette évolution, la mesure de l'efficacité de la nouvelle pratique permet à l'éleveur d'évaluer la faisabilité et le risque dans son contexte particulier, mais également aux groupes professionnels d'ajuster les pratiques en fonction de leur aversion au risque collective (Lamine, 2017). Les éleveurs, dans des contextes moins formalisés que celui vu ci-dessus, mettent donc en place des systèmes de traçabilité propres pour évaluer l'efficacité des nouvelles pratiques mises en place (Hellec et Manoli, 2018). La réversibilité de la pratique semble aussi être un point essentiel ; c'est elle qui minimise le risque dans les phases d'essais-erreurs (Joly, 2016).

3. Gérer le risque sanitaire par des innovations médico-techniques

Cette appropriation itérative et collective de pratiques n'est pas antinomique d'un processus plus linéaire de production de connaissances par l'innovation académique ou la recherche et développement privée ou partenariale. C'est le cas des deux innovations présentées ci-dessous, qui reposent sur l'utilisation des nouvelles technologies, et demandent des développements ultérieurs.

3.1 Quand agriculture de précision entraîne antibiothérapie de précision

Les traitements (antibiotiques) sont validés (dans les dossiers d'autorisation de mise sur le marché) sur la base de la détection clinique des cas de maladie. Le recours aux outils de l'élevage de précision ouvre des voies pour adapter voire réduire les traitements. En effet, les capteurs permettent de détecter de manière plus précoce et plus exhaustive certains des troubles de santé (Timsit et al., 2011). L'élevage de précision pourrait ainsi contribuer à la réduction d'usage d'antibiotiques.

Toute une série de travaux a été réalisée sur l'exemple des bronchopneumonies infectieuses bovines (BPI) avec une dose réduite de marbofloxacin. Les études de laboratoire visaient à confirmer chez les bovins les données scientifiques issues de la littérature disponible en antibiothérapie humaine et vétérinaire, qui montrent que les antibiotiques de la famille des fluoroquinolones ont une activité augmentée en présence d'inocula bactériens de petites tailles (Lhermie et al., 2015). Ce phénomène a comme corollaire que les doses d'antibiotiques nécessaires sont plus faibles que les doses usuellement préconisées pour une charge bactérienne faible. La dose de marbofloxacin utilisée pour l'étude de terrain a été fixée par une analyse *in vitro*. L'activité a été testée sur deux modèles animaux de pneumonie, chez la souris et dans l'espèce cible avec un pathogène couramment isolé comme agent de BPI (*Mannheimia haemolytica*) (Lhermie et al., 2016). L'efficacité d'une dose réduite de marbofloxacin administrée en début d'infection bactérienne sur les guérisons clinique, bactériologique et sur l'intensité des lésions pulmonaires a ensuite été vérifiée expérimentalement. L'étude de terrain conduite sur des jeunes bovins à l'engraissement a permis de confirmer qu'il est possible de mettre en place un protocole thérapeutique associant une détection précoce des maladies respiratoires basée sur la mesure continue de la température ruminale des animaux, et un traitement avec une dose réduite d'antibiotique (Lhermie et al., 2017).

Cependant, la consommation de marbofloxacin et le nombre de rechutes ne différaient pas significativement entre le groupe avec détection précoce et le groupe témoin, car l'effet positif de la réduction de dose était contrebalancé par la détection d'un plus grand nombre de cas. Ces résultats suggèrent que le monitoring en continu de la température des jeunes bovins en conditions de terrain n'est pas suffisant pour recommander le traitement avec une dose d'antibiotique adaptée à une détection précoce avec un antibiotique à action courte comme la marbofloxacin (Lhermie et al., 2017).

Le transfert sur le terrain du concept « détection précoce / traitement antibiotique adapté au stade de l'infection » reste complexe et dépend à la fois de la pharmacodynamie (effet inoculum) et de la pharmacocinétique (durée d'action) de l'antibiotique considéré. Surtout, ce transfert dépend de la précision des outils de diagnostic précoce ; la recherche de tels outils devrait être encouragée pour favoriser le développement d'une thérapeutique vétérinaire de précision recourant à des doses optimisées d'antibiotiques. Le développement de biomarqueurs spécifiques corrélés avec la charge bactérienne, de tests de mise en évidence d'agents pathogènes au chevet de l'animal, sont aussi indispensables.

3.2 La conception d'un modèle d'aide à la décision

Les stratégies antibiotiques ont été développées jusqu'à présent avec le souci principal de maximiser la santé des animaux. Rechercher les stratégies curatives les plus performantes, l'optimum entre le

nombre de cas incidents, la durée de la maladie dans un lot et la consommation d'antibiotique est un point crucial pour pouvoir mieux conseiller les éleveurs. La conception de modèles d'aide à la décision peut être une aide précieuse dans des stratégies innovantes d'antibiothérapie.

Dans l'exemple qui suit, une modélisation mathématique basée sur l'intelligence artificielle a été mobilisée pour exploiter les données de monitoring en continu de la température ruminale des jeunes bovins en début d'engraissement et étudier les stratégies curatives les plus performantes, notamment en termes de durée des épisodes de BPI et de consommation d'antibiotique (Picault et al., 2019 a). La mesure en continu de la température ruminale des jeunes bovins, permise par l'ingestion de thermobolus (San'phone, Media®), a été utilisée pour créer un modèle mathématique de propagation des BPI dans les lots d'animaux. Deux stratégies, respectivement la métaphylaxie et le traitement curatif individuel, ont été comparées. Un modèle mécaniste avec des hypothèses et des règles définies *a priori* a permis de générer, à partir des connaissances et observations, une large gamme de situations plausibles et donc *in fine* de tester des stratégies de traitement dans des situations variées. Pour ce faire nous avons travaillé avec l'outil « EMULSION » (Picault et al., 2019 b) (Figure 2). Les briques de simulation greffées sur le moteur de simulation permettent de traduire informatiquement les réalités décrites par les experts. L'intelligence artificielle de l'outil permet de coupler un langage simple de description du modèle compréhensible par un vétérinaire (hypothèses, règles, paramètres, données...) avec des algorithmes de simulation correspondant au cadre mathématique choisi. La modélisation est fiable. L'interaction entre vétérinaires et modélisateurs est facilitée car la représentation des connaissances est simple et le modèle reste lisible et modifiable à tout moment (au lieu d'être traduit une fois pour toutes en un code informatique).

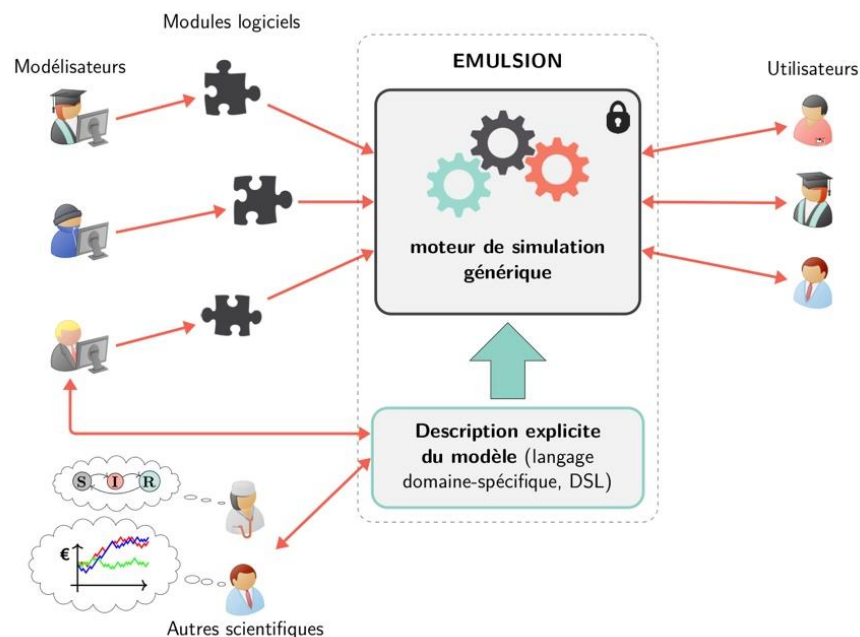


Figure 2 : EMULSION est constitué d'un moteur de simulation générique conçu de façon modulaire pour traiter différents types de modèles, et d'un langage de description des modèles qui permet de représenter les connaissances, hypothèses, règles, etc. sous forme d'un texte structuré, lisible et vérifiable par des scientifiques non modélisateurs. Les modèles décrits dans ce langage sont traités automatiquement par le moteur de simulation, via des méthodes d'Intelligence Artificielle, pour produire les résultats de simulation. (Picault et al. 2019 b)

A partir du modèle mathématique développé (Figure 3), l'expérimentation a consisté à comparer les résultats du scénario de référence (détection des cas comme si elle était faite par l'éleveur avec un traitement individuel des animaux malades) et ceux de différents scénarios de métaphylaxie et d'usage des thermobolus. 561 scénarios ont été testés selon que la métaphylaxie ne soit jamais mise en place, mise en place dès le premier cas, le deuxième... le dixième cas ; qu'un premier cas et que les cas suivants soient détectés après 12, 24, 36 ou 48h d'hyperthermie.

Les résultats de ces simulations permettent d'identifier les conditions dans lesquelles la métaphylaxie est efficace par rapport à un traitement individuel (cas où la propagation des pathogènes est rapide), ainsi que les durées d'hyperthermie qui permettent de réduire fortement la durée d'infection à l'échelle du lot sans augmenter sensiblement les doses d'antibiotique par rapport au scénario de référence (traiter le premier cas très précocement, mais se laisser une période plus longue pour les cas suivants).

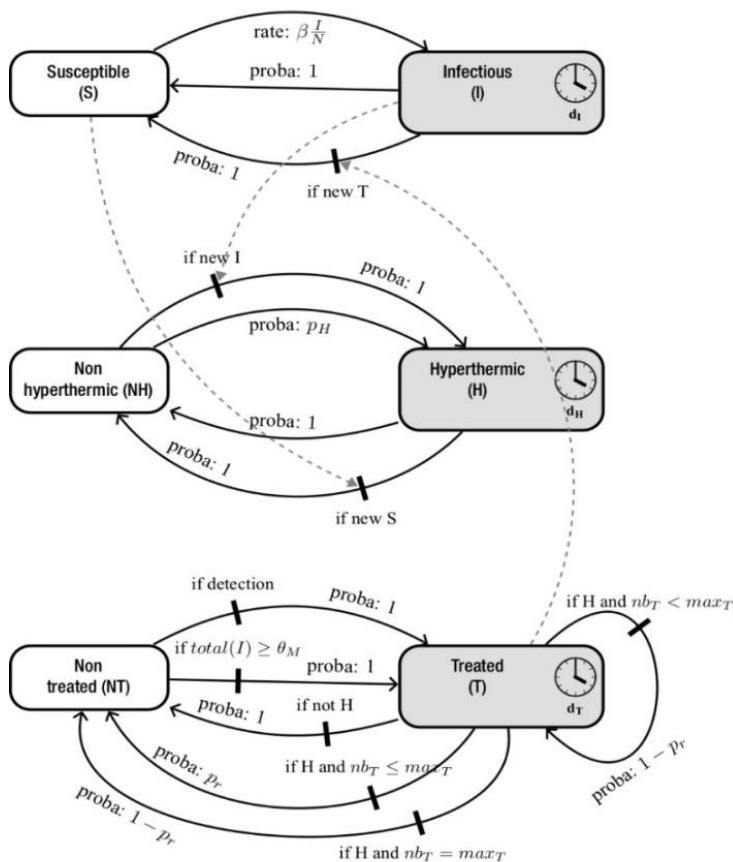


Figure 3 : Le modèle élaboré pour les BPI représente trois processus couplés : l'infection, les hyperthermies qui peuvent être d'origine infectieuse ou non, et le traitement déclenché soit individuellement en fonction de la méthode de détection choisie, soit collectivement (métaphylaxie) (Picault et al., 2019 a).

3.3 Discussion : la reconfiguration du rôle des acteurs autour d'une information en temps réel

Ainsi, la mobilisation de l'agriculture de précision, au travers d'innovation en cours de recherche et développement, pourrait être un des vecteurs possibles de la réduction d'usage d'antibiotiques. Elle fournirait à la fois des données de détection et d'analyse, voire proposerait une aide à la décision pour des traitements plus ciblés, avec une adaptation fine des protocoles en fonction d'une analyse des risques en temps réel.

Mais l'implémentation des dispositifs sur le terrain supposerait une reconfiguration de l'organisation du travail et des rôles respectifs de l'éleveur et de son vétérinaire. Avec l'adoption de ces nouvelles technologies, toutes les dimensions du travail en élevage sont affectées de façon mitigée. L'élevage de

précision permet davantage d'intensivité, mais c'est au prix d'une charge mentale accrue et d'un surcroît d'inefficacité en cas d'incident (Hostiou et al., 2014). Les recherches en cours sur l'utilisation de l'agriculture de précision montrent aussi que les pratiques varient. Selon leur appréhension de la place de l'animal et de la relation homme-animal, les éleveurs sont enclins à déléguer tout ou partie de l'analyse et de la décision aux nouveaux outils (capteurs, robot) ou au contraire à compléter les données de pilotage par leur observation des animaux (Kling-Eveillard et al., 2018).

L'existence de nouvelles données et l'interaction avec des intelligences artificielles pouvant simuler des scénarios de traitement modifierait donc également le conseil fourni par les conseillers en santé animale, qui disposeraient de données plus complètes et plus transversales, mais seraient potentiellement davantage challengés par les résultats fournis par les intelligences artificielles ; selon qu'ils disposent de ces données en temps réel ou non contrairement à l'éleveur, leur travail serait reconditionné par l'analyse de ces données, parfois en appui d'examen cliniques, parfois à distance.

4. De la décision individuelle au partage du risque dans la chaîne de valeur

Dans les exemples précédents, les conséquences sanitaires et économiques directes de la réduction d'usage d'antibiotiques étaient supportées par un seul éleveur (si on exempte le risque de réputation qui porte par essence sur toute la filière). Nous avons vu que la diffusion reposait alors essentiellement sur un accompagnement adéquat à l'appropriation et à la reconception en situation des nouvelles pratiques. Il existe d'autres cas où les conséquences de la réduction d'usage sont partagées entre plusieurs acteurs.

C'est notamment le cas de la filière bovine allaitante, dans laquelle les broutards sont transférés d'élevages naisseurs vers des élevages engraisseurs en passant par une étape d'alotement où des animaux provenant d'élevages différents sont regroupés en lots de conformation homogène dans des centres de tri avant mise en place dans les ateliers d'engraissement de jeunes bovins. Pour éviter la survenue de maladies respiratoires en début d'engraissement, on recourt à un usage préventif d'antibiotiques à la mise en lot de façon systématique ou occasionnelle pour au moins 40% des ateliers d'engraissement (Poizat et al, 2019). Différentes études ayant pour but de favoriser le traitement sélectif des animaux à la mise en lots ont donc été menées dans le projet SANT'Innov.

4.1 La mesure du risque pour traiter sélectivement les broutards

Une première étude menée sur un échantillon de 15 735 animaux répartis en 740 lots avait pour objectif de mesurer l'impact des regroupements d'animaux sur les performances de croissance (Hervé et al., 2019 soumis). Les principaux facteurs de risque de maladies respiratoires ont été pris en compte : le transport ; la taille du lot ; le mélange d'animaux ; le mois/la saison de mise en place ; l'âge et le poids moyen des animaux ; la vaccination précoce.

Les résultats montrent que les lots ayant les performances de croissance les plus importantes et les plus homogènes sont ceux où les animaux proviennent d'un nombre d'élevages restreint ; ce sont aussi ceux où les risques de maladies respiratoires sont les plus réduits. La présence d'animaux vaccinés dans le lot, même en proportion faible, limite l'impact des maladies respiratoires. En l'absence de vaccination, une plus forte hétérogénéité de poids et une plus faible distance de transport limite la perte de performance de croissance (Figure 4).

	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4	Type 5
Caractéristiques de lot	1050 animaux (6,7%)	1204 animaux (7,6%)	1733 animaux (11%)	5790 animaux (36,8%)	5958 animaux (37,9%)
Broutard max	Élevée]50-100%]	Moyenne]13-50%]	Faible]0-13%]	Aucun	Aucun
Poids moyen	317 kg	320 kg	319 kg	304 kg	355 kg
Variation de poids	7,8 %	6,8 %	6,0 %	7,1 %	4,4 %
Variation d'âge	13,1 %	15,6 %	15,7 %	16,7 %	13,1 %
Taux d'origines	0,29	0,52	0,59	0,53	0,58
Distance	154,5 km	200,2 km	237,6 km	190,8 km	367,5 km
GMQ	Référence : 1,47kg/j	- 17 g/j	- 31 g/j	- 45 g/j	- 61 g/j
Durée d'engraissement	Référence : 328j	=	=	+ 7,9 j	- 16,0 j

Figure 4 : Typologie des lots de broutards en fonction des performances de croissance (Hervé et al., 2019 soumis)

En s'appuyant sur les mêmes hypothèses, et en intégrant les pratiques des élevages engraisseurs (mise en place d'une quarantaine ou non), une grille d'analyse de risque sanitaire adaptée aux différents lots a été élaborée, dans le but de permettre aux engraisseurs et à leurs vétérinaires d'adapter une antibioprévention sélective et non pas systématique à la mise en place des animaux. Des démarches comparables existent au Canada ou en Italie (Hendrick et al., 2013 ; Compiani, 2013). La sensibilité, la spécificité et la valeur prédictive de cette grille ont été évaluées sur 331 lots répartis sur 134 élevages ; 123 d'entre eux ne recevant aucune antibioprévention, contre 208 avec antibioprévention systématique. Le nombre de cas de maladies respiratoires recensés et le taux de traitement d'antibiotiques à titre curatifs appliqués sur les lots ont été confrontés au scoring de la grille.

Les résultats estiment à 75% les lots bien classés par la grille Atless, l'écart pouvant s'expliquer par des facteurs non pris en compte : l'influence des facteurs génétiques, de la météo, de la prise colostrale, des maladies contractées avant sevrage, des pratiques au sevrage. Toutefois, ce ne sont pas les incertitudes sur le scoring qui dissuadent les commerciaux des centres de tri de mettre cette grille en application de façon systématique. Ils évoquent avant tout le temps représenté par le calcul du risque. D'autres hypothèses sont possibles ; en effet, la mise en place de ces outils d'analyse du risque vise dans un premier temps le traitement sélectif des lots. Mais elle préfigure également des changements de pratiques importants au niveau des transactions commerciales.

4.2 La place des critères sanitaires dans les transactions de broutards

Ces transactions au moment de la mise en lot ont été étudiées dans une enquête auprès de 96 éleveurs naisseurs, 72 éleveurs naisseurs-engraisseurs et 53 éleveurs engraisseurs (Poizat et al., 2019). L'objectif était de mieux comprendre les déterminants de la commercialisation et la place occupée par les aspects sanitaires dans celle-ci. Un questionnaire d'enquête a été administré par Internet et par voie téléphonique auprès d'éleveurs répartis dans les différentes zones de production françaises de naissance (Massif Central) et d'engraissement (Grand Ouest, Est). La description des transactions et des modes de commercialisation a permis d'appréhender les volumes échangés et leur fréquence, les interlocuteurs impliqués et le niveau de formalisation des transactions, les critères de commercialisation, les pratiques sanitaires (notamment les pratiques de vaccination, d'antibioprévention, de quarantaine, et de transition alimentaire.)

Les résultats montrent que les commerciaux indépendants ou dépendants d'organisations de producteur jouent un rôle primordial pour permettre d'ajuster une offre et une demande très différentes. Les transactions sont peu formalisées (moins de 20% des transactions se font avec un contrat écrit et elles concernent presque exclusivement des engraisseurs), mais on observe une très grande fidélité des éleveurs envers leurs commerciaux, ce qui s'apparente à un contrat informel pour 80% des éleveurs.

Les critères de commercialisation diffèrent entre les naisseurs et les engraisseurs. Les naisseurs se focalisent majoritairement sur le prix (à 70%), tandis que les engraisseurs favorisent la conformation et le potentiel de croissance (à 70%), ainsi que la robustesse (à 40%) avant le prix (à 30%). Les informations sanitaires circulent peu entre les naisseurs et les engraisseurs, alors que les éleveurs engraisseurs qui disposent d'une information recourent moins à l'antibioprévention et à la quarantaine (Figure 5). Les engraisseurs ignorent ainsi à 70% la provenance des animaux qui composent leur lot. Les résultats de l'enquête suggèrent aussi que des animaux pourraient être soumis à une double vaccination (chez le naisseur et chez l'engraisseur), en sus d'une antibioprévention, du fait d'une mauvaise circulation de l'information (Poizat et al. 2019)

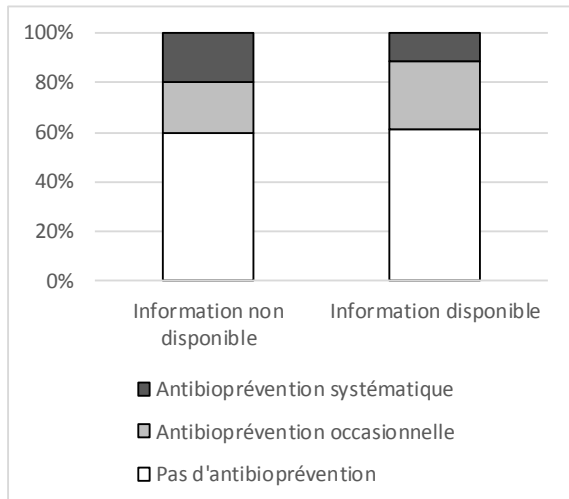


Figure 5 : Impact de la transmission d'information sur la pratique de l'antibioprévention en atelier d'engraissement (Poizat et al., 2019)

4.3 Discussion : La confrontation des intérêts sanitaires et économiques

De fait, l'organisation de la filière entraîne une interaction technique forte entre les éleveurs engraisseurs, dans les exploitations desquels les maladies respiratoires sont le plus susceptibles de survenir, et les éleveurs naisseurs. C'est chez ces derniers que les actions de prévention (vaccination précoce, sevrage, transition alimentaire) seraient les plus efficaces. Cependant, l'usage préventif d'antibiotiques à faible coût limite aujourd'hui le risque encouru par les engraisseurs dans des conditions économiquement efficaces ; une problématique qu'on retrouve dans la réduction des pesticides (Carpentier, 1996). Cette interaction technique est donc gommée ; elle n'apparaît pas dans les critères de commercialisation et, l'information nécessaire à un traitement sélectif des animaux n'est pas transmise, sauf exception.

De même, nous avons vu que l'organisation logistique pourrait reposer sur des critères très différents : des lots d'animaux de conformation hétérogène mais provenant d'élevages identiques présente de plus fortes vitesses de croissance que des lots homogènes en poids et taille mais hétérogènes d'origine. Cependant, faire entrer ces nouveaux critères dans une décision de traitement sélectif des lots via une grille d'analyse pourrait mener à de nouveaux critères de commercialisation et à une reconfiguration complète de la logistique de la filière. Des travaux de modélisation sont actuellement en cours dans le projet SANT'Innov pour estimer le potentiel de réorganisation selon différentes hypothèses (Morel-Journal et al. 2019). Toutefois, comme dans le cas des techniques culturales sans labour (Goulet et Vinck, 2012), ces résultats se heurtent au paradigme d'excellence professionnelle de la filière qui repose sur des lots esthétiques avec des animaux de taille et poids comparables, et dont la conduite alimentaire est identique, au moins les premiers mois d'engraissement.

Dans ces conditions, la mesure du risque n'est qu'un préalable qui mène à poser des questions d'organisation plus large : organisation de la coordination verticale de la filière, où les interactions sont

aujourd'hui davantage gérées sous la forme de marchés que par des relations d'agence entre les différents maillons avec des incitations à des pratiques vertueuses ; organisation logistique et évolution des métiers associés. Ces résultats invitent à considérer l'analyse technique du risque comme une dimension nécessaire mais non suffisante. Les éléments présentés ci-dessus permettent ainsi de poser des concepts d'évolution de la filière allaitante autour de la réduction d'antibiotiques, mais demandent à être mis en débat plus largement en créant une arène de réflexion incluant tous les acteurs de la filière, des producteurs jusqu'aux consommateurs (Aggeri, 2011). L'analyse de risque technico-économique peut dans ce cadre constituer un outil de médiation pour pointer les verrouillages sociologiques, économiques et logistiques de la filière (Lamine, 2017).

Conclusion

Nous avons vu au travers de ces exemples que le changement de pratiques vers une réduction d'usage d'antibiotiques en élevage bovin, en fonction des acteurs potentiellement concernés par des externalités, nécessite une analyse de risque et une mise en débat différentes. Dans le cas où seul l'éleveur est concerné (filière laitière), il s'agit avant tout pour les éleveurs de s'approprier connaissances et techniques dans leur pratique. La traçabilité des données leur sert alors pour mesurer l'efficacité des pratiques, les confronter avec des pairs et des référents et prendre une décision d'adoption ou d'abandon de pratique. La mobilisation de l'agriculture de précision, si elle semble prometteuse, s'inscrirait certainement dans ce contexte de reconfiguration des pratiques, incluant encore davantage l'expertise des conseillers en appui. Dans le cas où plusieurs acteurs sont concernés par des externalités (filière allaitante), l'analyse de risque technico-économique est un outil parmi d'autres dans la dynamique de reconfiguration de la coordination entre acteurs. Elle contribue notamment, par la demande de nouveaux modes de coordination intégrant le partage du risque, à rendre plus visibles les verrouillages en œuvre.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les participants des travaux présentés dans cette communication : Nathalie Joly du CESAER, Brigitte Frappat de l'IDELE, Nicolas Fortané de l'UMR IRISSO, Justine Defois de URSE (projet TRAJ) ; Marylise Le Guenic de la Chambre d'agriculture de Bretagne (projet Casdar RedAB) ; Guillaume Lhermie (EPIDEC) (projet partenarial VetoQuinol, BIOEPAR, Toxalim, IHAP, SMART-LERECO) ; Pauline Ezanno, Sébastien Picault (travaux préliminaires du consortium STEMAH) ; Christine Fourichon, Axelle Poizat, Arnaud Rault de l'UMR BIOEPAR, Lucile Hervé et Pauline Loiseau de la coopérative Terrena, Sabine Duvaleix-Treguer de l'UMR SMART LERECO (projet SANT'Innov).

Ce travail a reçu le soutien du projet SANT'Innov dans le cadre du programme PSDR Pour et sur le développement régional financé par l'INRA, l'IRSTEA, AgroCampusOuest et les Régions Bretagne, Normandie, Pays de la Loire et Nouvelle Aquitaine.

Références bibliographiques

- Aggeri F., 2011. Le développement durable comme champ d'innovation. Scénarisations et scénographies de l'innovation collective, *Revue française de gestion*, 215, 87-106.
- Ajzen I., 1991. The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes* 50, 179-211.
- Ansaloni M., Fouilleux E., 2006, Changement de pratiques agricoles. Acteurs et modalités d'hybridation technique des exploitations laitières bretonnes. *Économie rurale* 292, 3-17.

- Assié S., Mugnerot O., Hengel J., Loiseau P., Berthelemy H., Lefol, M-A., 2018. ATLESS® : évaluer la sécurité des lots de jeunes bovins vis-à-vis des bronchopneumonies infectieuses, In : 24^e Rencontres recherche ruminants, Paris La Villette, 5 et 6 décembre 2018.
- Bourély C., Fortané N., Calavas D., Leblond A., Gay E., 2018. Why do veterinarians ask for antimicrobial susceptibility testing? A qualitative study exploring determinants and evaluating the impact of antibiotic reduction policy. *Preventive Veterinary Medicine* 159, 123–134.
- Carpentier A., 1996. Efficacité prouvée et publique de la gestion du risque phytosanitaire : le rôle de l'information. *Cahiers d'économie et sociologie rurale* 39-40, 37-61.
- Chevance A., Moulin G., 2013. Suivi des ventes de médicaments vétérinaires contenant des antibiotiques en France en 2012, Ed. scientifique.
- Chizallet M., et al., 2019, Comprendre l'activité de conception d'agriculteurs en transition agroécologique : vers un modèle trilogique de la conception. *Psychol. fr*, <https://doi.org/10.1016/j.psfr.2019.03.001>
- Compagnonne et al., 2011, Propositions techniques et dynamiques de changement des agriculteurs, in Ricci, P, Bui, S, Lamine C (eds) repenser la protection des cultures. *Innovations et transitions.*, Dijon / Paris, Educagri et Quae, p 101-128.
- Compiani R., 2013. Strategies to optimize the productive performance of beef cattle. These universitaire. Milan, Italie. 139 p.
- 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. *INRA Productions Animales* 31, 51-68.
- Duval J.E., Bareille N., Fourichon, C., Madouasse A., Vaarst M., 2016. Perceptions of French private veterinary practitioners' on their role in organic dairy farms and opportunities to improve their advisory services for organic dairy farmers. *Preventive veterinary medicine* 133, 10–21.
- Fourichon C., Seegers H., Beudeau F., Verfaille L., Bareille N., 2001. Health-control costs in dairy farming systems in western France. *Livestock Production Science* 68, 141–156.
- Geslain-Lanéelle C. et al., 2017, La gestion des risques en agriculture : un défi et une urgence. Passer d'une approche au cas par cas pour aller vers une véritable stratégie d'ensemble partagée avec les acteurs économiques. Note de synthèse réalisée à partir des travaux du groupe de travail du CSO réuni d'octobre 2016 à janvier 2017, Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, Janvier 2017, 15p.
- Girard N., 1995. Modéliser une représentation d'experts dans le champ de la gestion de l'exploitation agricole. Stratégies d'alimentation au pâturage des troupeaux ovins allaitants en région méditerranéenne, thèse de Doctorat de Biométrie, Université Lyon I, 234 p. + annexes.
- Gonggrijp M.A., Santman-Berends I.M.G.A., Heuvelink A.E., Buter G.J., van Schaik G., Hage J.J., Lam T.J.G.M., 2016. Prevalence and risk factors for extended-spectrum β -lactamase- and AmpC-producing *Escherichia coli* in dairy farms. *Journal of Dairy Science* 99, 9001–9013.
- Goulet F., Vinck D., 2012. L'innovation par retrait, Contribution à une sociologie du détachement. *Revue Française de Sociologie* 53, 195-224.
- Hellec F., Manoli C., 2018. Soigner autrement ses animaux : la construction par les éleveurs de nouvelles approches thérapeutiques. *Economie rurale* 363, 7-23.
- Hervé L., Bareille N., Cornette B., Loiseau P., Assié S., 2019. To what extent does the composition of batches formed at the sorting facility influence the subsequent growth performance of young beef bulls? A French observational study. *Preventive Veterinary Medicine* submitted.
- Hendrick S.H., Bateman G.K., Rosengren L.B., 2013. The effect of antimicrobial treatment and preventive strategies on bovine respiratory disease and genetic relatedness and antimicrobial resistance of *Mycoplasma bovis* isolates in a western Canadian feedlot. *Canadian Veterinary Journal* 54, 1146-1156.
- Hill S.B., MacRae R.J., 1996. Conceptual Framework for the transition from conventional to sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture* 7, 81-87

- Hostiou N., Allain C., Chauvat S., Turlot A., Pineau C., Fagon J., 2014. Elevage de précision : quelles conséquences pour le travail des éleveurs ? In : Numéro spécial, Quelles innovations pour quels systèmes d'élevage ? Ingrand S., Baumont R. (Eds). INRA Prod. Anim., 27, 113-122.
- Joly N., Adam C., Bonnet-Beaugrand F., Defois J., Ducrot C., Fortané N., Frappat B., Gros A., Hellec F., Manoli C., Paul M., Poizat A., Samedi C. 2016. Experiments in animal farming practice: the case of decreasing the use of antimicrobials in livestock (France). In, 12. European International farming systems association (IFSA) Symposium, Newport, Royaume-Uni, 2016/07/12-15, 29.
- Kling-Eveillard F., Ganis E., Philibert A., Hostiou N., 2018, L'élevage de précision, quels changements dans la relation homme-animal et la représentation de leur métier par les éleveurs ? in 24^e Rencontres recherche ruminants, Paris La Villette, 5 et 6 décembre 2018.
- Lamine C., 2017, La fabrique sociale de l'écologisation des pratiques, Ed. La Discussion, Marseille, 224p.
- Landais E., Deffontaines J-P., Benoît M. Les pratiques des agriculteurs. Point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique. In: Études rurales, n°109, 1988. Pays. pp. 125-158
- Lhermie G., El Garch F., Toutain P.L., Ferran A.A., Bousquet-Mélou A., 2015. Bacterial Species-Specific Activity of a Fluoroquinolone against Two Closely Related Pasteurellaceae with Similar MICs: Differential In Vitro Inoculum Effects and In Vivo Efficacies. PLoS One. 10(10):e0141441. Doi: 10.1371/journal.pone.0141441. eCollection 2015.
- Lhermie G., Ferran A.A., Assié S., Cassard H., El Garch F., Schneider M., Woerhlé F., Pacalin D., Delverdier M., Bousquet-Mélou A., Meyer G., 2016. Impact of Timing and Dosage of a Fluoroquinolone Treatment on the Microbiological, Pathological, and Clinical Outcomes of Calves Challenged with *Mannheimia haemolytica*. Frontiers in Microbiology 7, 237.
- Lhermie G., Toutain P.L., El Garch F., Bousquet-Mélou A., Assié S., 2017. Implementing Precision Antimicrobial Therapy for the Treatment of Bovine Respiratory Disease: Current Limitations and Perspectives. Frontiers in Veterinary Science 4, 143.
- Madelrieux S., Dedieu B., Dobremez L., 2002 Modifications de l'utilisation du territoire lorsque les éleveurs cherchent à résoudre leurs problèmes de travail. Fourrages 172, 355-368.
- Meuwissen M.P.M., Huirne R.B.M., Hardaker J.B., 2001. Risk and risk management: an empirical analysis of Dutch livestock farmers. Livestock Production Science 69, 43–53.
- Morel-Journel, T. Hervé, L., Vergu, E., Bareille, N., Assié, S., Ezanno, P., 2019, Des algorithmes pour gérer les flux d'approvisionnement des brouards en France, Atelier IDELE A l'Ouest, du nouveau pour la santé des brouards, SPACE 2019, 12-09-2019.
- OECD, 2014. Global antimicrobial use in the livestock sector. Working Party on Agricultural Policies and Markets. OECD, Paris, pp. 1–43.
- Picault S., Ezanno P., Assié S., 2019 a. Combining early hyperthermia detection with metaphylaxis for reducing antibiotics usage in newly received beef bulls at fattening operations: a simulation-based approach. SVEPM: Conference Annual General Meeting, Mar 2019, Utrecht, Netherlands. pp.148-159. hal-01987110.
- Picault S., Huang Y-L., Sicard V., Arnoux S., Beaunée G., Ezanno P., 2019 b, EMULSION: transparent and flexible multiscale stochastic models in epidemiology, BioRxiv, doi : <http://dx.doi.org/10.1101/563791>
- Poizat A., Duvaléix-Treguer S., Rault A., Bonnet-Beaugrand, F., 2019. Le marché des brouards en France : organisation de la filière, transmission de l'information et qualité. Economie Rurale 368, 107-127.
- Poizat A., Frappat B., Corbe, S., Roussel P., Le Guénic M., Bonnet-Beaugrand F., Duval J., Bareille N., 2018. Learnings from an exploratory implementation of an innovative training-program to reduce antibiotic use in the dairy sector. In, 13. European IFSA Symposium, Chania, Grèce, 2018/07/01-05.
- Ruault C., Bouy M., Experton C., Patout O., Koechlin H., Sergent O., 2016. Groupes d'éleveurs en santé animale et partage des savoirs entre éleveurs biologiques et conventionnels. Innovations agronomiques 51, 89-103.
- Russell R.A., Bewley J.M., 2013. Characterization of Kentucky dairy producer decision making behaviour. Journal of Dairy Science 96, 4751–4758.

Speksnijder D.C., Jaarsma A.D.C., van der Gugten A.C., Verheij T.J.M., Wagenaar J.A., 2015, Determinants associated with veterinary antimicrobial prescribing in farm animals in the Netherlands: a qualitative study. *Zoonoses Public Health* 62, 39–51.

Sutherland L.-A. et al., 2012 Triggering change. Towards a conceptualisation of major change processes in farm decision-making, *Journal of Environmental Management* 104:142-151

Timsit E., Assie S., Quiniou R., Seegers H., Bareille N., 2011. Early detection of bovine respiratory disease in young bulls using reticulo-rumen temperature boluses. *The Veterinary Journal* 190, 136–142.

Vaarst M., Bennedsgaard T.W., Klaas I., Nissen T.B., Thamsborg S.M., Østergaard S., 2006. Development and daily management of an explicit strategy of non use of antimicrobial drugs in twelve Danish organic dairy herds. *Journal of Dairy science* 89, 1842–1853.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL ou DOI).